

ПРИРОДА

10-93



Главный редактор академик А. Ф. АНДРЕЕВ
Заместитель главного редактора кандидат физико-математических наук А. В. БЯЛКО

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Академик АМН А. И. ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н. Н. ВОРОНЦОВ (биология, охрана природы), доктор геолого-минералогических наук Г. А. ГАБРИЭЛЯНЦ (геология), академик Г. П. ГЕОРГИЕВ (молекулярная биология), член-корреспондент РАН С. С. ГЕРШТЕЙН (физика), академик Г. С. ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), академик И. С. ГРАМБЕРГ (океанология), академик В. А. ЖАРИКОВ (геология), член-корреспондент РАН Г. А. ЗАВАРЗИН (микробиология, экология), член-корреспондент АПН В. П. ЗИНЧЕНКО (психология), академик В. Т. ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В. А. КАБАНОВ (общая и техническая химия), доктор физико-математических наук С. П. КАПИЦА (физика), член-корреспондент РАН Н. С. КАРДАШЕВ (астрофизика, космические исследования), академик Н. П. ЛАВЕРОВ (геология), член-корреспондент РАН В. А. СИДОРЕНКО (энергетика), академик В. Е. СОКОЛОВ (зоология), член-корреспондент РАН В. С. СТЕПИН (философия естествознания), член-корреспондент РАН В. Н. СТРАХОВ (геофизика), член-корреспондент РАН Л. П. ФЕОКТИСТОВ (физика).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И. Н. АРУТЮНЯН (редактор отдела физико-математических наук), О. О. АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), кандидат химических наук Л. П. БЕЛЯНОВА (ответственный секретарь), член-корреспондент РАН Н. А. БОГДАНОВ (геология), член-корреспондент РАН В. Б. БРАГИНСКИЙ (физика), член-корреспондент РАН А. Л. БЫЗОВ (физиология), доктор географических наук А. А. ВЕЛИЧКО (палеогеография), доктор физико-математических наук Л. П. ВИННИК (геофизика), доктор географических наук Н. Ф. ГЛАЗОВСКИЙ (география), доктор физико-математических наук А. А. ГУРШТЕЙН (астрономия, история науки), член-корреспондент РАН Г. В. ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), М. Ю. ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), член-корреспондент РАН С. Г. ИНГЕ-ВЕТЧОМОВ (генетика), доктор физико-математических наук М. И. КАГАНОВ (физика), доктор физико-математических наук Н. П. КАЛАШНИКОВ (физика), доктор физико-математических наук А. А. КОМАР (физика), Л. Д. МАЙОРОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), доктор биологических наук Б. М. МЕДНИКОВ (биология), Н. Д. МОРОЗОВА (научная информация), доктор технических наук Д. А. ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент РАН И. Д. РЯБЧИКОВ (геология), доктор философских наук Ю. В. САЧКОВ (философия естествознания), доктор биологических наук А. К. СКВОРЦОВ (ботаника), Н. В. УСПЕНСКАЯ (редактор отдела философии, истории естествознания и публицистики), доктор биологических наук М. А. ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор физико-математических наук А. М. ЧЕРЕПАЩУК (астрономия, астрофизика), член-корреспондент РАН В. Д. ШАФРАНОВ (физика), доктор биологических наук С. Э. ШНОЛЬ (биология, биофизика), доктор геолого-минералогических наук А. А. ЯРОШЕВСКИЙ (геохимия).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Монокристалл высокотемпературного сверхпроводника с размерами 2×2 см, выращенный в лаборатории роста кристаллов кафедры кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета МГУ. См. в номере: Леонюк Л. И. Кристаллы высокотемпературных сверхпроводников.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Общий вид системы «Биосфера-2». См. в номере: Нельсон М. и др. «Биосфера-2».



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Им обозначены материалы, которые «Природа» публикует, участвуя в этой программе.

В НОМЕРЕ:

3 Леонюк Л. И. КРИСТАЛЛЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУР- НЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Развитие исследований высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) требует перехода от керамических материалов к монокристаллам. Основная трудность здесь — в получении стабильного образца, метастабильного по своей сути ВТСП материала.

9 Померанец К. С. НАВОДНЕНИЕ В УСТЬЕ НЕВЫ

С момента основания Санкт-Петербурга пришлось искать способы защиты города от наводнений, а также учиться их предсказывать. Эти проблемы не потеряли актуальности по сей день.

20 Арутюнян И. Н. БЕДНОСТЬ ОТ УМА

23 Островский М. А. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ЗРЕ- НИЯ: СИСТЕМЫ ФОТОРЕЦЕПЦИИ И ЗАЩИТЫ ОТ ФОТОПОВРЕЖДЕНИЯ

Исследования физиологии зрения на молекулярном уровне открывают его удивительно сложные и совершенные механизмы. Их понимание оказывается более чем полезным для офтальмологической практики.

ДРЕВНИЕ ПЛЕМЕНА И НАРОДНОСТИ

37 Рыбаков Б. А. ДРЕВНИЕ СЛАВЯНЕ И АНТИЧНЫЙ МИР

Многолетние исследования древнейших судеб славянского мира, сопоставление данных истории, лингвистики и археологии привели автора к убеждению, что «скифы-пахари» времен Геродота (иначе — сколоты) являются преславянами. Под чужим именем скифов они известны в греческой мифологии времен аргонавтов, а за 500 лет до появления варягов вошли в систему античного мира.

48 СОТРУДНИЧЕСТВО В ИЗУЧЕНИИ АРК- ТИКИ (интервью с Р. Скоттом и С. В. Аплоновым).

55 Савельев С. В. МОНСТРЫ

Знание механизмов и причин возникновения врожденных аномалий развития человека не позволяет бороться с ними, но дает возможность препятствовать увеличению их количества.

66 Нельсон М., Аллинг А., Берджесс Т., Ли Л., Мак-Каллум Т., Демпстер В. Ф., Альварес-Ромо Н., Уолфорд Р. Л., Аллен Д. П. «БИОСФЕРА-2»

Появление такого нового типа исследовательского инструмента, как «Биосфера-2», открывает широкие возможности для изучения экосистемных и биосферных процессов на нашей планете.

80 ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ ФОК К 95-летию со дня рождения

Как в советский период российской истории жилось простому советскому человеку — известно довольно хорошо. А вот жизнь непростых советских физиков, вошедших в историю мировой науки, оставила большие загадки...

Горелик Г. Е.

В. А. ФОК: ФИЛОСОФИЯ ТЯГОТЕНИЯ И ТЯЖЕСТЬ ФИЛОСОФИИ (81)

«ФОК ГОВОРИЛ ТО, ЧТО ДУМАЛ».

Из беседы с Е. Л. Фейнбергом» (94)

Фальковский Л. А.

В. А. ФОК И КВАНТОВЫЕ ДОТЫ (95)

Рубинин П. Е.

ФОК И КАПИЦА. ЭПИСТОЛЯРНАЯ ХРОНИКА (96)

«ОН БЫЛ ГОРАЗДО БОЛЕЕ ДОВЕРЧИВ, ЧЕМ ПЕТР ЛЕОНИДОВИЧ».

Беседа с А. А. Капицей (106)

Фок М. В.

ВОСПОМИНАНИЯ ОБ ОТЦЕ (отрывки) (107)

114 Таунсенд Д. В. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МЕДИ- ЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ: ОТ РЕНТГЕ- НА ДО НАШИХ ДНЕЙ

119 НОВОСТИ (19, 22, 36, 47, 54, 79)

В КОНЦЕ НОМЕРА

127 Бялко А. В. ВОПРОС, КОНЕЧНО, ИНТЕРЕСНЫЙ

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ (21)

IN THIS ISSUE:

3 Leonyuk L. I. CRYSTALS OF HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS

In its evolution the research of high-temperature superconductivity demands to come over from ceramic materials to monocrystals. The only problem is to obtain a stable sample, which will be a high-temperature superconductive material with metastability as its main feature.

9 Pomeranets K. S. FLOODS IN THE MOUTH OF THE NEVA RIVER

Since the day of St. Petersburg's foundation it has always been a must for its inhabitants to stand up for floods and also to be able to predict them. At present the misfortune is still on the issue.

20 Harootunian I. N. WIT WORKS POVERTY

23 Ostrovskiy M. A. MOLECULAR PHYSIOLOGY OF VISION: PHOTORECEPTION AND PHOTOINJURY PREVENTION

Molecular approach to vision physiology showed its very complex but perfect mechanisms, which, if utilized in practice, can do much good to ophthalmological patients.

ANCIENT TRIBES AND PEOPLES

37 Rybakov B. A. ANCIENT SLAVS AND ANTIQUITY

For many years ancient Slavs have been under study: as a result of historic, linguistic and archaeological data a conclusion was made by the author, that the "Scythian ploughmen" (or Scolotes) described by Herodotes were ancient Slavs. They were erroneously called "Scythians" in Greek mythology telling of Argonautic travels, and it was five centuries before the Varangians appeared that ancient Slavs had been part of the antique world.

48 COOPERATION IN ARCTIC INVESTIGATIONS (Interview with R. Scott and S. V. Ap- plonov)

55 Savelyev S. V. MONSTERS

Being aware of mechanisms and reasons for human congenital malformations researchers are still unable to do away with them though they can impede their increase.

66 Nelson M., Alling A., Berdges T., Li L., Mackallum T., Dempster V. F., Alvarez-Romo J., Wallford R. L., Al- len D. P. "BIOSPHERE-2"

"Biosphere-2"—a new research instrument gives new opportunities to study the processes occurring in the ecosystem and the biosphere of the Earth.

80 VLADIMIR ALEXANDROVICH FOK Celebrating the 95th anniversary

It is well known that a common Soviet man did quite well during the Soviet rule. As for the Soviet physicists, who were not at all common, but became world famous scientists, there still exist many enigmas...

Gorelik G. Ye.

V. A. FOK: PHILOSOPHY OF GRAVITA-
TION AND THE BURDEN OF PHILO-
SOPHY (81)

"FOK SINCERELY SAID WHAT HE
THOUGHT". FROM THE INTERVIEW
WITH YE. L. Feinberg (94)

Falkovskiy L. A.

V. A. FOK AND QUANTUM "PILL-
BOXES" (95)

Rubin P. Ye.

FOK AND KAPITZA. EPISTOLARY IN-
TERCOURSE (96)

"COMPARED TO PETER, HE WAS MUCH
MORE CREDULOUS". An interview
with Anna Kapitza (106)

M. V. Fok

DAUGHTER'S REMINISCENCES (frag-
ments) (107)

114 Townsend D. W. PHYSICS INSTRUMENTATION FOR MEDICAL IMAGING: FROM RONTGEN TO CHARPAK.

119 SCIENCE NEWS (19, 22, 36, 47, 54, 79)

TO CLOSE THE ISSUE

127 Byalko A. V. WORTH THINKING Over It!

Кристаллы высокотемпературных сверхпроводников

Л. И. Леонюк



Лидия Ивановна Леонюк, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов — рост кристаллов оксидных соединений, в том числе кристаллов высокотемпературных сверхпроводников, физика и химия твердого тела.

НЕМНОГО ИСТОРИИ

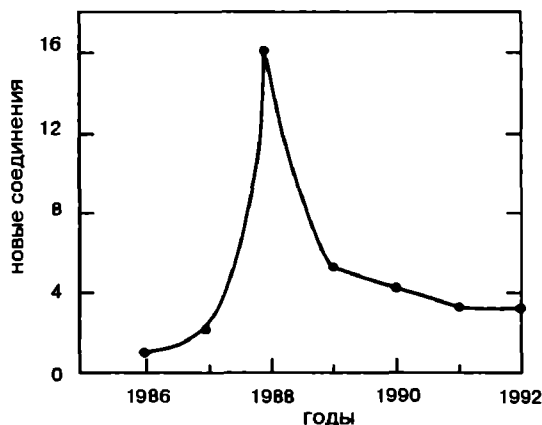
Явление сверхпроводимости было открыто в 1911 г. в Лейдене Х. Камерлинг-Оннесом, за три года до этого впервые получившим жидкий гелий. Наблюдал он это для ртути, причем само явление, состоящее в резком падении сопротивления практически до нуля при некоторой критической температуре T_c , для ртути происходило при $T_c = 4,1$ К. Долгое время открытию не было объяснения, а явлению — применения. Выдвинутая в 1957 г. теория БКШ, названная так по именам ее авторов Дж. Бардина, Л. Купера, Дж. Шриффера, объединила все опытные факты, и сверхпроводники получили бы широчайшее применение, если бы не необходимость использования для поддержания низких температур дорогостоящего жидкого гелия. Это заставляло искать соединения с возможно более высокой температурой сверхпроводящего перехода.

Очень важный шаг был сделан в 1979 г. в работе ученых из Института общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова АН СССР¹, обнаруживших металлический характер сопротивления в керамических образцах с составом $\text{La—Ba}(\text{Sr, Ca})\text{—Cu—O}$. Но в институте не было жидкого гелия и... еще пять лет рекорд принадлежал ниобий-германиевым пленкам (Nb_3Ge) с $T_c = 23$ К. Осенью 1986 г. появилось сообщение Г. Беднорца и А. Мюллера об обнаружении сверхпроводящих свойств в системе La—Ba—Cu—O с $T_c = 30$ К. В известном соединении La_2CuO_4 лантан частично заменяли барием, в результате чего получалось новое соединение, $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$, которое обладает сверхпроводящими свойствами при $0,1 < x < 0,2$. Эта работа положила начало настоящему «буму» в сверхпроводимости.

© Леонюк Л. И. Кристаллы высокотемпературных сверхпроводников.

¹ Шаплагин И. С., Кахан Б. Г., Лазарев В. Б. // Журн. неорг. химии. 1979. Т. 24. С. 1478—1485.

² Bednorz J. G., Muller K. A. // Z. Phys. B—Condens. Matter. 1986. V. 64. P. 189—193.



Динамика открытия новых соединений в системах, перспективных для получения ВТСП-материалов.

мости. Научные группы из Лаборатории «Bell» (США) и Токийского университета³ синтезировали сверхпроводящие образцы, заменив барий на стронций, что привело к повышению T_c до 45 К. Группа ученых из Хьюстона (США)⁴ подвергла эти образцы сжатию — и обнаружила при этом быстрый рост T_c . Попытка устроить «химическое» сжатие заменой лантана на более мелкий иттрий привела к новому соединению, $YBa_2Cu_3O_x$, с колеблющимся между 6 и 7 количеством кислорода, у которого при $x > 6,5$ сопротивление падало до нуля при 93 К. Эта температура уже была выше температуры жидкого азота, что позволяло отказаться от применения гелия. Через год были открыты высокотемпературные сверхпроводники на основе висмута и таллия, и рекордное значение температуры поднялось до 110 К.

Возрастание T_c для материалов на основе оксида меди продолжало возбуждать всемирное волнение, но и с химической, и с теоретической точки зрения было бы также интересным, если бы высокотемпературная сверхпроводимость наблюдалась в другом классе соединений. Открытие сверхпроводимости при $T_c \approx 30$ К в системе $Ba_{1-x}K_xBiO_{3-y}$ ($x=0,4$)⁵ в 1988 г. имело большое значение прежде всего по этой причине. Обращение к системам на основе

оксида висмута было не случайным. Хорошо известно, что открытие Беднорца и Мюллера было вдохновлено прежде всего знанием о сверхпроводящих свойствах в системе $Ba(Pb, Bi)O_3$. Это соединение не рассматривалось как аномалия, несмотря на то, что его $T_c \cdot 12$ К была в три-пять раз выше, чем у традиционных сверхпроводников. Есть надежда, что в системе оксидных сверхпроводников на основе висмута может быть найдено соединение со сверхпроводящими свойствами при комнатной температуре. Одним из доводов в пользу этого предположения может быть соотношение между средней электроотрицательностью и T_c , которое предсказывает, что T_c у $Ba_{1,6}Rb_{0,4}BiO_3$ в этой системе должно достигать 276 К.

По подсчетам Р. Кавы⁶, около 35 индивидуальных химических соединений было открыто с 1986 г. в системах, перспективных для получения материалов со сверхпроводящими свойствами, и до сих пор нельзя сказать, что хоть бы одно из них исследовано полностью...

ЗАЧЕМ НУЖНЫ КРИСТАЛЛЫ?

Первые образцы высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) были получены по так называемой «керамической технологии» или методом твердофазного синтеза. Иными словами, исходные вещества, оксиды или карбонаты соответствующих металлов, взятые в виде порошков, тщательно перетирались в ступке и затем спекались при температуре около 1000 °С. Все это, на первый взгляд, выглядело достаточно просто. В Японии даже появилась детская игра, что-то вроде простейшего «конструктора»: с помощью его элементов вы могли без особых затруднений синтезировать керамику со сверхпроводящими свойствами даже на собственной кухне! Однако в таком упрощенном варианте этот метод не мог удовлетворить исследователей: получалось не одно искомое сверхпроводящее соединение, а смесь его с другими фазами и непрореагировавшими оксидами. Чтобы избежать этого, экспериментальным путем стали подбирать температуры синтеза, применять многофазовый отжиг. Результатом был уже однофазный (состоящий из единственного химического соединения) образец. Это дало возможность исследовать кристаллические структуры порошковыми методами и обнаружить, что все соединения имеют элементарные ячейки, соответствующие струк-

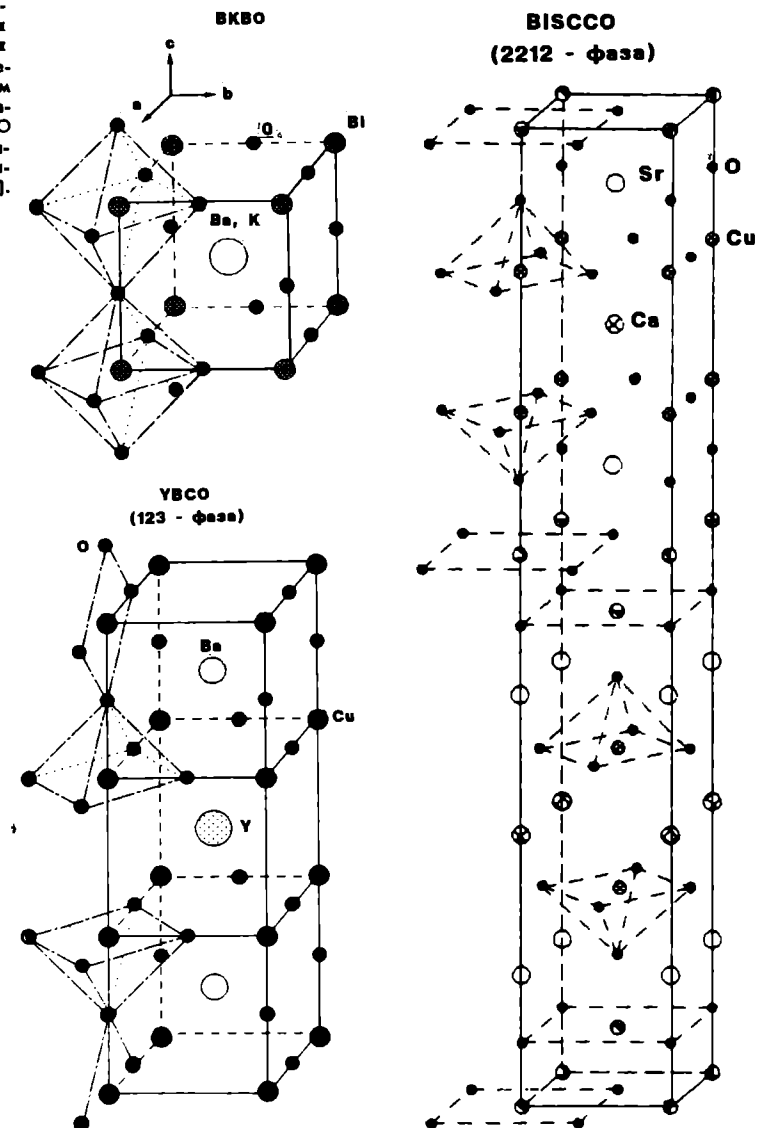
³ Cava R. J., Dover R. B. van, Batlogg B. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. N 4. P. 408—410; Kishio K., Kitazawa K., Kanbe S. // Preprint of Tokyo University, 1987.

⁴ Chu C. W., Hor P. H., Meng R. L. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. N 4. P. 405—407.

⁵ Cava R. J., Batlogg B., Krajewski J. J. et al. // Nature. 1988. V. 332. N 28. P. 814—816.

⁶ Cava R. J. // Nature. 1993. V. 362. P. 204—205.

Кристаллические структуры некоторых высокотемпературных сверхпроводников. Во всех них присутствует характерная для перовскита [минерала с составом CaTiO_3] октаэдрическая координация атомов — Вi в структуре ВКВO или Cu в YBCO и BISCCO (стрелками указаны направления кристаллографических осей a, b, c).

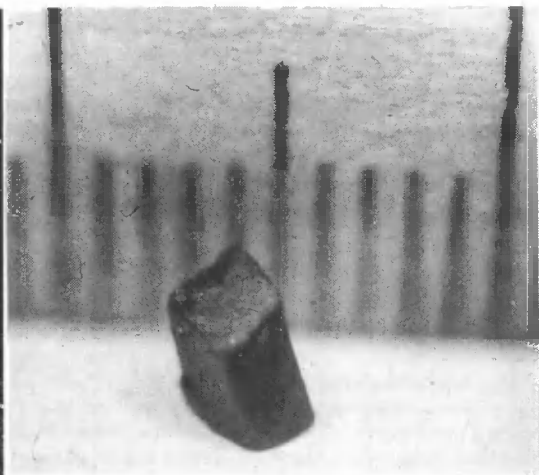
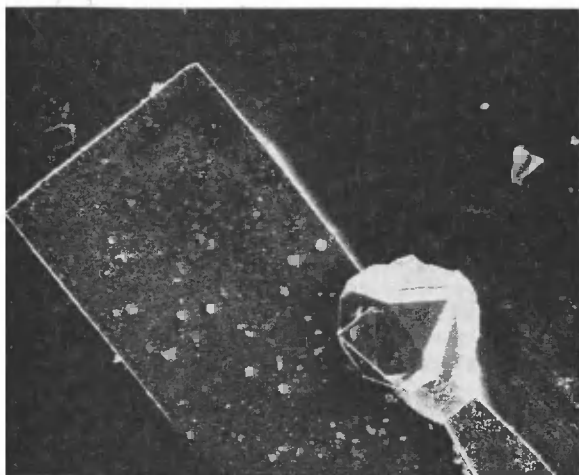
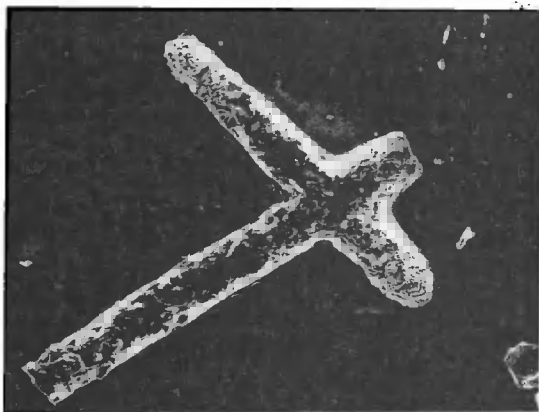
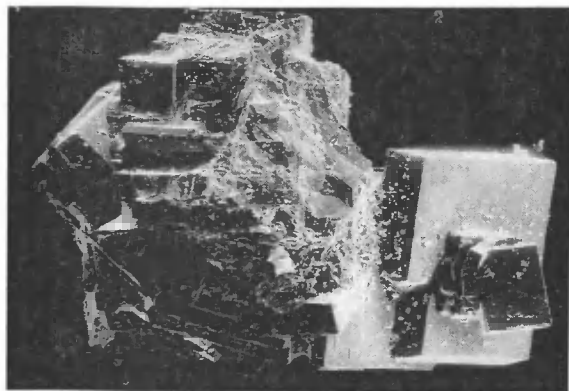


турному типу минерала перовскита — CaTiO_3 , либо содержат фрагменты этой структуры. Но поликристаллический керамический образец — это изменение характеристик соединения в зависимости от размера зерен, невозможность оценить свойства из-за разориентации зерен, необходимость постоянно учитывать существование «фона» межзеренных границ и т. д.

Необходимы были сведения об особенностях взаимного распределения элементов (желательно и кислорода!) в кристаллической решетке, об их валентности, уточненных температурах структурных пе-

реходов, фазовых соотношениях в этих многокомпонентных системах, свойствах каждой из сверхпроводящих фаз и, желательно, о других фазах, синтезирующихся при близких условиях. Кроме того, такие образцы были подвержены деградации: со временем они разлагались на воздухе, вбирая в себя влагу, и могли продемонстрировать эффект сверхпроводимости только один раз, при первом охлаждении. Все это означало одно — необходимы монокристаллы.

Что же такое монокристалл? Это, прежде всего, чрезвычайно стабильный



«Факты и артефакты» среди кристаллов ВТСП. Вверху: 123-фаза; слева — монокристаллы 123-фазы $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$, под электронным микроскопом; справа — игольчатые «кристаллы», которые были приняты вначале за новое сверхпроводящее соединение с $T_c=93$ К. Но это — только псевдоморфоза $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ по игольчатому кристаллу «зеленой фазы» — Y_2BaCuO_5 . Внизу: 2212-фаза; слева — «классическая» форма кристалла этой фазы — $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{10}$, на краю пластинки — двойники прорастания CaO ; справа — мечта исследователей, объемный кристалл 2212-фазы с $T_c=77$ К! Но это — «псевдокристалл». Все его поверхности — пластинки 2212, внутри — две сросшиеся фазы, сверхпроводящая $[Bi, Pb]_2Sr_2CaCu_2O_{10}$ и несверхпроводящая $[Bi, Pb]_2Sr_2Cu_2O_{10}$.

объект. Всем известно, что кристаллы каждого вещества, благодаря закономерному распределению конкретных атомов в конкретной кристаллической решетке, сохраняют свою форму, соотношение между степенью развития граней. Свойства кристалла определяются его составом и структурой. В процессе роста кристалл способен к «самоочищению», т. е. растущая грань отталкивает примеси или включает их в соответствии со строгими закономерностями. И, если как принято говорить, наука начинается тогда, когда можно начать считать, то в материаловедении «начать считать» можно только с кристалла.

Системы, в которых были обнаружены материалы со сверхпроводящими свойствами, прежде всего крайне термически нестабильны.

Количество кислорода в соединении $YBa_2Cu_3O_x$ нестабильно и отражает недостаток насыщения валентных связей. Аналогичная ситуация, по-видимому, характерна и для сверхпроводников на основе висмута, ведь отжиг в атмосфере кислорода (часто применяемый при многих экспериментах), даже если удастся избежать разложения соединения, приводит к искажению структуры и потере исследуемых сверхпроводящих свойств.

Термически нестабильно и распреде-

ление катионов в структурах ВТСП-материалов.

Система $Ba-K-Bi-O$ (безмедная) дает даже несколько вариантов нестабильности (далее, как это принято в литературе, мы будем обозначать все сверхпроводящие системы только начальными буквами входящих в них элементов — в данном случае ВКВО). При высоких температурах оксид калия — летучий при синтезе по стандартной керамической технологии. При средних температурах калий становится нерастворимым в перовскитовой фазе, а содержание кислорода становится нестабильным даже при еще более низких температурах. Изучение родственного соединения $BaBiO_3$ показало, что висмут может частично занимать места бария. Более поздние исследования показали, что и барий может замещать висмут.

Нестабильность ВТСП-систем проявляется и в крайне узких температурно-концентрационных областях кристаллизации сверхпроводящих и несверхпроводящих фаз. Это в свою очередь приводит к многочисленным вариантам сокристаллизации и к «псевдокристаллам».

Таким образом, в монокристалле ВТСП необходимо было соединить два, казалось бы, несовместимых понятия стабильности и нестабильности, получить что-то вроде «горячего льда». Но дело упиралось не только в понятия — об этом не особенно задумывались, пытаясь как-то преодолеть технологические трудности на каждом шагу. Говорят, что сложность при переходе от выращивания кристалла размером 1 мм до кристалла в 10, а затем в 100 мм возрастает ровно в 100 раз. Это еще раз подтверждается ВТСП-материалами. Технологические приемы, приводящие к получению монокристаллических образцов соединений, известных до тех пор только в виде порошков или мелкокристаллической массы, достаточно известны. Высокие температуры твердофазного синтеза заставляли остановить выбор на методах кристаллизации из расплава (только для конгруэнтно плавящихся соединений), из раствора в расплаве и гидротермальном синтезе. Из собственного расплава оказалось возможным синтезировать только одно соединение — $La_{1-x}Sr_xCuO_4$. Казалось бы, ситуация упрощается. Только два метода могут быть применены для выращивания кристаллов соединений — «рекордсменов» по T_c сверхпроводников на основе иттрий-бариевого (YBCO) и висмут-стронций-кальциевого

(BISCCO) купратов, до сих пор являющихся самыми перспективными ВТСП-материалами. Работы по синтезу монокристаллов таллиевого купрата не получили широкого распространения из-за чрезвычайной токсичности соединения.

Вообще, проблема токсичности крайне актуальна при получении материалов с ВТСП-свойствами, и в частности при синтезе монокристаллов. Недаром Кава свою статью в журнале «Nature» назвал «Pick your poison» (Выбери свой яд). Достаточно ядовиты барий, висмут, свинец. Осмий, мышьяк, бериллий также могли бы стать основой новых высокотемпературных сверхпроводников. В последнее время большой интерес вызывают ртутные сверхпроводники — соединения типа $HgBa_2CuO_{4+x}$. И даже если исследователи, вслед за Кавой, согласятся смотреть на все это философски, говоря, что мы все ежедневно сталкиваемся, например, со ртутью (с термометрами, ртутными лампами, зубными препаратами и ртутно-кадмиевыми батарейками) и надо только «мыть руки перед едой», то трудно себе представить широкое промышленное производство монокристаллов с такими ядовитыми элементами.

КАК ЖЕ ВСЕ-ТАКИ ДЕЛАТЬ КРИСТАЛЛЫ ВТСП?

Главной проблемой в гидротермальном синтезе оказалось инконгруэнтное растворение ВТСП-фазы в воде, а следовательно, необходимость поиска подходящего растворителя. Попытки получить кристаллы гидротермальным методом к успеху не привели. Было выяснено только, что в кислой среде реакция идет быстрее, но она имеет место и в основных растворителях, а также при использовании других минерализаторов и органических растворителей.

Более перспективным оказался раствор-расплавный метод и его модификации (метод «плавающей зоны», электролиз расплава и т. д.), хотя технологических трудностей здесь также оказалось предостаточно. Первая из них — проблема контейнера. При температурах синтеза расплавы оказались довольно агрессивными, поэтому выбор материала тигля достаточно ограничен. Применяются платина, иридий, золото, но они реагируют с расплавом с образованием новых соединений, золото — меньше всего из этих трех. Из других материалов (оксида алюминия, диоксида кремния, оксида магния, иттрий-стабилизированного диоксида циркония, тория или $MgAl_2O_4$) лучшим считается диоксид цирко-

ния для YBCO и оксид алюминия для BISCCO. Тигель должен быть по возможности дешевле, ведь извлекать кристаллы приходится так называемым «механическим» способом, т. е. раскалывая тигель, который, таким образом, может быть использован только один раз.

КАК ВЫГЛЯДИТ КРИСТАЛЛ?

Это достаточно тонкая прямоугольная пластинка, черного цвета с зеркальной поверхностью. Для многих исследований хотелось бы, конечно, иметь образец потолка, но если посмотреть на кристаллическую решетку YBCO и особенно BISCCO, то видна большая разница между параметрами a и b (одинаковыми — для тетрагонального кристалла и лишь немного отличающимися друг от друга — для ромбического), с одной стороны, и параметром c — с другой. У YBCO параметр c приблизительно в четыре раза больше параметров a и b , а у BISCCO — почти в 7,5 раз! С кристаллографической точки зрения это должно означать, что предпочтительной формой кристалла должна быть тонкая квадратная пластинка, причем тем тоньше, чем больше параметр c по сравнению с a и b . Иными словами, как у слюды, только там пластинки гексагональные (в соответствии с симметрией решетки). Для получения утолщенного кристалла необходимо ускорить рост базальной грани ab . Должны быть созданы специальные температурные условия или целенаправленно подобраны элементы-примеси.

Увеличение размера кристалла возможно только за счет локализации зародышеобразования: чем меньше количество зародышей, тем больше возможностей для роста каждого кристалла в фиксированном объеме расплава. Одна из первых попыток такого рода была предпринята японскими исследователями уже в 1987 г. и состояла в создании сильного теплоотвода у поверхности расплава. Но результат нельзя считать удачным — это дружка кристаллов YBCO размером 1—2 мм по ребру пластинки. В настоящее время «обычным» можно считать кристалл YBCO с поверхностью пластинки 3×3 мм. В физическом институте Франкфуртского университета синтезированы кристаллы YBCO с ребром 1 см.

Самый большой кристалл из полученных в нашей лаборатории имеет поверхность площадью 2×2 см. Это $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ с $T_c = 67$ К после отжига в кислороде. Вероятно, самые большие и качественные кристаллы 123-фаз все-таки не будут иметь максимально высоких температур сверхпроводящих переходов, это касается и кристаллов купрата лантана и стронция (LSCO). Ну, что же! Это лишь проявление неполной совместимости понятий кристалла (как символа стабильности) и ВТСП (в сущности, своеобразного символа метастабильности)... А вот с BISCCO, особенно с примесями редкоземельных элементов, замещающими в структуре кальций, дело обстоит лучше, и сверхпроводящие кристаллы с площадью поверхности около 1 см^2 уже не являются музейными образцами.

СКОЛЬКО СТОИТ КРИСТАЛЛ?

Этот вопрос злободневен и в таких, казалось бы, некоммерческих сферах человеческой деятельности, как наука. Автор имеет достоверные данные только на декабрь 1990 г. Пластинки 123-фазы (YBCO и кристаллы с редкоземельными элементами) размером 2—3 мм по ребру стоят 150 фунтов стерлингов за один образец. Но естественно, цена возрастает не пропорционально увеличению размера, а значительно быстрее... Но в науке еще пока, как в сказке, не все продается и не все покупается. И, по-прежнему, добрые отношения между коллегами и, в конце концов, интересы самой науки бесценны, так что не будем очень уж тщательно считать!

Изучение свойств ВТСП-материалов, особенностей процесса их роста, далее — связи тонкой структуры (особенно дефектов, дислокации и т. д.) с условиями роста — все это несомненно даст свои результаты. Ведь «революция в физике», как называют открытие высокотемпературной сверхпроводимости, привела к своеобразной «революции» в выращивании кристаллов — прошло невероятно короткое время с момента синтеза вещества до выращивания его в виде монокристаллов размером до 1 см! Поэтому, несмотря ни на что, «выберем свой яд», — и вперед, все принимая во внимание.

Наводнения в устье Невы

К. С. Померанец



Ким Семенович Померанец, кандидат географических наук, океанолог. С 1968 г. занимался проблемами морских наводнений, работая в Ленинградском отделении Государственного океанографического института. Автор многих научных и научно-популярных публикаций, и в том числе книги «Наводнения» (в соавторстве с Р. В. Пясковским; Л., 1982).

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, заложенный Петром Великим в устье Невы 290 лет назад, знаменит двумя природными феноменами — белыми ночами и морскими наводнениями. Белые ночи — явление астрономическое, а потому закономерное и неизбежное. В них нет ничего угрожающего и опасного. В научном отношении с ними, в основном, все ясно. Морские наводнения — штормовые нагоны — явление гидрометеорологическое, случайное, зависящее от капризов неустойчивой погоды российского Северо-Запада. Их вызывают атмосферные вихри — циклоны, повторяющиеся здесь в среднем раз в неделю, а раз в год, тоже в среднем, приводящие к наводнениям. Штормовые подъемы воды суровы, порой разрушительны и даже опасны. С момента основания города приходилось разрабатывать способы защиты от стихии, а также учиться предвидеть наводнения. Эти проблемы, хотя и на другом уровне, не потеряли актуальности по сей день.

Лет 30 назад в мировой практике утвердились оптимальные методы борьбы со штормовыми нагонами. Для защиты от наводнений уже строили достаточно сложные гидротехнические сооружения, а для заблаговременного предупреждения об угрозе опасных подъемов воды использовали метод гидродинамического прогноза. В 1965 г. отечественные специалисты разработали собственный вариант гидродинамического прогноза, который внедрялся мучительно медленно и, по существу, еще не стал общепринятым. В 1979 г. в устье Невы началось строительство защитных сооружений. Пресловутая ленинградская дамба стала не только притчей во языцех, но и «долгостроем». Предполагалось завершить «стройку века» к 1990 г., но конца не видно. Впрочем, об этом мы поговорим немного позже.

В последние 10—15 лет за пререканиями по поводу целесообразности этого памятника застою как-то совсем забыли, за-

чем он был нужен, т. е. о наводнениях в устье Невы. Полезно восполнить этот пробел.

ПОДЪЕМЫ УРОВНЯ ВОДЫ

Наводнениями в Петербурге теперь считаются подъемы воды высотой более 160 см над средним уровнем Балтийского моря у Кронштадта. От этого уровня — нуля Кронштадтского футштока — отсчитываются все глубины на морях и высоты на суше в России и бывших республиках СССР. Подъемы уровня от 161 до 210 см относят к опасным наводнениям, от 211 до 299 см — к особо опасным, от 300 см и более — к катастрофическим.

Морские наводнения, как и все стихийные гидрометеорологические явления, вполне наглядны. Их можно сфотографировать с самолета или космического аппарата, зарисовать, измерить, нанести на карту. Самый распространенный и точный способ фиксации наводнений, как любых колебаний уровня воды, — их непрерывная регистрация самописцем, именуемым океанологами мареографом.

Колебания уровня воды наблюдают, конечно, не только в Петербурге. На Балтийском море и его заливах располагается одна из самых развитых в мире сетей гидрометеорологических станций, примерно 50 из которых непрерывно регистрируют ход уровня. Эти измерения позволяют рассмотреть динамику наводнений. Значения уровня в различных пунктах в фиксированный момент времени указывают на форму свободной поверхности моря, а в несколько последовательных моментов — на ее изменение. Так, например, 5—6 декабря 1986 г. поверхность Финского залива и северной части Балтийского моря от устья Невы и примерно на 600 км к западу была выведена из состояния равновесия и имела форму волны, которая перемещалась и возрастала по мере приближения к Петербургу. Длина

волны составила 400—600 км, т. е. она заняла весь Финский залив. По измерениям уровня на станциях вычисляется и скорость волны. Пример таких подсчетов для наводнения 6 декабря 1986 г. приведен в таблице.

Как бы приблизительны ни были эти вычисления, они позволяют определить порядок скорости перемещения гребня волны, ее длину и форму. Она мало похожа на уединенную правильную волну — солитон, с которой иногда связывают морские наводнения и в особенности цунами. Но не будем забывать, что мы имеем дело с распространением возмущения в Балтийском море и Финском заливе, рельеф дна и берегов которых отличается сложностью и даже причудливостью. К тому же мы судим о форме свободной поверхности бассейна по измерениям уровня на его берегах, поскольку в открытом море такие измерения не выполняются. Любое проявление процесса наводнений — и колебания уровня в отдельном пункте, и форма поверхности моря, и скорость движения гребня — отличается неперiodичностью. Но принципиальные черты явления несомненны и подтверждаются большим фактическим материалом: наводнение — волна длиной в сотни километров и скоростью в десятки километров в час. Напрашивается сравнение длины волны с глубинами Балтийского моря и Финского залива: их средние значения соответственно 56 м и 37 м, а максимальные измеренные — 459 м и 123 м, т. е. соотношение длины волны и глубины имеет порядок 10^3 — 10^4 .

Переходя от гидрометеорологических оценок к терминологии гидродинамики, можно определенно утверждать, что наводнение — это длинная волна на мелкой воде. Тем самым мы получаем право обратиться к теории, которую разработал для таких волн Ж. Лагранж. Полученное им

Некоторые характеристики наводнения 6 декабря 1986 г.

Пункт	Расстояние от устья Невы, км	Высота максимального уровня, см	Время наступления максимального уровня, час., мин.	Время «добегания» волны до Горного института, час., мин.	Скорость перемещения, км/ч
Горный институт (Петербург)	0	260	18.00		
Кронштадт	30	241	17.30	0.30	60
Гогланд	190	162	16.00	2.00	95
Таллинн	350	114	10.50	7.10	49
Ристна	530	80	3.00	15.00	35



«Волга», застигнутая наводнением 18 октября 1967 г. на Съездовской линии Васильевского острова. Фотография сделана в 13 час. 30 мин. Обычно такие высокие подъемы уровня воды в Неве приходятся на темное время суток.

соотношение для скорости длинных волн $v = \sqrt{gh}$ (g — ускорение свободного падения, h — глубина) имеет в гидродинамике такое же фундаментальное значение, как соотношение между силой, массой и ускорением в классической механике или между энергией, массой и скоростью света в теории относительности. Легко убедиться, что теоретическая лагранжева скорость длинной волны в Балтийском море и Финском заливе при реальных глубинах весьма близка к полученным по фактическим данным значениям, приведенным в таблице.

Добавим, что с длинными волнами связаны не только наводнения, но и весь спектр неперIODических колебаний уровня в устье Невы. В обычных или, как говорят гидротехники, бытовых условиях — это собственные колебания, или сейши. Они имеют периоды порядка суток и размах порядка 10—30 см. Длинноволновую природу имеют и антиподы наводнений — сгоны, о которых гораздо меньше говорят, но которые так же неприятны, а порой и опасны, как наводнения. Они могут достигать почти двухметровой отметки ниже нуля Кронш-

тадтского футштока и затруднять навигацию, водоснабжение, рыбный промысел, спортивные мероприятия.

Те волны, которые все видят на поверхности воды в свежую и штормовую погоду, имеют совсем другую природу. Ветровые волны имеют малую или, по крайней мере, сравнимую с глубиной длину, переносят небольшие по сравнению с длинными волнами объемы воды и не вызывают наводнений.

Из других особенностей наводнений в устье Невы отметим, что некоторые из них происходят при наличии льда. В последние годы, например, участились мягкие, «сиротские» зимы, при которых лед взламывается даже небольшими подъемами воды. С одной стороны, лед снижает высоту наводнения, как бы тормозит подъем воды, но с другой — образуются торосы и навалы льда, угрожающие прибрежным сооружениям.

Наконец, особенностью наводнений является и то, что они проникают в Неву и распространяются вверх по ее течению примерно на 30—40 км (длина Невы 75 км). Энергия наводнения теряется на затопление дельты и преодоление уклонов местности. Угроза затопления по мере движения вверх по реке также снижается из-за того, что на расстоянии 7—10 км от устья,

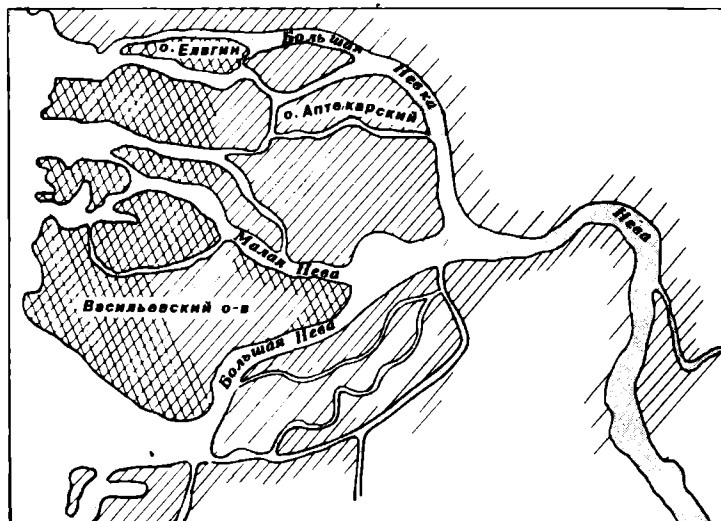


Схема затопления Ленинграда 23 сентября 1924 г., опубликованная в «Ленинградской правде» 27 сентября.

Уровень воды:

- "по горло и выше"
- "до пояса"
- "выше колена"

еще в пределах города, берега Невы становятся крутыми. А на другой половине реки, от ее середины до истока, во время наводнений в устье отмечаются спады уровня воды.

СТАТИСТИКА

По официальному списку-каталогу Северо-Западного управления гидрометеорологии, от основания города 27 мая 1703 г. до июня 1993 г. в устье Невы произошло 282 наводнения. Сведения о них, или, как теперь говорят, банк данных, можно использовать для различных исследований и расчетов.

В первые годы существования города опасность представляли подъемы воды от 2—3 футов (60—90 см). Постепенно город приподнимался и стихийно, и преднамеренно. При Петре, например, действовали «булыжные указы», по которым прибывающие в Петербург суда обязаны были доставлять камни, песок и всевозможный балласт.

Согласно существующей ныне классификации наводнений по высоте (она упоминалась ранее), за 290 лет опасных наводнений в городе было 216, особо опасных — 63 и катастрофических — 3.

Что касается распределения наводнений по времени — годам, сезонам, месяцам, часам суток, то в нем сочетаются и закономерности, и случайности. Катастрофические наводнения произошли 21(10) сентября 1777 г. (максимальный уровень 321 см); 19(7) ноября 1824 г. (421 см); 23 сентября 1924 г. (380 см). Соблазни-

тельно было бы вывести из этих данных закономерность: такие потопы случаются раз в столетие, но ряд данных слишком для этого короток.

Особо опасные наводнения происходят в среднем раз в четыре-пять лет. Но и здесь выявляется приближенность средних оценок — такие подъемы уровня очень редко случаются даже дважды в год, но между ними бывают и перерывы в несколько десятилетий. Из осредненных данных следует, что опасные наводнения повторяются почти ежегодно. Однако в истекшем десятилетии было 29 наводнений, т. е. по три в год. Но и такие средние показатели не характеризуют частоту наводнений: в 1983 г. было 10 опасных подъемов от 170 до 200 см, в 1992 г. — один, 175 см, а в 1987—1988 гг. наводнений не было вовсе.

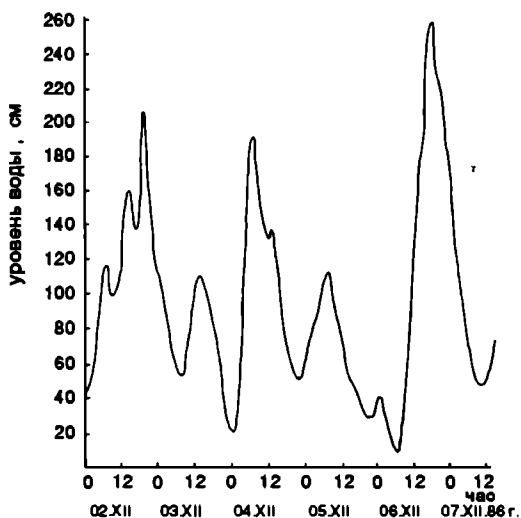
Распределение наводнений по сезонам обнаруживает, на первый взгляд, четкую закономерность: на осень приходится 176 подъемов воды (63 %), зимой их было 74 (26 %), весной — 12 (4 %), летом 20 (7 %). Но бывали периоды с существенными отклонениями от этой закономерности. Из 20 наводнений с 1984 г. только три произошли осенью, 15 — зимой (последнее — 23 января 1993 г., 204 см) и два — весной, в конце марта.

Бытует представление о коварстве наводнений, застигающих город по ночам, но приходится разочаровать сторонников мистической таинственности стихии. По наиболее надежным данным за 1948—1992 гг., из 16 особо опасных наводнений три случились утром (5—10 час.), четыре — днем

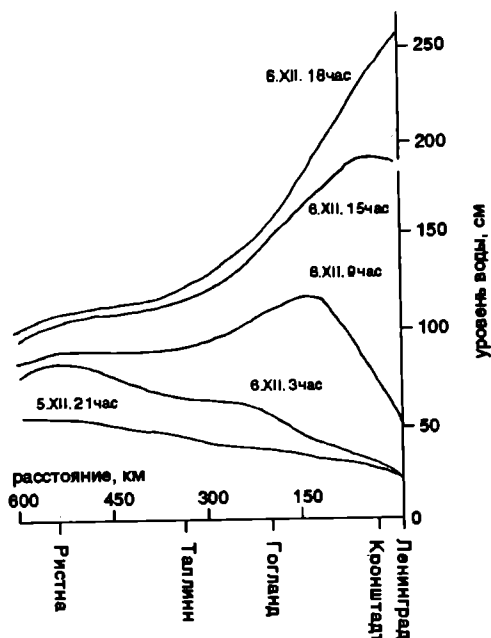
(10—17 час.), шесть — вечером (17—22 час.) и только три — ночью (22—5 час. следующих суток). Ни одно из катастрофических наводнений не произошло ночью: максимумы уровней наблюдались около 7 час. утра 10 сентября 1777 г., во втором часу пополудни 7 ноября 1824 г. и в 19 час. 15 мин. 23 сентября 1924 г. Случись эти бедствия глубокой ночью, их последствия, надо полагать, были бы гораздо более тяжелыми. Другое дело, что осенью и зимой, в наиболее вероятные сезоны наводнений, темное время в Петербурге длится 16—18 часов.

К банку данных петербургских наводнений приложимы методы теории вероятности и математической статистики. Например, для застройки прибрежных районов, проведения дорог, строительства портов и защитных сооружений требуются значения высот наводнений, возможных один раз в 100 лет, 1000 или, в зависимости от капитальности объекта, даже в 10 тыс. лет. Можно обсуждать целесообразность таких оценок на столь необозримые сроки, но сами по себе статистические расчеты интересны и поучительны. В Нидерландах, например, к началу 20-х годов правительственный комитет по защите от наводнений установил максимальный уровень 390 см, возможный один раз в 17 500 лет. Гидротехники не стали ориентироваться на столь редкое событие и приняли величину 340 см с вероятностью один раз в 70 лет. Это значение было всего на 12 см выше абсолютного максимума, наблюдавшегося на побережье Нидерландов примерно за 25 лет. Сомнительные гипотезы и несовершенный, с современной точки зрения, метод расчета, короткий ряд наблюдений и стремление удешевить строительство обернулись трагедией «голландского» урагана 1 февраля 1953 г., унесшего около 2 тыс. жизней и вызвавшего огромные разрушения. Ныне в Нидерландах гидротехнические сооружения должны быть ориентированы на максимальный уровень 500 см, возможный один раз в 10 тыс. лет.

С помощью статистической теории редких событий и по ряду наблюдений почти за 300 лет рассчитаны экстремальные уровни, еще не наблюдавшиеся в действительности, и для сооружений защиты Петербурга от наводнений. Оказалось, что в районе Горного института раз в тысячу лет возможен уровень 475 см, а раз в 10 тыс. лет — 540 см; в Кронштадте соответственно — 410 и 465 см. Впрочем, эти результаты существенно зависят от гипотез, положенных в основу расчетов, и демонстри-



Уровень воды в Неве у Горного института 2—7 декабря 1986 г. Мореограмма воспроизводит довольно редкую ситуацию: за пять суток произошли три наводнения [2 и 4 декабря опасные и 6 декабря — особо опасное].



Уровень воды в Финском заливе и в северной части Балтийского моря 5—6 декабря 1986 г.

руют лишь вероятность исключительных наводнений. Да и сам банк данных, на котором основана вся статистика наводнений, не является абсолютно надежным. Н. Н. Берх, морской инженер и историк флота, в статье, к которой отсылал любопытных А. С. Пушкин в предисловии к «Медному всаднику», отмечал: «В течение сего повествования имели мы случай заметить, что лица, доставившие нам сведения о бывших наводнениях, не токмо означали разные высоты вод, но даже были не всегда согласны в числах, когда случались наводнения»¹. Через 100 лет, в 1924 г., при составлении карты катастрофического наводнения еще использовали такие градации уровня воды, как «по горло», «по пояс». Случались и курьезы: вскоре после наводнения появился фельетон М. Зощенко «Утопнувший домик», где сетуют на хулиганов, «завсегда срывающих фактический уровень», т. е. дощечку с отметкой, посему «присобаченную повыше»².

СТРОЙКА ВЕКА

19 августа 1979 г. в газетах было опубликовано постановление ЦК КПСС и СМ СССР «О строительстве сооружений защиты г. Ленинграда от наводнений». Целому ряду ведущих министерств поручено «обеспечить в 1979—1990 гг. строительство и ввод в действие сооружений защиты г. Ленинграда от наводнений протяженностью 25,4 км в составе каменно-земляных дамб, двух судопропускных сооружений, водопропускных сооружений, а также автомобильной дороги по защитным сооружениям». Стройка объявлялась Всесоюзной ударной комсомольской, на нее направляли молодых рабочих по комсомольским путевкам, из разных районов страны.

Сооружения находятся в 30 км к западу от устья Невы. По проекту они соединят северный и южный берега Невской губы, проходя через остров Котлин с Кронштадтом. Кроме судопропускных отверстий шириной 200 и 110 м сооружения включают шесть водопропускных отверстий с 10—12-ью секциями шириной 24 м каждое. Высота сооружений — 7—8 м над обычным уровнем воды.

К настоящему времени стройка вполне

обозначилась (выполнено три четверти объема работ), хотя до ввода ее в действие, по-видимому, далеко. Она изменила очертания дна и берегов Невской губы: стали глубже проливы между Невской губой и восточной частью Финского залива, а остров Котлин превратился в полуостров, соединившись с Карельским перешейком. Затрачено немало сил и средств, составлено множество отчетов, рекомендаций и заключений, опубликованы сотни статей в газетах и журналах. Сторонники и противники «дамбы» так и не достигли согласия. Не надеясь их примирить, придется высказаться по поводу «за» и «против».

Нужна ли городу защита от наводнений? Безусловно, нужна! Рациональные споры и аргументированные научно-технические обсуждения всегда сводились к двум проблемам: своевременности строительства и его методам. И всегда они не находили разрешения. Постановление 1979 г. вовсе не означало, что пришла пора строить, что найден оптимальный вариант расположения стройки, что технология строительства и реализуемый проект наиболее подходящи и выгодны. К стати сказать, идее и основным принципам «дамбы» к тому времени исполнилось более 100 лет, так как она во многом повторяла проект П. А. Базена, созданный в XIX в. Просто по законам и правилам того времени, часто неписаным, сторонники «дамбы» заручились поддержкой власти и «пробили» решение. Следует отдать им должное — они были энергичнее своих противников и боролись за свой вариант примерно с середины 60-х годов, со времени последнего плана развития Ленинграда. Мнения оппонентов замалчивались или преподносились тенденциозно, порой объявлялись порочными. Судьба «дамбы» окончательно решилась еще за два года до постановления, когда на торжестве по случаю 60-летия революции тогдашний первый секретарь обкома Г. В. Романов заявил: «... на днях по инициативе Л. И. Брежнева принято решение о строительстве в Ленинграде защитных сооружений от водной стихии. Мы благодарны Центральному Комитету партии, лично Леониду Ильичу за это новое яркое проявление заботы о ленинградцах! По существу, товарищи, впервые со времени основания города будет осуществлен уникальный проект огромных масштабов. Долг ленинградских ученых, проектировщиков, строителей, наша общая задача — обеспечить высокий научно-технический и архитектурный уровень в создании этого грандиозного сооружения».

¹ Берх Н. Н. Подробное историческое известие о всех наводнениях, бывших в Санкт-Петербурге // Записки, создаваемые государственным адмиралтейским департаментом, относящиеся к мореплаванию. СПб., 1826. Ч. II. С. 415—450.

² Зощенко М. Рассказы. Л., 1987. С. 32.

Между тем уже в то время были названы насущными и неотложными производственная, энергетическая, транспортная проблемы. Неблагополучно было с образованием и здравоохранением, с охраной природы и памятников культуры. Возможно, что под руководством партии эти проблемы собирались решить все вместе и сразу. Во всяком случае постановления «о дальнейшем улучшении и совершенствовании» появлялись довольно часто. Но они не только не решались, но, скорее, усугублялись. Никому не пришло в голову обратиться к недалекому прошлому и установить некую очередность. А ведь именно так поступила городская дума в 1897 г. Она отнесла защиту Петербурга от наводнений к дальним целям, выдвинув на первое место потребности, удовлетворяющие общественным надобностям, но не дающие дохода (постройка и содержание больниц и школ). Здоровье жителей столицы особенно заботило депутатов той думы в связи с поражающей азиатской смертностью: 37 человек на 1000, в то время как в Лондоне — 17. Далее по приоритетам шли расходы на мосты и пути сообщения, на рынки, водопроводное дело, благоустройство и озеленение³.

Возможно, что вообще всю защиту следовало свести к поднятию города, как повелось в петровские времена. Кстати, принципу возвышения территорий следовал и «Пройакт, каким образом Санкт-Петербург против разливания воды укрывать возможно» Б. Миниха (1683—1767), фортификатора и гидротехника, а в царствование Петра II — фактического губернатора столицы.

Не безупречна и технология строительства — слишком тяжеловесная, материалоемкая и трудозатратная. Гидротехникам, разумеется, виднее, но мировая практика предлагает гораздо более изящные и дешевые, но вместе с тем надежные проекты. Так, в ноябре 1982 г. вступила в строй оригинальная дамба в Лондоне — серия опускающихся и поднимающихся шлюзовых ворот. Барьер на Темзе уменьшил риск затопления от одного раза в 50 лет до одного раза в 1000 лет. Но, как и прежде, оправдывается пушкинское: «... что нужно Лондону, то рано для Москвы».

Очень много разговоров вокруг экологических последствий строительства. Действительно, дамба сама по себе не может

улучшить состояние вод. Но и существенных изменений от нее ожидать не следует — ведь из бассейна Балтийского моря и Финского залива будет исключаться на короткое время (порядка суток) примерно 1 % площади и 0,01 % объема. Что касается непосредственного загрязнения, то оно всегда, с петровских времен, шло от города, несмотря на строжайшие указы «никакого помета и сора на Неву не бросать». Признаем также, что экология находится в стадии становления и ее прикладные рекомендации весьма ориентировочны. Из сотен соединений и веществ, образующихся в устьях рек у больших городов, надежно определяются порядка десятки.

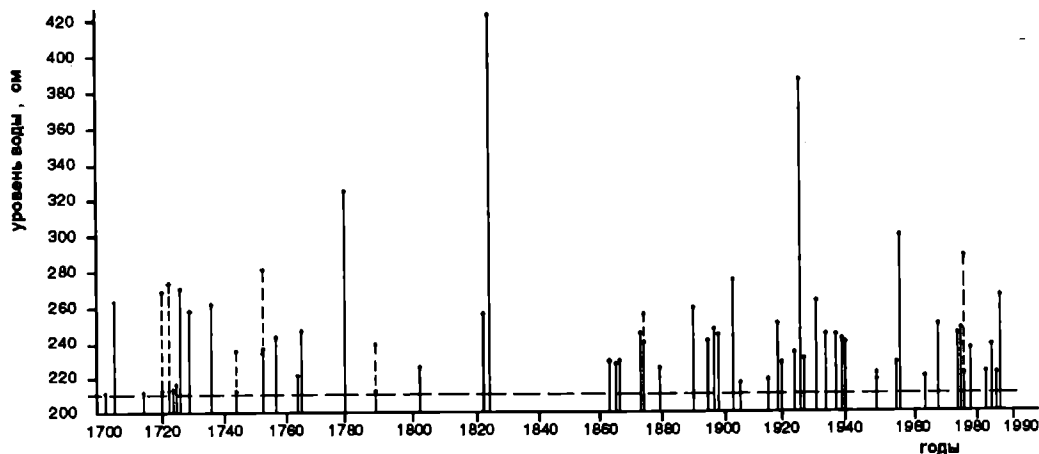
Много можно еще говорить по поводу проблемы защиты Петербурга от наводнений. Однако сейчас все это важно лишь для истории. Целесообразно, на наш взгляд, скорее завершить строительство. Иначе напрасными окажутся все усилия и затраты, а город так и останется открытым для морских вод.

МЕХАНИЗМ НАВОДНЕНИЙ

Две причины необходимы и достаточны для возникновения морских наводнений. Это — сильный шторм над морем и мелководность самого моря. Первая из них очевидна и наглядна; вторая, хотя и не скрытая, но постоянная и как бы сама собой разумеющаяся, а потому и не всегда считающаяся причиной наводнений. Только при сочетании этих двух причин — метеорологической и гидрографической — происходят штормовые нагоны. Их иногда называют еще метеорологическими приливами, что подчеркивает в каком-то смысле приоритетность метеорологических причин.

Действительно, сколько-нибудь значительные неперіодические колебания уровня воды всегда и везде происходят при заметных изменениях погоды. Эти изменения, в свою очередь, вызываются циклонами. Читателям «Природы», конечно, знакомо это понятие. Напомним лишь, что обычно циклон имеет форму, близкую к эллипсу с соотношением большой и малой осей в среднем 1,8. В центре циклона давление может понижаться до 930 мбар, «длина» циклона составляет до нескольких тысяч километров, в высоту он распространяется на 10—20 км, скорость перемещения воздушных масс в среднем 40 км/ч, но может достигать и 100. Движение воздуха в циклоне по горизонтали — против часовой стрелки (в Северном полу-

³ Приложения к «Известиям Санкт-Петербургской Городской Думы». СПб., 1909.



Распределение по годам особо опасных (более 210 см) и катастрофических (более 300 см) наводнений в устье Невы с 1703 по 1992 г.

шари), по вертикали — восходящее, от земной поверхности к верхним слоям атмосферы.

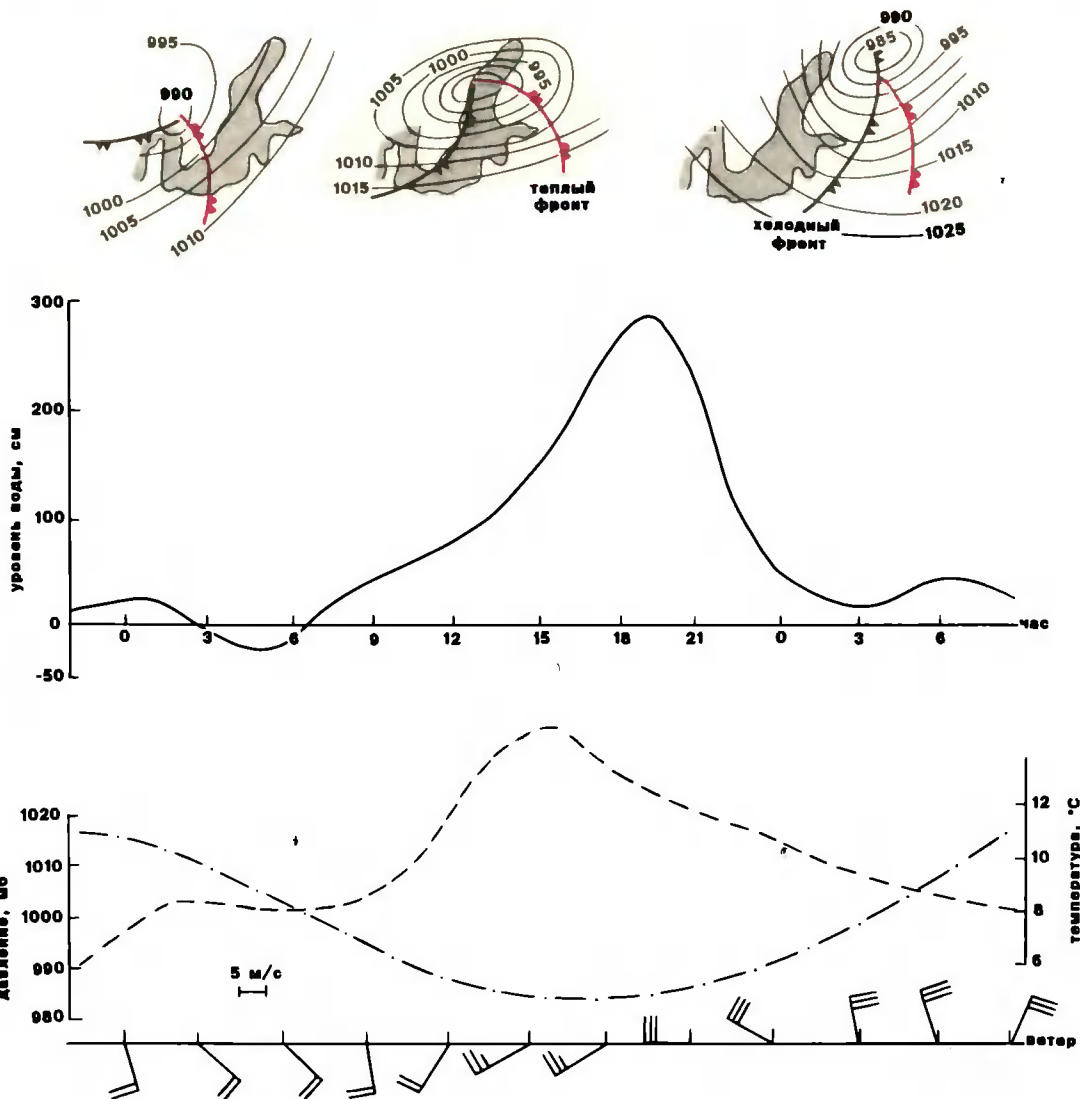
В Петербурге метеорологические условия характеризуются преобладанием циклонической циркуляции; антициклоническая повторяется реже, а нейтральная — совсем редко. Наш климат носит поэтому черты морского с более теплой зимой и менее жарким летом, чем должно быть для широты 60°, где расположен Петербург. Из многолетних данных следует, что число дней с циклоническим характером погоды изменяется от 14 в мае до 22 в ноябре—декабре, с антициклоническим — от шести в ноябре — декабре до 13 в мае. Продолжительность периода погоды и циркуляции одного типа составляет 5—8 сут и называется естественным синоптическим периодом. Влияние Атлантики, определяющее циклоническую циркуляцию в Петербурге, быстро затухает с удалением от берегов Балтики: в Москве, всего в 600 км к юго-востоку, уже преобладает антициклонический тип атмосферной циркуляции.

Непогода чаще всего приходит с запада — это известно давно, и так бывает не только в Петербурге, но и на большей территории России. А о наводнениях в устье Невы можно определенно сказать, что они приходят с западных направлений практически всегда — в 95 % случаев. Только 5 % наводнений, да и то незначительных, отмечено при движении циклонов с юга на север. Существенно уточнить при этом, что 48 % наводнений произошло

при движении циклонов с юго-запада на северо-восток, 41 % — с запада на восток, 6 % — с северо-запада на юго-восток. И еще одна оговорка: в этой статистике учтены наводнения лишь с конца прошлого века, когда стали систематически составлять синоптические карты и изучение атмосферных вихрей стало одной из главных проблем теоретической и прикладной метеорологии. Видное место среди исследований занимали труды петербургских гидрометеорологов.

К настоящему времени происхождение и механизм наводнений в устье Невы представляются достаточно ясными и соответствующими следующей схеме.

Опасная метеорологическая ситуация возникает, когда над Северным морем или югом Скандинавии обнаруживается область пониженного атмосферного давления, которую синоптики очерчивают на карте одной-двумя замкнутыми изобарами. В Петербурге в это время может наблюдаться тихая, безоблачная погода. Если за 9—12 ч циклон от стадии «молодого» переходит в стадию полного развития и его центр оказывается над севером Балтики, то угроза наводнения становится вполне реальной. Понижение давления в центре циклона вызывает статическое повышение уровня в открытой части Балтики. Так зарождается длинная волна, которая перемещается по продольной оси моря, входит в Финский залив и достигает затем устья Невы. На приближение циклона вначале указывают тонкие перистые облака, затем более плотные слоистые, а затем и низкие дождевые. Уровень воды в устье Невы повышается, атмосферное давление интенсивно падает — иногда на 10—12 мбар за 3 ч (интервал между последовательным составлением си-



Причины возникновения и развития катастрофического наводнения в устье Невы (подробное объяснение см. в тексте). Вверху — три стадии эволюции циклона (цифры на изолиниях — давление, мбар); в середине — колебания уровня воды; внизу — метеорологические условия.

ноптических карт), температура воздуха растет — иногда на $8-10^{\circ}\text{C}$ за 3 ч, слабый юго-восточный и южный ветер сменяется сильным юго-западным и западным со скоростью $15-20$ м/с, при порывах до 30 м/с. Такими штормовыми ветрами бывает охвачен весь Финский залив, а иногда и вся Балтика — они находятся

в теплом секторе циклона, а Петербург — в зоне теплого фронта.

Подъем воды в устье Невы продолжается и достигает опасных и особо опасных отметок, если циклон после стадии полного развития продолжает двигаться на северо-восток к Белому морю. Тогда еще через $9-12$ ч гребень длинной волны и зона сильных западных ветров приходят к устью Невы. В цикле наводнения наступает максимум. А после прохождения через Петербург холодного фронта начинается спад воды при росте атмосферного давления, понижении температуры, повороте ветра к северо-западному. Далеко от Петер-

бурга циклон переходит в свою последнюю стадию «заполнения», Нева к этому времени входит в свое русло. Жизненные циклы атмосферного вихря и наводнения завершились. Их продолжительность, характерное время — сутки. Циклон преодолел расстояние порядка 1500—2000 км, т. е. двигался со средней скоростью 60—70 км/ч.

Влияние на наводнения второго фактора — гидрографического, т. е. мелководья и очертаний бассейна, — не столь очевидно, как фактора метеорологического. Но сразу обращает на себя внимание, что 89 % наводнений происходит, когда циклоны движутся с юго-запада и запада, примерно по продольным осям Балтийского моря и Финского залива. Другими словами, очертания бассейна вместе с метеорологическим фактором определяют динамику вод.

Впрочем, и без внешних воздействий гидрографические параметры водоема — длина, ширина, глубина, изрезанность береговой линии — обуславливают его важные динамические характеристики, период собственных колебаний, например. Он легко вычисляется по формуле: $T = 2L / \sqrt{gh}$, где T — период, L — длина бассейна, h — его глубина, g — ускорение свободного падения. Замечательно, что период «основного тона» Балтийского моря с Финским заливом (этот бассейн иногда называют Трансбалтикой; Ботнический залив исключен) составляет 27,4 ч, т. е. очень близок к суткам. И этот период свободных колебаний бассейна не искажается, а лишь усиливается внешним воздействием. Кроме «основного тона» в море существует множество (теоретически бесконечное число) других тонов со своими кратными периодами. В каждом заливе, бухте или губе свои свободные колебания — сейши. Каждая отмель или впадина по-своему заставляет «звучать» массы воды, что и отмечается при измерениях уровня и течений. Возникают нерегулярности, непериодичности, вторичные колебания на фоне основных. Близки не только периоды колебания бассейна и циклона, но и скорость циклона и длиной волн. Совместное действие всех этих факторов и составляет механизм наводнений, обуславливает как общность их основных черт, так и неповторимость их каждого проявления.

ПРОГНОЗЫ

Какое направление ни принимали бы исследования петербургских, да и любых других наводнений, они всегда сводились к проблеме предсказания.

Искомые в прогнозе наводнения являются высота максимального подъема воды и время его наступления. Эти параметры — самые необходимые в прогнозе. Очень желательно располагать всеми значениями уровня на каждый час от начала явления до его окончания, и не в одном конкретном пункте, а в любом. Для такого прогноза недостаточно общих представлений, качественных соображений и наглядных схем, даже таких, как высказывание основателя и первого директора Главной физической (ныне геофизической) обсерватории А. Я. Купфера: «Бури, производящие наводнения в нашей столице, приходят с запада и бывают чувствуюмы в Ревеле за несколько часов ранее, нежели в Петербурге. По наблюдениям в Ревеле можно будет узнать высоту, до которой поднимется вода в Петербурге.»

Необходимы количественные соотношения, способные преобразовать исходные данные в требуемый результат. Понадобилось более 100 лет, чтобы плодотворная мысль Купфера воплотилась в формулу:

$$h_n = kh + \Delta h_b,$$

где h_n — высота наводнения в устье Невы, h — высота подъема воды в Таллинне (именно Таллинн, бывший Ревель, оказался самым подходящим пунктом для прогноза, поскольку он расположен у входа в Финский залив и гребень волны нагона здесь выражен наиболее четко), k — коэффициент возрастания волны, Δh_b — увеличение высоты наводнения за счет действия ветра.

Статистически обработав данные нескольких десятков наводнений, ленинградские синоптики получили величину k , нашли зависимость Δh_b от скорости и направления ветра. С 1954 г. и по сей день прогнозы наводнений в устье Невы составляются по этой формуле. Она проста и удобна, расчеты по ней выполняются легко и быстро. Но нужны опыт и интуиция, чтобы в каждом конкретном случае задать k (равное в среднем 2,5), определить Δh_b . Недостаточна contemporaneity прогноза: примерно 6 ч — среднее время «добегания» гребня волны от Таллинна до Петербурга. Эта величина, как и k , от случая к случаю имеет значительный разброс. Не установлена точность прогностической формулы, во всяком случае, опубликованных результатов по точности и оправдываемости прогнозов наводнений нет. Впрочем, таковы недостатки многих количественных зависимостей, полученных по материалам

наблюдений, и не только в гидрометеорологии.

Для прогноза и расчета наводнений естественно было обратиться к гидродинамическим уравнениям длинных волн на мелкой воде. Такие попытки делались и до появления ЭВМ. Но только с появлением корректных методов решения уравнений в частных производных и быстродействующих вычислительных машин стало возможным реализовать полные уравнения со всей исходной информацией. Первые результаты расчетов и прогнозов реальных наводнений в Петербурге гидродинамическим методом, как уже упоминалось, были получены почти 30 лет назад.

Теперь в вычислительном центре Северо-Западного управления по гидрометеорологии через каждые 12 час. выпускается прогноз уровня для Петербурга, Кронштадта и любых других пунктов Финского залива и Балтийского моря с ежечасными данными на срок до трех суток. Этому предшествовали длительные испытания метода. Прежде всего воспроизводились наводнения прошлых лет, для которых был собран и подготовлен для расчетов банк данных. Каждый расчет сопоставлялся с

фактическими данными и оценивался количественно статистическими способами. Затем такой оценке подвергалась вся выборка случаев наводнений — около 100, включая катастрофический 1924 г. Тем самым была установлена точность метода, главными показателями которой является малость — порядка 10 см — систематической ошибки и приемлемый для практики разброс: среднее квадратичное отклонение составляет 30 см.

Расчетами оценивалось влияние различных факторов на точность — рельефа дна, ветра, уровня, стока Невы. Подробно исследовалось влияние защитных сооружений на высоту наводнений: оно оказалось несущественным в динамическом отношении, так как перенос границы бассейна на 30 км к западу и исключение из бассейна мелководной Невской губы не способны изменить механизм наводнения. Был получен еще целый ряд результатов, большинство которых опубликованы и могут быть интересны специалистам. Гидродинамический метод совершенствуется, пополняясь более точной исходной информацией. Но, как всегда, есть еще над чем работать.

НОВОСТИ НАУКИ



Экология

Болото решено возродить

На севере Израиля, к югу от истоков р. Иордан, находилось оз. Хула, окруженное заболоченной местностью. Это была уникальная экологическая система, занимавшая площадь 400 км², где сосуществовали флора и фауна как тропической, так и умеренной климатической зоны. В 50-х годах озеро и болота были осушены ради создания новых обрабатываемых земель для возникавших рядом поселков, а также в целях борьбы с малярией и шистоматозом. Лишь небольшая площадь болот была тогда сохранена в качестве заповедника, но в целом система была нарушена и многие виды животных и растений исчезли.

Экономические результаты не оправдали ожиданий:

ложе озера оказалось плодородной землей, но окружающие его торфяники никакой пользы крестьянам не принесли. По мнению лимнолога Х. Диментмана (Ch. Dimentman; Еврейский университет в Иерусалиме), высокое содержание нитратов не позволило выращивать на этих землях достаточно хорошие урожаи пшеницы и хлопка; кроме того, окисление торфа приводило к его частым возгораниям, почва стала оседать, и за 35 лет со дня осушения опустилась на 3 м. С каждым годом посевы сокращались, фермеры забросили этот район — возникла опасность появления новой пустыни.

Специально созданный для изучения этой проблемы комитет во главе с гидрологом Г. Шахамом (G. Shaham) пришел к заключению о необходимости восстановить по крайней мере часть экологической системы прежней долины р. Хула. По разработанному плану

предлагается направить часть вод р. Иордан и ближайших подземных источников на заполнение этой впадины. Очевидно, вернуть исчезнувшие за это время несколько видов эндемиков не удастся, но наверняка в пределах малого заповедника и в окрестных ручьях, расположенных как на территории самого Израиля, так и в соседних Ливане, Сирии и Иордании, сохранились некоторые виды — появится вода, возможно, они вернутся сами или их можно будет искусственно вселить.

Власти и местное население договорились о том, что возрождаемые болота Хула на площади 24 км² станут заповедником, куда будут допускаться организованные туристы; это создаст новый источник доходов для сильно отставшего в своем развитии района.

New Scientist. 1993. V. 138. N 1869. P. 9 (Великобритания).

Бедность от ума

(Реплика на Указ)

И. Н. Арутюнян

ПОПЫТКИ ученых привлечь внимание руководства страны к бедам российской науки увенчались Указом Президента.

С 1 ноября 1993 г. действительные члены Академии наук будут получать за свое высокое звание 150 тыс. рублей, члены-корреспонденты — 75 тыс. рублей. Одновременно вводятся 50 %-ные надбавки к должностным окладам докторов и кандидатов наук, работающих в бюджетных организациях (к ним, естественно, относится и сфера государственного образования). Кроме того, учреждаются трехгодичные стипендии выдающимся и молодым талантливым ученым. Судя по количеству стипендий, число таковых в России оценивается соответственно в 5 тыс. и 1 тыс. человек. Размер стипендий 75 и 50 тыс. рублей.

Вот, собственно, и все. Указ предельно лаконичен и прост. Его анализ, к счастью (или к сожалению?), не требует обширных познаний в юриспруденции или экономике, равно как и искушенности в конституционных вопросах. Достаточно элементарных познаний в арифметике.

Итак. Вспомним для начала недавнее, дорыночное, прошлое. Академики и члены-корреспонденты получали за звание соответственно 500 и 250 рублей в месяц. Зарплата простого, не обремененного административными обязанностями доктора наук, ведущего научного сотрудника (в вузовской системе это соответствует должности профессора) составляла 400—450 рублей, кандидата наук, старшего научного сотрудника (или доцента) — 300—350 рублей.

А теперь вернемся в наши дни. С учетом сентябрьской индексации и Указа Президента зарплата доктора наук составит

около 100 тыс. рублей, кандидата наук — 75 тыс. рублей. Таким образом, после реализации президентского указа старые зарплаты и выплаты за академические звания могут быть пересчитаны в новые путем умножения, грубо, на коэффициент 300. Цены же с тех пор повысились гораздо больше, так что, несмотря на все указы, нынешний профессор будет жить на том уровне, какой у него был в начале его научной карьеры. С той лишь разницей, что у него нет впереди еще одной жизни, чтобы повторить весь путь сызнова. Вот такая простая арифметика.

Как сообщил на встрече с журналистами президент РАН Ю. С. Осипов, принятые меры обойдутся налогоплательщикам в 1/1000 государственного бюджета. Получить на той же пресс-конференции ответ на вопрос, какая часть работающих в науке оказалась вне президентского указа, не удалось. Известны данные по Академии наук России¹.

Всего в научных учреждениях РАН работают 144 082 человека. Численность научных сотрудников — 63 105 человек, из них академиков 437, членов-корреспондентов 609, докторов наук 7519, кандидатов — 29 651. Таким образом, не «остепененных» научных сотрудников в Академии наук 24 889, или 39 %. Вряд ли вне сферы академической науки это соотношение благоприятнее.

Очевидно, что в эту не охваченную указом категорию заведомо попадает научная молодежь. Поэтому Указ Президента не оставляет надежды на то, что выпускники российских вузов будут стремиться в научно-исследовательские институты. (Для справки: в прошлом году Академия наук приняла в свое лоно

1131 молодого специалиста.) Похоже, что рассчитывать приходится только на бескорыстную преданность науке. Однако реально ли это, если практически на все ну очень не смешные цены? А ведь молодым людям предстоит строить семью, обеспечивать хозяйство, растить детей... Не прибегая к помощи наводнивших наше отечество астрологов, можно сделать вполне реалистический прогноз: выпускники российских вузов (особенно таких «конвертируемых» специальностей, как физика и математика, в которых мы были традиционно сильны) по хорошему уже накатанному пути будут продолжать уезжать за океан, не дожидаясь, пока на родине их признают молодыми и талантливыми и выделят соответствующую стипендию, размер которой меньше жалования продавца в самом захудалом магазине.

Кстати о стипендиях. Любопытно также и упомянутое соотношение количества стипендий для выдающихся и молодых ученых — 5:1. Скорее, можно было бы ожидать обратного. Создается впечатление, что авторы Указа как бы заранее смирились с оттоком молодежи за рубеж и пытаются хоть немного поддержать тех, кому по возрасту и положению уехать не так-то легко.

На что же могут надеяться российские ученые? Опять же, на свои зарубежные поездки да на недавно появившиеся зарубежные гранты, требующие сочинения разнообразных проектов, оформления многочисленных бумаг, добывания рецензий и т. п. Похоже, все больше времени наши ведущие ученые, лидеры научных групп, станут посвящать формальным процедурам, необходимым для получения достаточно скромных сумм. Кстати сказать, западная система грантов, которая может привнести в жизнь наших ученых дух соревновательности не только в период выборов в Академию, имеет и очевидные минусы, которые уже хорошо известны нашим западным коллегам. Неоднократно приходилось слышать от них сетования на непомерно выросшую в связи с этим «бумажную работу». По одному, быть может и пре-

¹ Сведения приводятся на 1 января 1993 г. См.: Краткий сборник статистических сведений о Российской академии наук. М., 1993.

увеличенному, высказыванию, крупные ученые в США половину своего времени тратят на добывание денег, а вторую половину — на реферирование чужих заявок. К тому же в Западе, где научные исследования традиционно сосредоточены в университетах, базовая зарплата (как известно, вполне приличная) дается за преподавание, а деньги, полученные по гранту, тратятся на участие в научных конференциях, покупку оборудования, оплату аспирантов и визитеров (в том числе из России). Неполучение гранта заметно влияет на престиж и финансовое положение научной группы, но не приводит к заметному снижению жизненного уровня ее членов. Пока можно лишь гадать, что произойдет с западной системой грантов, пересаженной на нашу российскую почву.

Так что президентский указ вряд ли «поможет российским ученым больше думать о науке». Скорее всего, им придется искать способы подработать на жизнь на другом, не научном, поприще — в полном соответствии с прозвучавшими в одной из телевизионных программ рекомендациями бывшей советницы Президента, хорошо

знакомой со спецификой процесса научного творчества.

И все же, умножая рубли на людей, складывая гранты и надбавки, невольно ловишь себя на мысли, что, постоянно сбиваясь на обсуждение финансовых проблем, назначая всем и всему свою цену, мы упускаем из виду нечто более важное. В частности, распад привычной системы ценностей, в иерархии которых наука занимала далеко не последнее место. В конце концов, российские ученые никогда не были материально избалованы, но они всегда сознавали, что труд их уважаем и полезен. Сейчас люди, занимающиеся наукой, окружены полным равнодушием общества и властей, что угнетает не меньше, чем низкие зарплаты. (Хотя, разумеется, между положением науки в обществе и ее финансовым состоянием есть прямая причинно-следственная связь.) Но так или иначе научная жизнь, которая еще теплится в государстве российском, все меньше напоминает о себе. С полок книжных магазинов и из планов издательства практически исчезли научные монографии и учебники, в киосках невозможно купить научно-популярные журналы, на экранах телевизоров

чаще появляются шаманы, нежели творцы науки. (Исключение, пожалуй, составляет популярный «политический клип», в котором хорошо узнаваемый доктор физ.-мат. наук участвует в потасовке на Съезде народных депутатов России.) На страницах газет, претендующих на серьезный анализ действительности, появляются публикации, в которых, к примеру, знаменитый академик, перебравшийся за океан, пророчит российской науке неминуемую гибель и рекомендует своего рода затапанную, чтобы не продлевать мучений. Или, того хуже, молодой и совсем независимый журналист утверждает, что наука у нас умирает уже давно, чуть ли не 70 лет, так что, ее вовсе как бы и не было как таковой.

Поэтому сегодня недостаточно выстоять в очереди за правительственной помощью. Надо использовать все мыслимые возможности, чтобы научные исследования у нас продолжались и когда-нибудь вновь стали притягательными. Страна, у которой нет желания и сил на хорошую науку, не может рассчитывать на лучшее будущее.

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ

Конкурс проектов IIASA Землепользование и глобальные изменения: прошлое, настоящее, будущее

Международный институт анализа прикладных систем (IIASA) объявляет конкурс предложений по исследовательским проектам на тему «Землепользование и глобальные изменения: прошлое, настоящее, будущее».

IIASA приглашает международные и междисциплинарные коллективы ученых (от четырех до семи исследователей, включая несколько ведущих ученых) до 10 января 1994 г. представить предложения для двух- или трехгодичных проектов, которые будут осуществляться в Институте IIASA в Лаксенбурге, Австрия.

IIASA не требует представления проекта по строгой форме, но рекомендует наличие в проекте следующих разделов: титульный лист, аннотация, изложение (включающее политические аспекты, анализ текущей ситуации, необходимые данные для выполнения проекта, ожидаемые результаты и сроки), научные биографии всех участников проекта (включая список публикаций), проект бюджета в человеко-месяцах.

Предложения (на английском языке) посылать по адресу:
Dr. Peter E. de Janosi, Director

The International Institute for Applied Systems Analysis, A-2361 Laxenburg, Austria
Tel. (+43-2236) 715210. Fax (+43-2236) 71313, 73147.
Telex: 079 137 iiasa a. E-mail: dejanosi@iiasa.ac.at



Охрана природы

Судьба вороны решится в суде

Эксперты Национального совета научных исследований США (Вашингтон) считают, что, если не принять решительные меры, на Гавайских о-вах исчезнут вороны вида *Corvus hawaiiensis* через 20 лет. Гавайская ворона, или алала, как называют ее местные жители, не встречается нигде, кроме ее родных островов. Да и здесь в природных условиях осталось всего 11 особей, гнездящихся на территории частного ранчо, владелец которого уже более 10 лет не пускает на свою землю официальных представителей Гавайской службы охраны природы, считая, что для пернатых лучше всего, если их оставят в покое.

Придя в отчаяние от безуспешных попыток изъять из гнезд ворон яйца и подложить их самкам, находящимся в неволе, сотрудники гавайского отделения Общества орнитологов им. Одюбона подали в суд на владельца ранчо и местные органы охраны природы, обвиняя последних в халатности при выполнении своих служебных обязанностей. Кроме того, орнитологи полагают, что птицам, содержащимся в неволе, из-за отсутствия «свежих» генов угрожает вырождение (сейчас в неволе осталось только шесть птиц).

Суду предстоит решить, допустимо ли «насильственное вторжение» экологов на территорию, являющуюся священной для закона частной собственностью, ради спасения пернатых. Тем временем владелец ранчо уже несколько смягчился и допустил орнитологов к наблюдению за воронами на месте.

Из всех случаев исчезновения растительных и животных видов в США 75 % приходится на штат Гавайи. Здесь флора и фауна в процессе развития оказались узко приспособленными к специфическим условиям удаленного от континентов архипелага.

Первоначально алала обитала у подножья вулкана Мауна-Лоа, где ее лишь изредка могли потревожить лавовые потоки. Потом сюда прибыли первые полинезийцы, а за ними и европейцы. Алала предпочитает лесной покров и питается дикими плодами, а люди начали расчищать от леса большие земельные участки, возделывать почву, строить фермы, поселки, а затем и города. Кроме того, они привезли с собой хищников, охотящихся на ворон, — мангустов (полинезийских черных крыс).

Все это, а дополнительно эпидемия птичьей оспы, сказавшись на численности алалы, и в 1970-х годах власти санкционировали программу ее размножения в неволе. Особого успеха она не имела.

Ученые намерены забирать яйца у диких ворон, которые, лишившись кладки, отложат новые. Планируется также на всякий случай создать второй центр разведения алалы на берегу Тихого океана. А пока судьба птицы находится в руках американского суда.

New Scientist. 1992. V. 134. N 1821. P. 10 (Великобритания).



Охрана природы

Фламинго становится «сверянином»

Летом 1992 г. в заповеднике Цвилльброкер-Фенн, расположенном в северо-западной части Германии, орнитологи насчитали 31 фламинго. Интересно, что среди европейских фламинго (*Phoenicopterus roseus*) здесь обитают представители чилийского вида (*P. chilensis*). Птицы этих двух видов строят гнезда поблизости друг от друга, и хотя они могут скрещиваться, большинство вылупившихся птенцов — «чилийцы».

Первые шесть «чилийцев» появились здесь еще весной 1982 г. Неизвестно, откуда они прилетели, возможно, из неволи. Однако никто так и не заявлял о пропаже. С тех пор птицы возвращаются в заповедник ежегодно. Из-за этого местные

власти объявили небольшой остров, где гнездятся фламинго, заповедным и полностью запретили все виды хозяйственной деятельности. Остров расположен в середине озера и окружен болотами, обеспечивающими этих редких птиц едой.

Так Цвилльброкер-Фенн стал самым северным в мире местом гнездования фламинго. Птицы находятся под постоянным наблюдением орнитологов ближайшей биологической станции, возглавляемой Г. Й. Фрилингом (H.-J. Frieling).

New Scientist. 1992. V. 135. N 1841. P. 4 (Великобритания).



Охрана природы

Акул пора защищать

Десять лет назад Национальная служба морского рыболовства США обратилась к рыбакам своей страны с предложением увеличить вылов акул, так как добыча некоторых других промысловых рыб в это время шла на убыль. После того как этот призыв был услышан, численность акул начала быстро сокращаться, так как размножаются они значительно медленнее, чем другие рыбы, и встал вопрос о сохранении некоторых видов акул.

В феврале 1992 г. американские власти объявили об изменении своей политики и о введении ограничений на количество акул, которых будет позволено вылавливать коммерческим рыбакам в прибрежных водах страны начиная с лета.

Правительство США даже намерено обратиться с призывом к властям Японии, Канады и Тайваня, чтобы те приняли аналогичные меры. В первую очередь это касается таких видов акул, как мако (*Isurus oxyrinchus*) и морская лисица (*Alopias vulpinus*), которые мигрируют на огромные расстояния и не могут быть взяты под контроль только одной страной.

New Scientist. 1992. V. 133. N 1806. P. 19 (Великобритания).

Молекулярная физиология зрения: системы фоторецепции и защиты от фотоповреждения

М. А. Островский



Михаил Аркадьевич Островский, член-корреспондент РАН, профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, заведующий лабораторией физико-химических основ рецепции Института химической физики им. Н. Н. Семенова РАН, главный редактор журнала «Сенсорные системы». Член ряда международных научных обществ. Область научных интересов — молекулярные механизмы зрения.

В ЗРЕНИИ и фотосинтезе — основных фотобиологических процессах — свет выступает в двух ипостасях: как носитель сенсорной информации и как источник энергии и в обоих случаях как потенциальный повреждающий фактор. Неудивительно поэтому, что в ходе эволюции глаза животных и человека, равно как и фотосинтетического аппарата растений и фотосинтетических микроорганизмов, сформировалась весьма надежная система защиты от опасности светового повреждения.

В случае фотосинтеза основной мишенью повреждения служит фотосистема II, реакционный центр которой, а именно один из его белков, оказался к нему весьма чувствительным. Повреждение аппарата фотосинтеза сильным светом можно рассматривать как неизбежное следствие совокупности окислительно-восстановительных реакций, лежащих в основе механизма преобразования и запасания энергии в живой системе.

В основе первичных механизмов зрения — фоторецепции — лежат иные, не окислительно-восстановительные процессы. Однако опасность возникновения и развития в структурах глаза фотоокислительной деструкции более чем вполне вероятна. Речь идет о фотосенсибилизированном свободнорадикальном окислении, представляющем для глаза, и в первую очередь для сетчатки и пигментного эпителия, потенциальную, а часто и вполне реальную опасность. Высокую вероятность возникновения и развития фотоокислительных реакций в структурах глаза можно рассматривать как неизбежную плату за совершенство молекулярного и мембранного механизма зрения.

В этой статье с позиций современной молекулярной физиологии и патологии зрения предпринята попытка рассмотреть механизмы зрительной рецепции и светового повреждения клеток сетчатки и пигментного эпителия, а также системы их защиты от опасности такого повреждения.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ И МЕМБРАННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОТОРЕЦЕПЦИИ

Основные этапы процессов физиологического возбуждения и адаптации зрительной клетки совершаются в ее специализированной части, так называемом наружном сегменте, наиболее уязвимом для светового повреждения. Механизмы возбуждения и адаптации фоторецепторов сетчатки позвоночных животных и человека — палочек и колбочек — представляются в настоящее время следующим образом¹.

Возбуждение, или процесс фототрансдукции, запускается в клетке поглощением кванта света молекулой зрительного пигмента — сравнительно небольшим мембранным белком (молекулярная масса ~40 кД). В палочках (рецепторах сумеречного зрения) — это родопсин; в колбочках (рецепторах дневного и цветового зрения) — зрительные пигменты, поглощающие соответственно в синей, зеленой и красной областях видимого спектра. Хотя структура наружных сегментов палочек и колбочек несколько различается, механизмы трансдукции и адаптации в них, в принципе, одинаковы.

Завершается процесс трансдукции в наружном сегменте изменением электрического потенциала на его плазматической мембране: в ответ на свет отрицательный заряд на мембране увеличивается — она гиперполяризуется. Это изменение потенциала возникает в результате блокирования встроенных в плазматическую мембрану ионных каналов. В темноте эти каналы поддерживаются в открытом состоянии благодаря тому, что на них «сидят» несколько молекул циклического гуанозинмонофосфата (цГМФ). Через открытые каналы внутрь наружного сегмента течет ионный ток (натрия и частично кальция), создающий темновой деполяризационный уровень мембранного потенциала.

В результате действия света молекулы цГМФ «отваливаются» от ионных каналов, вследствие чего они закрываются и ионный ток внутрь наружного сегмента прекращается. Это приводит к гиперполяризации плазматической мембраны, т. е. к возникновению фоторецепторного потенциала. Затем этот потенциал распространяется вдоль плаз-

матической мембраны зрительной клетки до ее пресинаптического окончания, где тормозит или прекращает выделение в синаптическую щель нейромедиатора.

Между первым событием в механизме трансдукции — поглощением кванта света молекулой зрительного пигмента — и, условно говоря, последним — возникновением фоторецепторного потенциала — функционирует ферментативный каскад усиления и передачи первичного светового сигнала. Открытие и расшифровка ферментативного каскада реакций внутри наружного сегмента, а также молекулярного механизма работы цГМФ-управляемых ионных каналов плазматической мембраны — достижение двух последних десятилетий и особенно последнего времени.

В механизмах фототрансдукции и адаптации принимают участие довольно много белков (мембранных, примембранных, цитоплазматических), низкомолекулярных соединений, в первую очередь цГМФ, и физиологически важных одно- и двухвалентных ионов. Ключевую роль в молекулярном механизме трансдукции в качестве внутриклеточного медиатора или вторичного посредника играет цГМФ, в механизме адаптации — скорее всего, кальций. Их участие в механизмах возбуждения и адаптации зрительной клетки тесно переплетено.

Концентрация цГМФ в наружном сегменте определяется балансом между скоростью образования цГМФ из ГТФ с помощью фермента гуанилатциклазы и скоростью распада цГМФ до ГМФ с помощью другого светозависимого фермента — фосфодиэстеразы.

Собственно ферментативный каскад в молекулярном механизме трансдукции — это процесс активации фермента фосфодиэстеразы, который осуществляется в три этапа. Первый — это фотоизомеризация хромофора (11-цис-ретиналя) и изменение конформации белковой части молекулы зрительного пигмента, в результате чего он обесцвечивается. В ходе этого процесса, называемого фотолизом, родопсин превращается в один из своих промежуточных долгоживущих продуктов — метародопсин II. Кстати, родопсин — один из древнейших белков-рецепторов, способных взаимодействовать с ГТФ-связывающим белком (в общепринятой терминологии G-белком). В зрительной клетке G-белок получил название трансдуцина или белка трансдукции.

Второй этап — это взаимодействие метародопсина II с трансдуцином. За время своего существования метародопсин II

¹ Островский М. А., Говардовский В. И. Механизмы фоторецепции позвоночных // Физиология зрения. М., 1992. С. 5—59; Dowling J. The Retina. Cambridge — London, 1987; Kaupp U. B., Koch K.-W. // Annu. Rev. Physiol. 1992. V. 54. P. 153—175; McNaughton P. A. // Physiol. Rev. 1990. V. 70. P. 847—883; Pugh E. N., Lamb T. D. // Vis. Res. 1990. V. 30. P. 1923—1948.

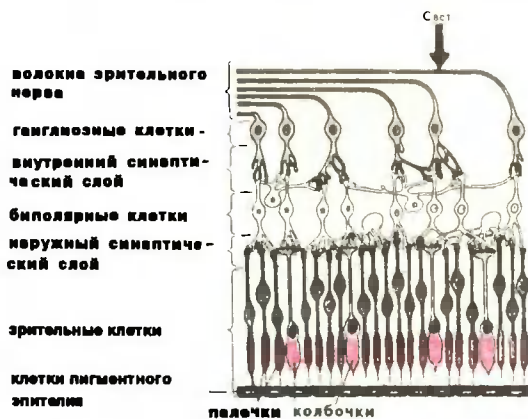


Схема строения сетчатки.

Сетчатка в глазу позвоночных животных и человека инвертирована, и ее зрительные клетки обращены от света. Поэтому прежде чем дойти до наружного сегмента этих клеток — палочек и колбочек, свет проходит все слои сетчатки. Наружные сегменты поглощают лишь незначительную часть доходящего до них света, большая его часть проходит дальше и поглощается однослойным пигментным эпителием, клетки которого содержат гранулы экранирующего пигмента — меланосомы.

может успеть провзаимодействовать с несколькими сотнями молекул трансдуцина. На этом этапе происходит усиление или размножение первичного светового сигнала в несколько сот раз. Трансдуцин в составе комплекса с метародопсином II сначала обменивает «сидящий» на его α -субъединицу ГДФ на ГТФ, а затем распадается на α - и β - γ -субъединицы.

На третьем этапе α -субъединица трансдуцина с «сидящим» на ней ГТФ, свободно диффундируя в междисковом цитоплазматическом пространстве, встречается со следующим примембранным белком — ферментом фосфодиэстеразой и активирует ее. Механизм активации состоит в том, что α -субъединица трансдуцина взаимодействует с ингибиторной (одной или двумя) γ -субъединицей фосфодиэстеразы, открывает ее от α - β -субъединиц, обнажая тем самым активный центр фермента.

Активированная фосфодиэстераза принадлежит к одному из наиболее эффективных гидролитических ферментов: она способна гидролизовать до тысячи молекул цГМФ в секунду. Таким образом, общее усиление или размножение первичного одноквантового светового сигнала может достигнуть миллиона раз.

В действительности в физиологических условиях благодаря сложной системе регуляции ферментативного каскада один поглощенный молекулой родопсина

квант света приводит к гидролизу (разрушению) в зрительной клетке лишь нескольких десятков тысяч молекул цГМФ.

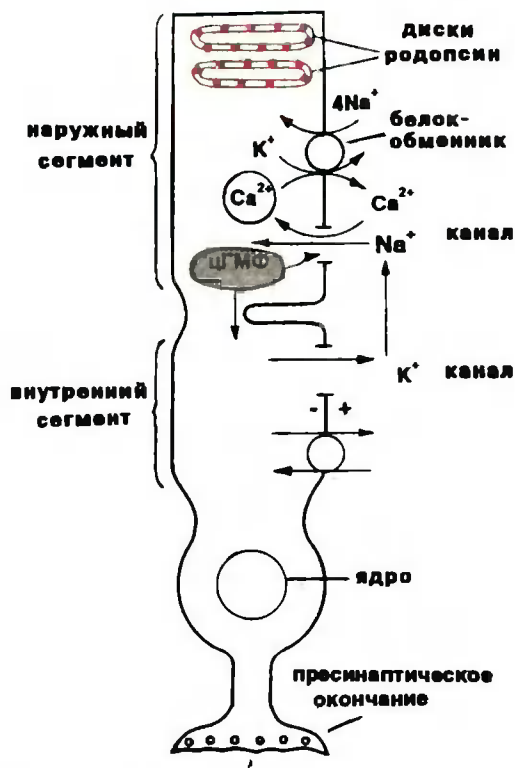
Если родопсин, трансдуцин и фосфодиэстераза — триада основных «рабочих» белков ферментативного каскада трансдукции, то ряд других, участвующих в процессах возбуждения и адаптации зрительной клетки, регулируют работу каскада.

Ключевым этапом в механизме регуляции или выключения работы каскада служит быстрая инактивация долгоживущего метародопсина II — уменьшение или прекращение его взаимодействия с трансдуцином. Молекулярные события этого этапа весьма сложны. Сначала метародопсин II фосфорилируется родопсиновой киназой. Фосфорилирование белков-рецепторов, вероятно, представляет собой общий механизм регуляции в процессах сенсорной рецепции. Фосфорилирования метародопсина II, однако, еще недостаточно для его полной инактивации. Для этого необходим еще один регуляторный белок — арестин (от слова «арестовывать») или белок 48 кД. Взаимодействуя с фосфорилированным метародопсином II, он полностью выключает каскад. Этот водорастворимый белок обладает также ярко выраженной антигенной активностью. Он известен в офтальмологии как S (от слова soluble)-антиген и играет важную роль в патогенезе ряда тяжелых аутоиммунных заболеваний.

Несколько лет назад в нашей лаборатории был налажен метод препаративного выделения и очистки S-антигена из бычьей сетчатки. Совместно с сотрудниками МНИИ глазных болезней им. Гельмгольца нами были разработаны и внедрены в клиническую практику методы диагностики ряда аутоиммунных заболеваний, например симпатизирующего воспаления глаза, аутоаллергического компонента при увеитах (воспаление радужной и сосудистой оболочек глаза), диабетической ретинопатии (осложнение на сетчатку при диабете)².

Совсем недавно обнаружен еще один белок, регулирующий работу ферментативного каскада трансдукции³. Речь идет о небольшом (26 кД) водорастворимом кальций-связывающем белке S-модулине. При сравнительно высоких, но в физиологических

² Архипова Л. Т. и др. // Офтальмол. журн. 1982. № 1. С. 13—16; Зайцева Н. С. и др. // Вестн. офтальмол. 1986. № 1. С. 36—39; Слепова О. С. и др. // Сенсорные системы. 1992. Т. 6. № 3. С. 64—69.
³ Kuwamura S. // Nature. 1993. V. 362. N 6423. P. 855—857.



Палочка в темновосприимчивом состоянии. В фоторецепторных мембранах дисков наружного сегмента находятся молекулы зрительного пигмента родопсина (красный цвет). В темноте связанные с каналом плазматической мембраны молекулы цГМФ поддерживают его в открытом состоянии, обеспечивая тем самым входящий ионный ток натрия и частично кальция. Встроенный в эту же мембрану белок-обменник переносит из цитоплазмы один ион кальция и один ион калия в обмен на четыре иона натрия [по McNaughton P. A. 1990].

пределах, концентрациях кальция (от 30 нМ до 1 мкМ) S-модулин увеличивает количество и время жизни активированных трансдукцином молекул фосфодиэстеразы. Предполагается, что S-модулин при повышенной концентрации кальция, ингибируя родопсиновую киназу или препятствуя ее взаимодействию с метародопсином II, не позволяет полностью выключать каскад, т. е. полностью ингибировать активность фосфодиэстеразы и прекратить гидролиз цГМФ. Возможно, такая регуляция фосфодиэстеразы кальций-связывающим белком S-модулином представляет собой один из ключевых процессов в сложном механизме световой адаптации зрительной клетки.

Следующие, более медленные механизмы прекращения работы ферментативного каскада — это инактивация трансдуцина с помощью его собственной ГТФ-аз-

ной активности, инактивация фосфодиэстеразы вследствие рекомбинации ее несущих активный центр α - β -субъединиц с ингибиторной (одной или двумя) γ -субъединицей и, наконец, медленный распад метародопсина II на полностью транс-ретиаль и опсин.

Быстрое падение в цитоплазме наружного сегмента концентрации свободного цГМФ в результате работы ферментативного каскада трансдукции приводит, как мы уже говорили, к освобождению ионного канала от «сидящих» на нем молекул цГМФ и его закрытию.

Теперь рассмотрим коротко молекулярно-физиологические процессы, ответственные за работу цГМФ-управляемых каналов плазматической мембраны. Их важнейшее свойство не только в фоторецепторе, но, вероятно, и в других сенсорных рецепторах, во всяком случае в обонятельном, — это ненужность какого-либо дополнительного водорастворимого агента для взаимодействия циклического нуклеотида с каналом.

Связывание цГМФ с каналом происходит исключительно быстро — за миллисекунды, т. е. в пределах времени возникновения и развития в наружном сегменте фоторецепторного потенциала.

В последнее время появились важные сведения о молекулярной организации канала, позволяющие, в первом приближении, соотнести его структуру и функцию⁴.

Одна из белковых субъединиц канала — белок с массой 63 кД, другая — белок 240 кД. Если первый белок ответствен за связывание молекулы цГМФ, то второй — за взаимодействие с кальций-связывающим белком кальмодулином. Белок 240 кД напоминает известные белки цитоскелета — спектрин и фодрин, также способные связывать кальмодулин.

Белок 63 кД связывает молекулу цГМФ и тем самым регулирует состояние канала — открытое или закрытое. В состав канального комплекса входит, по-видимому, четыре 63 кД-субъединицы, связывающие соответственно четыре (по некоторым данным, три) молекулы цГМФ. Две 240 кД субъединицы второго, способного связывать кальмодулин белка ответственны за быстрое возвращение ионного канала в открытое темновое состояние.

Дело в том, что блокирование канала в ответ на свет приводит к паде-

⁴ Hsu Y.-T., Molday R. S. // Nature. 1993. V. 361. P. 76—79.

нию в цитоплазме наружного сегмента концентрации свободного кальция. В свою очередь это снижает сродство белка 240 кД к кальмодулину, и он — кальмодулин — от канала «отваливается». У свободного же от кальмодулина канала резко повышается способность связывать цГМФ. Поэтому в условиях низкой концентрации свободного кальция в цитоплазме и все еще низкой после вспышки концентрации цГМФ канал тем ни менее способен связывать цГМФ и вновь быстро переходить в открытое состояние.

Таким образом, диссоциация кальмодулина от ионного канала — одно из самых ранних и специфических событий в механизме экстренного восстановления темнового открытого состояния ионного канала.

Адаптация, помимо быстрого открытия ионного канала вследствие его освобождения от кальмодулина, включает по меньшей мере еще два процесса: прекращение ферментативного распада цГМФ и активация его синтеза с помощью фермента гуанилатциклазы. В свою очередь активность гуанилатциклазы регулируется еще одним кальций-связывающим белком, природа которого еще окончательно не установлена. Не исключено, что это тот же белок — S-модулин, который регулирует в каскаде активность фосфодиэстеразы.

РОДОПСИН (500nm)

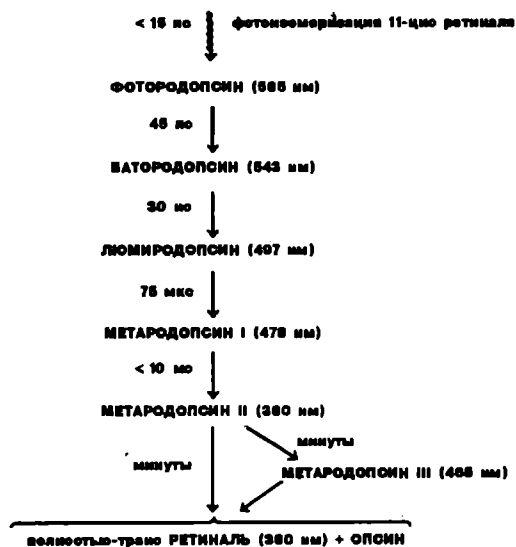


Схема фотоллиза родопсина. Волнистая стрелка — фотохимическая реакция; прямые стрелки — темновые, зависящие от температуры реакции. Слева — времена перехода от одного промежуточного продукта фотоллиза к другому при комнатной температуре; справа — максимумы спектров поглощения каждого из продуктов.

Несомненно, что кальций-связывающие белки принимают непосредственное участие в механизме световой адаптации зрительной клетки. Падение концентрации свободного кальция в цитоплазме наружного сегмента, служащее сигналом и для быстрого возвращения канала в открытое состояние после световой вспышки, и для более медленной световой адаптации, происходит, по крайней мере, по двум причинам: во-первых, из-за прекращения или уменьшения скорости его поступления внутрь наружного сегмента через блокированные на свету ионные каналы (как мы знаем, эти каналы крайне неселективны и около 10 % или даже несколько больше текущего через них ионного тока — это кальциевый ток) и, во-вторых, благодаря постоянной работе встроенного в плазматическую мембрану белка-обменника. Белок-обменник постоянно и независимо от света переносит из цитоплазмы в межклеточное пространство один ион кальция и один ион калия в обмен на четыре иона натрия.

Когда кальций перестает поступать в наружный сегмент через закрытые цГМФ-управляемые каналы, белок-обменник продолжает выбрасывать его из цитоплазмы. Тем самым свет вызывает существенное снижение концентрации свободного кальция в цитоплазме наружного сегмента.

Хотя недавно белок-обменник был выделен из плазматической и реконструирован в искусственной мембране (он оказался довольно крупным белком с молекулярной массой около 220 кД), молекулярный механизм его работы как ионного обменника пока не ясен.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ И МЕМБРАННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ НАРУЖНОГО СЕГМЕНТА И ЕГО УЯЗВИМОСТЬ К ФОТОПОВРЕЖДЕНИЮ

Как мы видим, механизмы возбуждения и адаптации зрительной клетки обеспечиваются сложной молекулярной и мембранной машинерией. Чтобы такая система могла нормально функционировать, ей необходима совершенная и стабильная структурная организация. Речь идет о пространственной организации белков и липидов в фоторецепторной мембране, об ультраструктурной организации фоторецепторной и плазматической мембран и, естественно, об упорядоченной структуре наружного сегмента и зрительной клетки в целом.

В механизме фоторецепции, как мы видели, принимают участие мембранные,

примембранные и цитоплазматические белки. Функции мембранного белка определяются как его конформационной внутримолекулярной подвижностью, так и его способностью перемещаться (диффундировать) в плоскости мембраны. Благодаря этому он получает возможность взаимодействовать с другими белками — мембранными, примембранными или цитоплазматическими.

Классический пример полуфункционального интегрального мембранного белка — молекула зрительного пигмента в фоторецепторной мембране. В механизме фоторецепции она обеспечивает, по крайней мере, три физиологические функции: определяет область спектральной чувствительности зрительной клетки, обеспечивает ее почти предельную световую чувствительность (квантовый выход обесцвечивания родопсина около 0,7) и, наконец, взаимодействует с другими белками.

В плазматической же мембране важнейшую роль играют мембранные белки, образующие ЦГМФ-управляемые ионные каналы, и интегральный белок-обменник. Трехмерная структура, поведение и функция мембранных белков в значительной мере определяются их липидным окружением.

Липидный состав мембран наружного сегмента, можно сказать, уникален. Похожим составом обладает лишь метаболически активная мембрана митохондрий. Уникален жирнокислотный состав их фосфолипидов — это, в основном, длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты. Благодаря этому достигается исключительно низкая вязкость двойного липидного слоя мембраны, в которой погружены мембранные белки. Хорошо известно, что вязкость липидного слоя пропорциональна полиненасыщенности образующих ее жирных кислот. Однако, чем длиннее цепь жирной кислоты и чем больше в ней двойных химических связей, тем выше вероятность ее окисления. Если высокая жидкость липидного бислоя фоторецепторной мембраны — ее важное функциональное преимущество, то высокий риск окисления ее липидов — потенциально опасный недостаток.

Недавно обнаружилось, что около 4—5 % фосфолипидов в фоторецепторной мембране прочно связаны с молекулой зрительного пигмента — их никак не удается отделить при выделении и очистке родопсина. Речь идет о фосфатидилхолине, в состав молекулы которого, как оказалось, входят сверхдлинные жирнокислотные цепи, содержащие 54 и 56 углерод-

ных атомов и от 10 до 12 двойных связей⁵. Скорее всего, функциональное назначение такой необычной липидной «шубы» в том, чтобы поддержать нужную трехмерную структуру молекулы родопсина в фоторецепторной мембране и облегчить функционально важные конформационные перестройки ее белковой части (опсина) в ходе фотолиза.

Итак, благодаря низкой вязкости липидного бислоя фоторецепторной мембраны (порядка двух пауз — это вязкость оливкового масла) молекула родопсина, как и другие примембранные белки, в ней свободно диффундируют. Всего за несколько секунд молекула родопсина перемещается в мембране от одного края диска к другому, сталкивается и взаимодействует за очень короткое время с сотнями других молекул, запуская тем самым всю фоторецепторную машинерию.

Следует подчеркнуть, что и молекулярная организация фоторецепторной мембраны, и структура образуемого ею диска, и расположение дисков в наружном сегменте строго упорядочены. По-видимому, такая упорядоченность имеет глубокий функциональный смысл, и ее нарушение может привести к серьезным патологическим последствиям.

Одной из возможных причин «поломки» структуры и нарушения функции фоторецепторной машинерии может стать слишком яркий и спектрально опасный свет⁶. Фотоповреждение происходит, как правило, по механизму фотосенсибилизированного свободнорадикального окисления.

Как известно, такая реакция определяется тремя факторами: фотосенсибилизаторами (окрашенными веществами), субстратами окисления (соединения, легко подверженные окислению) и кислородом. В сетчатке присутствуют все три фактора. Это означает, что доступные свету структуры глаза легко подвержены фотоокислению.

Фактор первый — фотосенсибилизаторы, представляющие потенциальную опас-

⁵ Virmaux N. et al. Phospholipids associated with rhodopsin purified by concanavalin-A-sepharose // Structures and Functions of Retinal Proteins / Ed. L. I. Rigaud. Colloque INSERM, John Libbey Eurotext Ltd., 1992. V. 221. P. 287—290.

⁶ Dillon J. // J. Photochem. Photobiol. 1991. V. 10. P. 23—40; Hazards of Light / Ed. by J. Cronly-Dillon et al. Oxford, 1988; Paz M. D. L., Anderson R. E. // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1992. V. 33. N 13. P. 3497—3499; The effects of constant light on visual processes / Ed. by Williams T. P., Baker B. N. N. Y., 1990; Островский М. А., Федорович И. Б., Донцов А. Е. // Биофизика. 1987. Т. 32. № 5. С. 896—909; Островский М. А. и др. // Вестн. АМН СССР. 1979. Т. 12. С. 57—62.

ность для сетчатки и пигментного эпителия. Прежде всего это ретиналь (альдегид витамина А), который служит хромофорной группой всех известных в настоящее время зрительных пигментов.

Выбор уже на самых ранних этапах эволюции ретиналя в качестве хромофора зрительных пигментов обусловлен его уникальными фотохимическими свойствами: исключительно высоким коэффициентом молярной экстинкции (ослабление пучка света за счет поглощения и рассеяния одномолярным раствором вещества) в области 500 нм, очень высоким квантовым выходом и скоростью (меньше пикосекунды) фотоизомеризации. Энергия поглощенного кванта света тратится в зрении именно на эту фотохимическую реакцию — реакцию фотоизомеризации ретиналя, которая запускает процесс изменения конформации и обесцвечивания молекулы зрительного пигмента.

В обесцвеченной молекуле ретиналь еще довольно длительное время продолжает оставаться связанным с белковой частью молекулы зрительного пигмента (опсином) или способен «перескочить» на молекулу фосфолипида. Максимум спектра поглощения ретиналя при этом смещается в ближнюю ультрафиолетовую область (380 нм), захватывая также и фиолетово-синюю часть видимого спектра. Поглощая свет, ретиналь способен при этом инициировать окисление и белков, и липидов, на которых он «сидит».

Мы подробно исследовали процесс окисления родопсина и липидов в фоторецепторной мембране наружного сегмента. Вследствие окисления зрительный пигмент теряет одно из важнейших функциональных свойств: способность к регенерации, т. е. к восстановлению исходного спектра поглощения (500 нм).

Недавно мы исследовали фотоокисление другого важнейшего белка зрительного цикла — ретиналь-связывающего межфоторецепторного белка⁷. Этот белок переносит ретиналь и ретинол (витамин А) из наружного сегмента фоторецептора в клетку пигментного эпителия и обратно. Мы показали, что спектры действия окисления этих двух ретиналь-содержащих белков — родопсина и межфоторецепторного ретиналь-связывающего белка — соответствуют спектру поглощения связанного с ни-

ми ретиналя. Это означает, что коротковолновое излучение вплоть до 400—440 нм может представлять опасность для сетчатки.

К потенциально опасным фотосенсибилизаторам относятся также флавины, в том числе такой классический фотосенсибилизатор, как рибофлавин, поглощающий в области 400 нм. (Эти окрашенные соединения присутствуют во всех клетках организма и участвуют в дыхательных процессах.)

Недавно обнаружен еще один эффективный фотосенсибилизатор, также поглощающий свет в фиолетово-синей области спектра. Это предшественник гемоглобина — протопорфирин IX⁸. Находясь в доступных свету хориокапиллярах, он, как выяснилось, может вызывать ряд фотодегенеративных процессов, участвуя, например, в патогенезе старческой макулярной дегенерации сетчатки.

Оказалось, что хорошо известный «пигмент старости» — липофусцин — обладает фотосенсибилизирующей активностью, особенно в фиолетово-синей области спектра⁹. Под влиянием света он ускоряет образование активных цитотоксических форм кислорода — супероксидных анион-радикалов.

Многие окрашенные химические соединения, попадающие в организм извне и обладающие фотосенсибилизирующей активностью, могут оказать повреждающее действие на доступные свету клетки и ткани. Это в полной мере относится и к лекарствам, поглощающим свет с длиной волны более 300 нм¹⁰. Например, это хлорпромазин (максимум поглощения 310 нм), тетрациклин (максимум 365 нм). Причем такие препараты особенно опасны для сетчатки детей, хрусталик которых пропускает не только синюю, но частично даже и ультрафиолетовую часть спектра.

Фактор второй — субстраты фотоокисления. В фоторецепторной мембране — это в первую очередь родопсин и фосфолипиды.

Фотоокисление родопсина приводит к образованию внутримолекулярных и межмолекулярных дисульфидных связей («сшивок») и его необратимой агрегации. В результате подвижность молекул родопсина в матриксе фоторецепторной мембраны становится крайне низкой. Агрегированный

⁷ Fedorovich I. B. et al. Photodamage to interphotoreceptor retinoid-binding protein. // Structures and Functions of Retinal Proteins / Ed. L. I. Rigaud. Colloque INSERM. John Libbey Eurotext Ltd., 1992. V. 221. P. 275—276.

⁸ Gottsch J. D. et al. // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1990. V. 31. P. 1674—1682.

⁹ Ostrovsky et al. // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1992. V. 33. N 4. P. 919.

¹⁰ Пирюзян Л. А., Островский М. А., Ландау М. А. // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1991. № 1. С. 43—50.

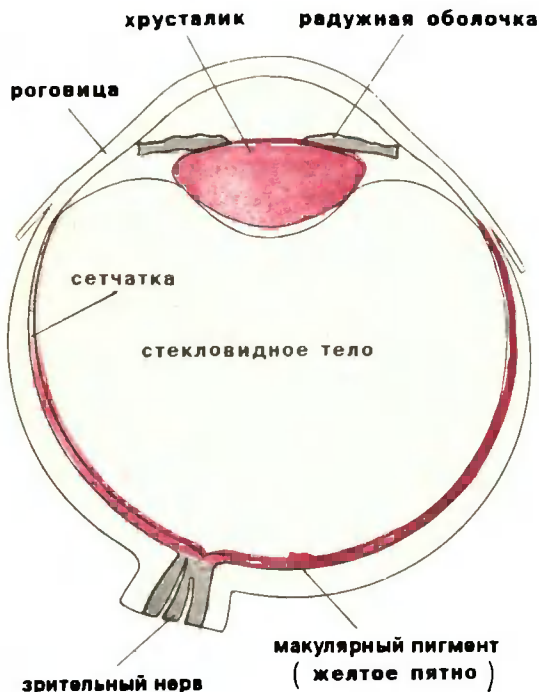


Схема строения глаза. Компоненты, участвующие в оптической системе защиты сетчатки и пигментного эпителия от опасности фотоповреждения: оптические среды — роговица, хрусталик; макулярный пигмент. Экранирующие пигменты — меланисомы пигментного эпителия и радужной оболочки.

родопсин теряет одно из основных своих нативных свойств — способность к регенерации.

Патологические следствия перекисного фотоокисления липидов в биологических мембранах, в том числе и в фоторецепторной мембране, хорошо известны: это и изменение ее вязкости, и образование токсичных продуктов окисления, нарушающих нормальную функцию белков, и ряд других молекулярно-патологических следствий.

Методами рентгено-структурного анализа и электронной микроскопии было показано, как именно фотоокисление белков и липидов изменяет ультраструктурную организацию фоторецепторной мембраны и всего наружного сегмента.

Все это, естественно, приводит к нарушению функциональных свойств сетчатки — стойкому падению, вплоть до исчезновения, электроретинограммы, в первую очередь электрической активности зрительных клеток.

Кислород — третий необходимый участник фотосенсибилизированного свободно-

радикального окисления. В опытах на крысах мы показали, что повышенное содержание кислорода, а тем более при высоком давлении, усугубляет повреждающее действие света на сетчатку¹¹. Это проявляется как в снижении или полном исчезновении электроретинограммы, так и в значительной потере способности зрительного пигмента к регенерации *in vivo* в ходе последующей длительной темновой адаптации. Токсическое действие кислорода на сетчатку в таких условиях гипероксии проявляется именно в сочетании со светом. В отсутствие света сетчатка и ее зрительные клетки исключительно устойчивы к повышенной концентрации и давлению кислорода, что свидетельствует о высокой эффективности ее естественной антиоксидантной защиты. Однако сочетания повышенной дозы светового облучения с повышенной концентрацией кислорода антиоксидантная система сетчатки не выдерживает.

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ФОТОПОВРЕЖДЕНИЙ

Можно выделить, по крайней мере, три системы защиты сетчатки и пигментного эпителия глаза позвоночных животных и человека от фотоповреждения: оптическую, биохимическую (антиоксидантную) и систему постоянного обновления (репарации) наружных сегментов зрительных клеток — и палочек, и колбочек.

Обновление наружных сегментов¹². Скорость этого процесса зависит от «световой истории» наружного сегмента: на достаточно ярком свете скорость увеличивается, в темноте — уменьшается. Так, у белых крыс, рожденных и выросших на ярком свете, наружные сегменты палочек короткие, у рожденных же и выросших в сумерках — длинные. Это дало основание Т. Вильямсу выдвинуть гипотезу «фотостазиса», согласно которой количество квантов света, поглощаемых наружным сегментом, примерно постоянно в условиях обитания в яркой или сумеречной световой среде¹³.

Перемещаясь от основания наружного сегмента к вершине, вновь синтезированные мембраны фоторецепторного диска

¹¹ Капуста Н. В. и др. Усугубляющее действие кислорода при фотоповреждении сетчатки глаза белой крысы // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 1987. № 7. С. 102—104.

¹² Bok D. // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1985. V. 26. N 12. P. 1659—1694.

¹³ Penn J. S., Williams T. P. // Exp. Eye Res. 1986. V. 43. P. 915—928.

накапливают в течение своей световой жизни все больше необратимых молекулярных дефектов. Так, количество сульфгидрильных групп на молекулу родопсина в апикальных дисках, как было показано нами, меньше, чем в базальных, т. е. родопсин в «старых» дисках частично окислен и потому регенерирует медленнее.

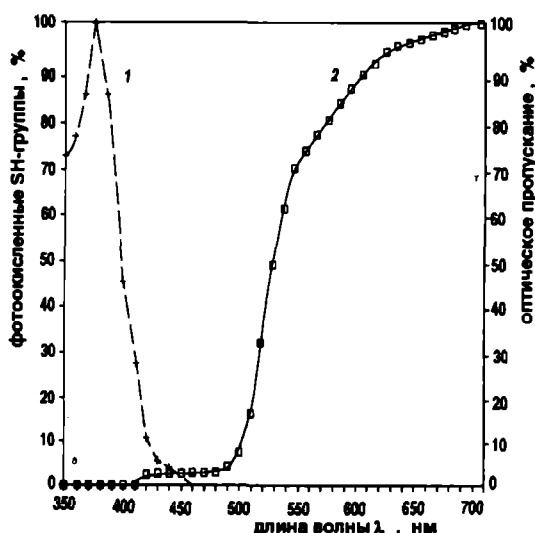
Функциональная активность апикальной части наружного сегмента с «дефектными» дисками ниже активности базальной и средней частей. В апикальной части возрастает время формирования фоторецепторного потенциала, замедляется скорость восстановления световой чувствительности.

Вполне логично, что фоторецепторные диски, накопившие молекулярные дефекты (окисленные белки и липиды), должны быть удалены. Поэтому постоянное обновление дисков наружного сегмента следует рассматривать как естественный механизм поддержания нормального физиологического состояния наружного сегмента, как надежный клеточный механизм защиты от молекулярных дефектов, скопившихся в нем в течение световой жизни. Феномен репарации фоторецепторных мембран обнаружен и в рабдомах глаза беспозвоночных животных.

Иными словами, постоянное обновление фоторецепторных мембран — общий, найденный в ходе эволюции способ защиты зрительных клеток от неизбежного светового повреждения — фотосенсибилизированного окисления.

Система биохимической (антиоксидантной) защиты сетчатки и пигментного эпителия¹⁴. Клетки сетчатки и пигментного эпителия содержат, в принципе, тот же биохимический набор антиоксидантов — витаминов и ферментов, что и другие клетки организма. Однако поскольку существует опасность фотоокислительной деструкции в доступных свету структурах глаза, то содержание природных антиоксидантов в них существенно выше. Более того, и в сетчатке, и в пигментном эпителии присутствуют весьма специализированные антиоксиданты, например экранирующие пигменты, выполняющие одновременно и функцию оптической защиты светочувствительных рецепторных элементов.

Основной природный антиоксидант — α -токоферол (витамин Е) — обладает высокой антирадикальной активностью и спо-



Спектр действия фотоокисления сульфгидрильных групп родопсина в фоторецепторной мембране, облученной повреждающей дозой света [1], и спектр оптического пропускания хрусталика [2] человека среднего возраста (около 40 лет). Видно, что хрусталик, как светочувствительный, полностью отсекает ультрафиолетовую и частично фиолетово-синюю области спектра, потенциально опасные для сетчатки и пигментного эпителия глаз.

собностью эффективно взаимодействовать с активными и токсичными формами кислорода. Недостаток α -токоферола в организме способен вызвать и накопление токсических продуктов перекисного окисления липидов, и дегенерацию наружных сегментов фоторецепторов. В системе антиоксидантной защиты сетчатки от фотоповреждения важную роль играет и эндогенная аскорбиновая кислота (витамин С).

В то же время роль антиокислительных ферментов (супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы, каталазы) в защите наружного сегмента от фотоокислительной деструкции примерно такая же, как и в других клетках организма.

Специфический для сетчатки антиоксидант — макулярный пигмент — содержит два каротиноида (лютеин и зеаксантин), эффективно «перехватывающие» высокотоксичный синглетный кислород (кислород в активной форме). Одновременно макулярный пигмент служит оптическим фильтром коротковолнового излучения.

Все ферментативные и неферментативные звенья антиоксидантной защиты имеются и в клетках пигментного эпителия. Так, в этих клетках помимо большого количества α -токоферола найдены высоко-

¹⁴ Островский М. А., Федорович И. Б. Система защиты фоторецепторных клеток от повреждающего действия света // Системы органов чувств / Под ред. Гершуни Г. В. Л., 1987. С. 4—22.

активные пероксидазы, как селен-зависимой, так и селен-независимой.

Специфическими антиоксидантами клеток пигментного эпителия глаза позвоночных животных и человека служат гранулы экранирующего пигмента меланосомы¹⁵. Они эффективно связывают прооксидантные (ускоряющие окисление) ионы, в частности ионы железа, и не менее эффективно взаимодействуют с активными формами кислорода.

Система оптической защиты сетчатки и пигментного эпителия от опасности фотоповреждения. Зависимость повреждающего действия света от его длины волны определяется спектральными свойствами окрашенных соединений — фотосенсибилизаторов сетчатки и пигментного эпителия. Описаны два типа фотоповреждений соответственно с двумя спектрами действия: при длительном облучении глаза светом низкой интенсивности и при действии на глаз достаточно яркого света в течение даже непродолжительного времени. В первом случае страдают наружные сегменты палочек, и максимум спектра действия повреждения находится в области поглощения родопсина (500 нм), т. е. в зеленой области спектра. В основе такого повреждения лежит, по всей вероятности, обесцвечивание избыточного количества родопсина в наружном сегменте.

При нормальных физиологических условиях освещения даже в полностью светoadaptированном фоторецепторе в его наружном сегменте обесцвечивается не более нескольких процентов родопсина. Этого, как известно, совершенно достаточно для снижения световой чувствительности клетки на несколько порядков. Обесцвечивание же большого количества или, тем более, всего зрительного пигмента, как правило, приводит к дегенерации наружного сегмента. Вероятно, это связано с тем, что обесцвеченный зрительный пигмент, точнее, белковая часть молекулы без хромофора (опсин), и обесцвеченная фоторецепторная мембрана крайне нестабильны.

В оптической системе глаза, как известно, роговица отсекает свет короче 295 нм, защищая тем самым не только сетчатку, но и хрусталик от ультрафиолетового повреждения. Сам хрусталик, эффективно поглощая свет в области 295—400 нм, достаточно надежно защищает сетчатку и

Оптическая система защиты структур глаза от фотоокисления

Компоненты системы	Область оптического поглощения
1. Оптические среды (роговица, хрусталик)	УФ—С, УФ—В, УФ—А, фиолетовая и частично синяя часть видимого спектра
2. Желтое пятно	максимум в области 460 нм
3. Экранирующие пигменты меланосомы	УФ и коротковолновый видимый свет
оммохромы	максимум в области 520 нм
4. Масляные капли в фоторецепторах	УФ и видимая области спектра

Биохимическая система защиты структур глаза от фотоокисления

Витамин Е	Экранирующие пигменты:
Витамин С	меланосомы
Супероксид дисмутаза	оммохромы
Глутатион пероксидаза	Фосфолипаза
Глутатион редуктаза	Ксантофилл
Глутатион	Каротиноиды масляных капель

пигментный эпителий от опасности повреждения ближним ультрафиолетом.

Вследствие возрастных структурных и химических изменений цитозольных белков хрусталик приобретает все более интенсивную желтоватую окраску. В результате его оптическое поглощение увеличивается и смещается в синюю область, простираясь частично вплоть до 500 нм.

Подробно исследуя этот важный для оптической защиты глаза феномен, мы и группа американских специалистов¹⁶ независимо друг от друга обнаружили, что в хрусталике младенцев имеется область повышенного пропускания в ультрафиолете (с максимумом около 320 нм), так называемое «ультрафиолетовое окно», которое примерно к десятилетнему возрасту почти полностью исчезает. Пока неясно, является ли это «окно» следствием «незрелости» белков хрусталика младенца (что более вероятно) или в раннем детском возрасте незначительное ультрафиолетовое облучение необходимо для нормального развития сетчатки и пигментного эпителия.

После двадцати с лишним лет начинает проявляться и с каждым десятилетием усиливается пожелтение хрусталика. С одной стороны, этот процесс можно

¹⁵ Ostrovsky M. A. et al. // Vis. Res. 1987. V. 27. N 6. P. 893—899; Островский М. А. и др. // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 1987. Т. 23. № 5. С. 575—581; Островский М. А. и др. // Биол. мембраны. 1992. Т. 9. № 10—11. С. 1130—1133.

¹⁶ Barker F. M. et al. // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1991. V. 32. N 4. P. 1083.

рассматривать как возрастное накопление молекулярных дефектов в его белках, с другой — как компенсаторный механизм защиты стареющих клеток сетчатки и пигментного эпителия от фотоокисления, поскольку эффективность их антиоксидантной защиты с возрастом уменьшается, а опасность фотоповреждения возрастает. Иными словами, в хрусталик как бы вводится дополнительный желтый светофильтр. Интересно, что желтая окраска хрусталика (или усиление желтизны) наблюдается и у некоторых животных, активных в дневные часы и подолгу пребывающих на ярком свете.

Роль светофильтра, не связанного со старением, играет, как уже говорилось, желтый макулярный пигмент, находящийся в центральной области сетчатки, где фокусируется свет и где требуется дополнительная оптическая защита. Этот пигмент локализован во внутренних слоях сетчатки и настолько эффективно отфильтровывает синий свет, что в макулярной области сетчатки отсутствуют синие колбочки. Сходную светозащитную функцию выполняют, по-видимому, содержащие каротиноиды масляные капли во внутреннем сегменте колбочек рептилий и птиц.

Экранирующие пигменты глаза — меланосомы у позвоночных животных и человека и оммохромы у беспозвоночных — выполняют не только экранирующую, но и защитную функцию. Отсутствие меланосом в пигментном эпителии альбиносов приводит к фотофобии и повышенному риску светового повреждения сетчатки и пигментного эпителия.

Нарушение какого-либо из звеньев оптической или антиоксидантной защиты может привести к развитию патологических состояний. Для предотвращения этого необходимы оптические и фармакологические средства защиты и профилактики. К сожалению, достаточно эффективных фармакологических средств не найдено. Однако эффективные офтальмооптические средства в настоящее время разработаны, прошли экспериментальную и клиническую проверку, и нет препятствий для их внедрения.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФТАЛЬМООПТИКЕ

Основное спектральное требование к средствам офтальмооптики сводится к тому, чтобы по возможности исключить поглощение сетчаткой и пигментным эпителием коротковолнового излучения, способного инициировать в них фотоокислительную де-

струкцию. Речь идет о преимущественно желтой или желтоватой офтальмооптике.

Надо сказать, что широко используемые до недавнего времени интраокулярные (внутриглазные) линзы из полиметилметакрилата (ПММК) обладают существенным оптическим недостатком: они прекрасно пропускают ультрафиолет, начиная с 250—270 нм. Неудивительно поэтому, что в начале 80-х годов появились бесцветные ультрафиолет-поглощающие интраокулярные линзы.

Исходя из наших представлений о спектрах поглощения эндогенных фотосенсибилизаторов в сетчатке и пигментном эпителии и о компенсаторной светофильтрующей роли желтеющего с возрастом хрусталика человека, мы в Институте химической физики им. Н. Н. Семенова РАН совместно с химиками НИИ полимеров им. В. А. Каргина и офтальмологами МНТК «Микрохирургия глаза» создали новую интраокулярную линзу «Спектр». Она содержит две красящие добавки, и потому свет поглощает в ультрафиолетовой и фиолетово-синей областях спектра, подобно хрусталику человека 45—50-летнего возраста. Такая линза надежно защищает сетчатку от фотоповреждения, уменьшает светорассеяние и хроматическую абберацию, улучшает, по сравнению с бесцветным хрусталиком, зрительное восприятие и обеспечивает полноценное цветовосприятие¹⁷. Произведено около 150 тыс. успешных имплантаций наших интраокулярных линз «Спектр».

Следующим шагом наших практических разработок стала интраокулярная линза на основе ПММК с естественной желтоватой окраской, которая, уже будучи имплантированной в глаз пациента, способна продолжать желтеть, подобно естественному хрусталику. В зависимости от возраста пациента изначальная окраска линзы может соответствовать спектру поглощения хрусталика, характерному для его возраста.

Первые результаты имплантации 167 пациентам показывают, что интраокулярная линза «Спектр-Вариант», как модель более удачная и физиологически лучше воспроизводящая поведение естественного хрусталика, по всей видимости, заменит в ближайшем будущем наш первый окрашенный искусственный хрусталик «Спектр»¹⁸.

Мягкие окрашенные контактные лин-

¹⁷ Линник Л. Ф., Островский М. А., Зак П. П. // Офтальмохирургия. 1992. № 1. С. 40—44.

¹⁸ Федоров С. Н., Линник Л. Ф., Островский М. А. и др. // Офтальмохирургия. 1992. № 2. С. 3—11.

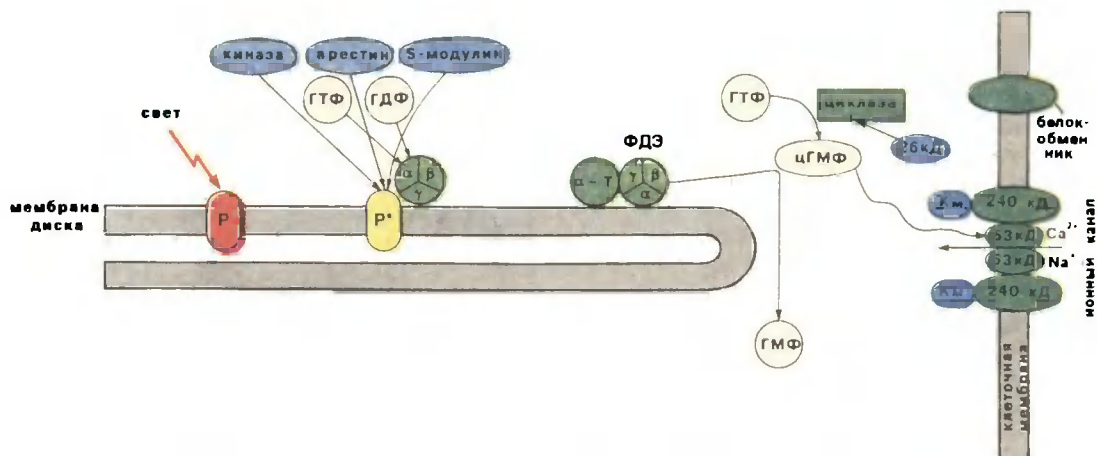


Схема молекулярных событий в наружном сегменте, ответственных за физиологическое возбуждение (трансдукцию) и адаптацию зрительной клетки.

Молекула родопсина (Р) поглощает квант видимого света и переходит в активированное состояние (Р*), а именно в промежуточный продукт фотолиза — метародопсин II, запуская тем самым в наружном сегменте ферментативный каскад усиления и передачи светового (фоторецепторного) сигнала. Активированный родопсин взаимодействует со следующим белком каскада — ГТФ-связывающим белком, или трансдуцином. Затем, после распада комплекса метародопсин II — трансдуцин, α -субъединица трансдуцина (α -Т) «сдвигается» на ней ГТФ взаимодействует с γ -субъединицей фосфодиэстеразы (ФДЭ), отрывая ее от α - β -субъединиц и открывая, таким образом, активный центр фермента. Активированная фосфодиэстераза с высокой скоростью гидролизует в цитоплазме наружного сегмента цГМФ.

Ферментативный каскад регулируют белки: родопсинная киназа, фосфорилирующая активированный родопсин; арестин, взаимодействующий с уже фосфорилированным родопсином и в результате полностью выключающий каскад; кальций-связывающий белок S-модулин, препятствующий при достаточно высоких концентрациях кальция полному выключению каскада и увеличивающий, таким образом, пул активированных молекул фосфодиэстеразы и время нахождения их в активированном состоянии.

Ресинтез цГМФ обеспечивается специальным цитоплазматическим ферментом гуанилатциклазой, активность которой также регулируется кальций-связывающим белком 26 кД (не исключено, что S-модулином). Состояние цГМФ-управляемого ионного канала плазматической мембраны — открытое или закрытое — определяется и регулируется, по крайней мере, двумя типами белков, образующих каналный комплекс: белком 63 кД, который способен связывать молекулу цГМФ, и белком 240 кД, который способен взаимодействовать с кальций-связывающим белком кальмодулином [Км].

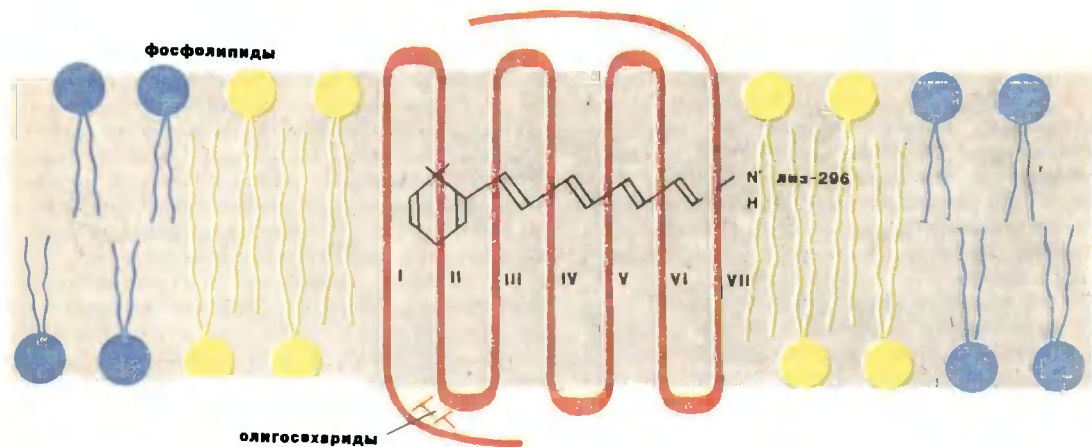
зы незаменимы для афакичного (без хрусталика) глаза, если имплантация окрашенного искусственного хрусталика по тем или иным причинам невозможна. В первую очередь речь идет о детях, оперированных по поводу врожденной катаракты.

Практически единственным способом коррекции афакии после такой «ранней» хирургии являются контактные линзы. К сожалению, как нами было проверено, используемые сейчас контактные линзы абсолютно прозрачны для ультрафиолетового и фиолетово-синего оптического излучения и потому никак не защищают сетчатку ребенка от фотоповреждения. Нами в самое последнее время разработан эффективный метод окрашивания уже готовых линз, что позволяет надежно задерживать коротковолновое оптическое излучение и защищать сетчатку от фотоповреждения. Естественно, такие линзы могут быть предназначены для афакичного глаза пациентов любого возраста.

В последнее время возрос интерес к использованию окрашенных очков для компенсации зрительной функции и возможной профилактики глазных заболеваний, связанных с повреждающим действием света. Желтые светофильтры очков не только поглощают ближний ультрафиолет и дозируют поглощение фиолетово-синего света (400—450 нм), но и снижают мешающие эффекты хроматической аберрации и светорассеяния.

Мы исследовали влияние таких очков на остроту зрения и контрастную чувствительность пациентов, страдающих заболеванием сетчатки¹⁹. Оказалось, что желтые очки у больных пигментной дегенерацией сетчатки, как и у здоровых людей, повышают контрастную чувствительность и остроту зрения, а длительное их ношение

¹⁹ Иванова З. Г., Шилкин Г. А., Зак П. П. и др. // Офтальмол. журн. 1992. № 2. С. 101—104.



Фрагмент фоторецепторной мембраны.

Полипептидная цепь молекулы родопсина (красный цвет), состоящая из 348 аминокислотных остатков, образует семь α -спиральных тяжей, которые пересекают фоторецепторную мембрану. Изгибаясь, эти спирали образуют гидрофильные петли по обе стороны мембраны.

В молекуле родопсина можно выделить, по меньшей мере, три функциональных домена: хромофорный, находящийся в гидрофобном «ядре» молекулы; олигосахаридный, «смотрящий» во внутридисковое пространство (содержащий N-конец полипептидной цепи); цитоплазматический, выходящий на поверхность дисковой мембраны (содержащий C-конец полипептидной цепи). Следует обратить внимание на два функционально важных участка в молекуле родопсина: на лизин-296, расположенный в хромофорном домене на седьмой спирали, с которым ковалентно связана хромофорная группа — 11-цис-ретиналь, на гидрофильные петли и N-концевой участок полипептидной цепи на поверхности мембраны, с которыми взаимодействуют трансдуции, родопсинкиназа, вретсин и, вероятно, S-модулин.

Молекула родопсина окружена в мембране небольшим количеством тесно связанных с ней фосфолипидов, содержащих уникально длинные полиненасыщенные жирнокислотные «хвосты»; в основной состав фосфолипидов фоторецепторной мембраны входят полиненасыщенные жирные кислоты, обеспечивающие исключительно низкую вязкость ее липидного матрикса (смине).

даже несколько замедляет скорость падения зрительных функций.

Исследовав влияние желтоватых очков на контрастную чувствительность при трех видах помутнения сред глаза (при начальной катаракте, легком помутнении роговицы и стекловидного тела, а также при искусственном помутнении), можно заключить, что во всех случаях желтые светофильтры благоприятно действуют на разрешающую способность глаза²⁰. Эффекты эти основаны на уменьшении пропускания фиолетово-синего света желтыми светофильтрами, спектры пропускания которых близки к спектрам пропускания хрусталиков пожилых людей.

Итак, свет в зрении выступает и как носитель сенсорной информации, и как потенциально опасный повреждающий фактор. Совершенство молекулярной машинерии зрительной рецепции основано на исполь-

зовании «деталей», которые по самой своей природе легко подвержены свободнорадикальной фотоокислительной деструкции.

Ярким примером удачной и одновременно опасной «детали» в механизме зрения может служить 11-цис-ретиналь — хромофорная группа всех зрительных пигментов. В качестве хромофора светочувствительных пигментов зрения ретиналь был «отобран» на самых ранних этапах эволюции. Он обеспечивает фоторецепцию уже у эволюционно древних галобактерий и у одноклеточных организмов, например, у одноклеточной фотосинтетической водоросли *Chlamidomonas*. Однако ретиналь представляет собой один из наиболее эффективных природных фотосенсибилизаторов, способных инициировать фотоокислительную деструкцию молекулярных компонентов фоторецепторной мембраны. Другим примером удачной и опасной «детали» может служить длинноцепочечная полиненасыщенная жирная кислота в составе фосфолипидов фоторецепторной мембраны.

Платой за использование таких «деталей», обеспечивающих совершенство фоторецепторного механизма, становится его

²⁰ Алиев Г. Д., Зак П. П., Островский М. А., Розенблюм Ю. З. // Сенсорные системы. 1992. Т. 6. № 4. С. 25—29; Zigman S. // Optometry and Vis. Sci. 1990. V. 67. N 2. P. 100—104.

уязвимость в отношении светового повреждения. Вероятно, именно поэтому в ходе эволюции органов зрения беспозвоночных и позвоночных животных сформировались надежные системы защиты их светочувствительных структур от опасности такого повреждения. Можно выделить, по крайней мере, три системы такой защиты: обновление фоторецепторных мембран, системы оптической и биохимической (антиоксидантной) защиты.

Замечательно, что эволюция шла часто по пути полифункционального использования некоторых структур глаза: и в механизмах зрения и в механизмах защиты от опасности фотоокислительной деструкции. Например, оптическая система глаза, в первую очередь хрусталик, выполняет и функцию фокусирующей линзы, и вполне надежного светофильтра коротковолнового излучения. Некоторые внутриклеточные органеллы, например экранирующие пигменты позвоночных (меланосомы) и беспозвоночных (оммохромы), не только оптически экранируют светочувствительные элементы

глаза, но и, обладая антиоксидантными свойствами, эффективно ингибируют процессы свободнорадикального фотоокисления.

В совокупности системы защиты сетчатки и пигментного эпителия от фотоокислительной деструкции обеспечивают вполне надежную работу глаза в огромном диапазоне освещенностей, подчас даже в условиях избыточного ультрафиолетового и фиолетово-синего излучения.

Однако нарушения в этих системах или экстремальные световые воздействия на глаз способны привести к фотоповреждению его структур, в первую очередь сетчатки и пигментного эпителия. Поэтому исследования в этой области важны как для понимания физиологических механизмов безопасной работы глаза в нормальной световой среде, так и для понимания патогенеза и разработки эффективных средств профилактики ряда глазных заболеваний²¹.

²¹ Young R. W. // *Surv. Ophthalmol.* 1988. V. 32. P. 252—265; Zrenner E. // *Fortschr. Ophthalmol.* 1990. V. 87. S. 41—51.

НОВОСТИ НАУКИ

Медицина

Предотвращение диабета

Лечение сахарного диабета — дело весьма непростое. Известно, что существуют две формы этого заболевания: инсулинзависимый (диабет I типа), который начинается обычно в детстве, и II тип — инсулиннезависимый, который начинается обычно у взрослых. Первый тип диабета — аутоиммунное заболевание, возникающее вследствие того, что Т-клетки иммунной системы организма атакуют и стремятся уничтожить β-клетки островков Лангерганса поджелудочной железы, синтезирующие инсулин. В норме Т-клетки могут распознавать различные белки или антигены, которые подразделяются на «свои» и «чужеродные». Первые — это белки собственного

организма, а вторые — это те, что обычно попадают в организм извне (микроорганизмы, токсины и др.). Обычно Т-клетки стремятся уничтожить только чужеродные антигены. Но при диабете I типа они начинают считать чужеродными β-клетки поджелудочной железы.

Считается, что незрелые Т-клетки обучаются «узнавать» и не трогать свои антигены в тот период, когда они развиваются в тимусе (вилочковой железе). Группа ученых во главе с А. Поссельтом (А. Posselt; Госпиталь Пенсильванского университета, Филадельфия, США) предположили, что диабет I типа можно предотвратить, если «воспитать» незрелые Т-клетки и заставить их «переносить» антигены островковых клеток.

Для проверки этой гипотезы были проведены эксперименты на крысах, склонных к спонтанному развитию у них

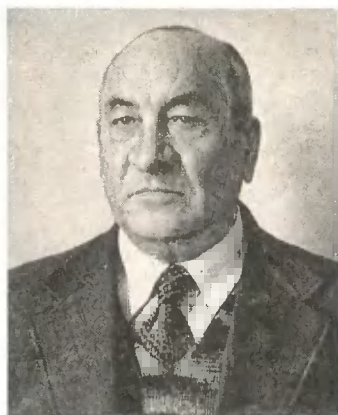
аутоиммунного диабета. Новорожденных крысят от крыс этой линии разделили на подопытную и контрольную группы. Первой группе животных вводили в тимус препарат из β-клеток поджелудочной железы взрослых здоровых крыс, подобранных по гистосовместимости с новорожденными крысятами. Контрольным животным вводили в тимус физиологический раствор. В результате из 18 крысят первой группы ни у одного не развился диабет, а в контрольной группе заболела половина животных.

Авторы считают, что результаты их исследований позволяют предотвращать возникновение и других иммунных заболеваний, таких, например, как тиреоидит, ревматический артрит и др.

Science. 1992. V. 25. N 5061. P. 132—134 (США).

Древние славяне и античный мир

Б. А. Рыбаков



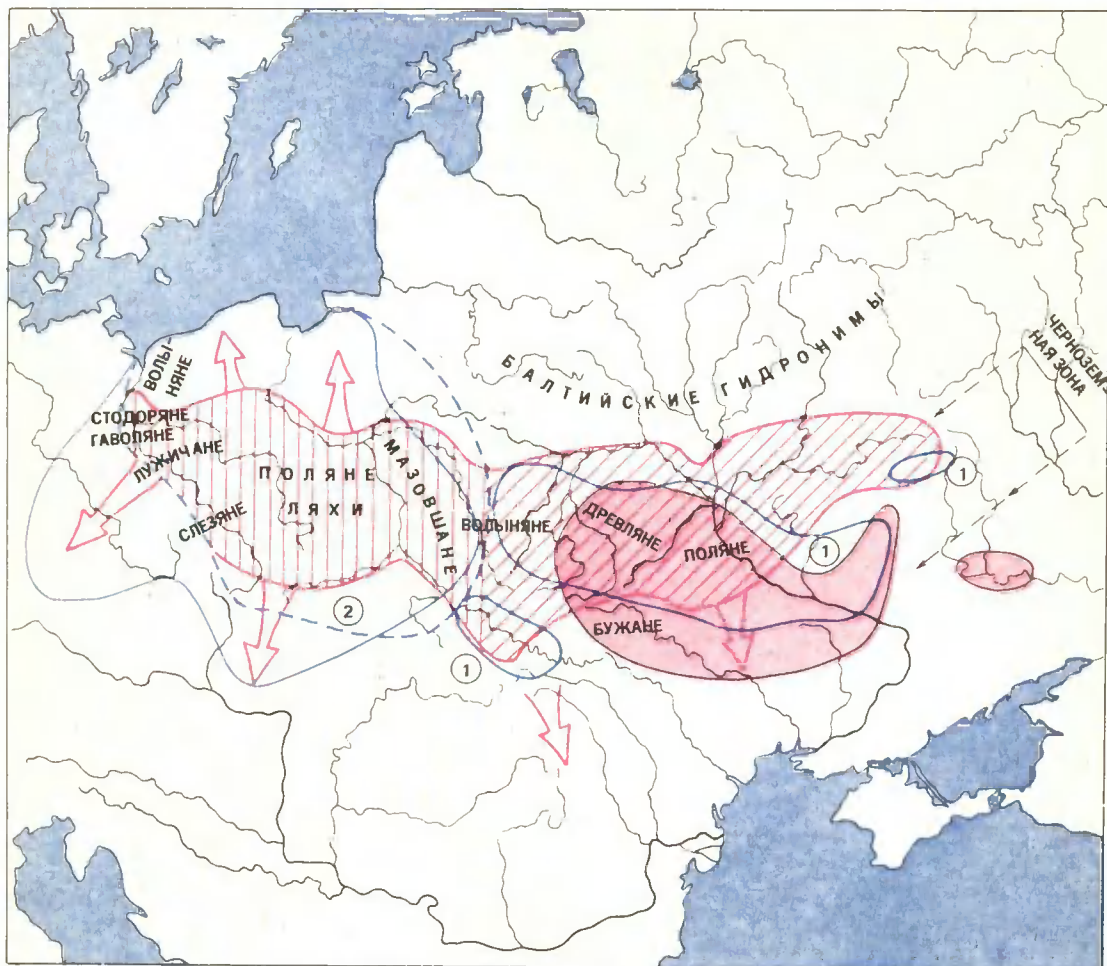
Борис Александрович Рыбаков, академик РАН, доктор исторических наук, профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, почетный директор Института археологии РАН. Член академий наук Болгарии, Польши, Словакии; почетный доктор Ягеллонского университета в Кракове; член Международного комитета славистов. Лауреат Ленинской и Государственных премий СССР. Основные труды посвящены социально-экономической и политической истории восточных славян и Древней Руси, истории древнерусских ремесел и культуры, язычеству, эпиграфике, хронологии, народному эпосу и др. В этом году Борису Александровичу исполнилось 85 лет. Редакция журнала «Природа» сердечно поздравляет Бориса Александровича со славным юбилеем и желает еще многих лет плодотворной научной деятельности.

ИСТОРИЧЕСКАЯ наука за последнее столетие накопила огромное количество новых источников, предоставленных ей самыми различными дисциплинами. Новая ситуация требует взаимной проверки новых данных и, самое главное, широкого синтеза, ведущегося в широком хронологическом диапазоне. Уже русские средневековые историки XII в. заглядывали в далекое прошлое, отстоявшее от их эпохи на 1500 лет. К сожалению, историки XX в. нередко ограничиваются теми искусственно суженными рамками IX в., которые поставил перед ними появившийся в русской науке XVIII столетия норманизм — направление в историографии, основанное на искаженном тексте летописи Нестора и утверждающее, что основателями государства в Древней Руси были норманны (варяги).

«Варяжская теория» возникновения русской государственности сыграла отрицательную роль в научном осмыслении исторических истоков Киевской Руси. Норманизм ограничивал как хронологию этого явления, начиная лишь с призвания скандинавских князей в 862 г., так и его географию, считая исходной областью не плодородный киевский юг, а крайний север славянских земель — Приильменье (Новгород), где начиналась зона суровых таежных лесов, и Пошехонье (Белоозеро), остававшееся отсталым краем вплоть до XIX в.

Родоначальниками, или, точнее, возродителями, этой искусственной концепции были немецкие ученые в Петербурге (З. Т. Байер, А. Шлецер), писавшие с 1720-х годов до конца XVIII в. Основной тезис норманистов, как известно, очень прост: славяне были дикарями, жившими «в лесе, якоже всякий зверь» (извлечено из русской летописи); культуру, государственность и воинскую славу им якобы принесли норманны. Круг источников был тогда, в XVIII в., очень ограничен, рассматривался же он весьма тенденциозно, а иной раз даже без знания русского языка (китаист Байер).

Исторический кругозор норманистов



Территории, которые, согласно данным лингвистики и археологии, могли занимать древние славянские племена в XV—IX вв. до н. э. Их условная прародина — это область консолидации праславянских племен после завершения пастушеского разброда XX—XVI вв. до н. э. На карте приведены названия славянских племенных союзов, упоминаемые Нестором.

-  Условная прародина древних славян (дана по типичной земледельческой археологической культуре XV—XII вв. до н.э.)
-  Предскифские земледельческие археологические культуры (белгородовская XII—IX вв. до н.э. и чернолесская IX—VIII вв. до н.э.)
-  1 Архаичные восточнославянские гидронимы (по О.Н.Трубачеву)
-  2 Праславянские гидронимы западных славян (по Т.Лер-Сплавинскому)
-  Лужичская археологическая культура XIII—VIII вв. до н.э. (западные славяне)

XVIII в. и их последователей (вплоть до наших дней) значительно уже, чем кругозор русских книжников средневековья, которые не только вели хронику современных им событий, но нередко переходили и к историческим разысканиям, широко раздвигая хронологические рамки и особенно интересуясь древними скифами, проживавшими на той самой территории, где впоследствии образовался яркий и устойчивый центр Руси — Среднее Поднепровье с Киевом во главе.

Интерес к скифам усилился в XVI—XVII вв., когда русские историки называли Черное море Скифенопонтом и писали о продвижении скифов и славян на новгородский север. В XVIII в. полемику с норманистами начал В. Н. Татищев, считавший скифов предками славян. Убедительной аргументации у Татищева, естественно, быть не могло.



Области, занятые скифами и славянами в VIII—IV вв. до н. э., согласно Геродоту и археологическим данным [А. И. Тереножкин]. «Великая Скифия» вмещала в разные времена и скифов-кочевников, и скифов-пахарей, называвших себя сколотами. Сколоты-земледельцы [славяне] поддерживали тесные связи с Грецией, занимаясь импортом и торговлей зерном. В земли западных славян [лужичская культура] вторгались в VII—III вв. до н. э. кельты [или волохи, как называет их Нестор].

..... «Великая Скифия» (условный квадрат 700 x 700 км, введенный Геродотом)



Районы наибольшего распространения античного импорта в VI—IV вв. до н. э. (по Н.А.Онайко)



«Священный путь» скифам к Ольвии



Предполагаемый путь греческих купцов к Гелону на р. Боржис (Пантикапей)

Исключительный интерес представляет широко задуманная конструкция исторического труда летописца Нестора (1113 г.). Хронике событий 858—1110 гг. (т. е. буквально «лето-писи») Нестор предпослал обширное введение — «Повесть временных лет», которое открывается описанием всего Старого Света античного времени, от Британии на западе до Индонезии и Китая «на краю земли» — на востоке. Среди народов I—II вв. н. э. найдено здесь место и славянам.

Один из редакторов, в чьи руки попала рукопись Нестора (Сильвестр, 1116 г.), пополнил сведения о той отдаленной эпохе, внося в «Повесть» легенду о путешествии апостола Андрея (I в. н. э.) в славянские земли на Днепре и Ильмене. Легенда приурочена ошибочно: апостол Андрей проповедовал скифам, но не днепровским, а азиатским.

Нестор ввел в заголовок своего введения три вопроса:

А. «Откуда есть пошла Русская земля?»

Б. «Къто въ Киевѣ нача първѣ княжити?»

В. «Откуда [с какого времени] Русская земля стала есть?»

К сожалению, историк эпохи Мономаха, занявшийся важными историческими проблемами, не дал хронологических уточнений; объясняется это тем, что он, очевидно, многое черпал из эпоса («яко же сказаютъ»), а эпос — жанр, не применяющий точных дат.

Отвечая на первый вопрос, Нестор упоминает заселенную славянами «Великую Скифию» Геродота (не называя его имени) и сообщает о вторжениях кельтов (О. Н. Трубачев правильно расшифровывает так наименование «волохи») в земли западных славян в VII—IV вв. до н. э.

Отвечая на второй вопрос, Нестор обстоятельно разъясняет (имея в виду новгородских оппонентов), что первым князем в земле «мудрых и смысленных» Полян¹ был Кий, союзник императора Византии. Кий защищал со своими соплеменниками дунайский рубеж империи, построил город на Дунае (Дунайская крепость Кия во времена Нестора называлась уже «городище Киевец»), но затем вернулся в Киев и установил здесь, в Русской земле, свою княжескую династию, правившую Русью до конца IX в.

Последним представителем династии Киевичей был князь Осколд (Аскольд), убитый варягом Олегом, захватившим Киев в 882 г.

Вопрос о времени княжения Кия, вынесенный Нестором даже в заголовок всего своего труда, исключительно важен для исторического осмысления ряда общеевропейских событий VI—IX вв. н. э.

Княжение Кия Нестор относит ко времени **до перехода** разными славянскими племенами Дуная как северной границы Византийской империи, т. е. до середины VI в. н. э.

Отвечив на вопрос о князе Кие, Нестор в порядке хронологической последовательности перечисляет события VI—IX вв., сопутствовавшие становлению Руси как государства: появление тюрко-болгар на Дунае; войны императора Ираклия в 620-е годы;

нашествие авар, хазар, печенегов в VI—IX вв.

Превращение Полянского племенного союза в «Русскую землю» со столицей в Киеве **предшествует** в тексте Нестора всем этим событиям VI—IX вв. К середине VI в. н. э. относится первое упоминание в сирийском источнике народа богатырей — «рос», обитавших где-то в Среднем Поднепровье (Псевдо-Захарий Ритор).

Датировку Нестора частично подкрепляют сведения греческого историка Прокпия Кесарийского, писавшего о времени императора Юстиниана (527—565 гг.). Он упоминает славянского полководца Хилбудия, служившего Юстиниану в качестве магистра войск Фракии и оборонявшего, как и Кий, низовья Дуная. Дата — около 530 г.

Нестор был прав, когда ссылался на эпические сказания: одно из них (очевидно, через плененных в 737 г. славян) оказалось в поле зрения армянского историка Зеноба Глака и попало в его полуэпическую «Историю Тарона» (VIII в.). Это вставное сказание повествует о стране «Палуни», где действуют три брата — Куар, Мелтей и Хореван, в которых нельзя не опознать искаженные имена героев русского сказания — Кия, Щека и Хорива. Братья, как и в несторовом тексте, строят город на горе (Керкей), где был «простор для охоты и обилие трав и деревьев» (в летописи: «и бяше около града лес и бор велик и бяху ловяще зверь»).

Все три свидетельства — сирийское, греческое и армянское — хорошо согласуются с несторовым перечнем событий в тот период, когда Русская земля уже «стала есть», т. е. **после середины VI в. н. э.** Новорожденную государственность Руси формировали не конфликты новгородских поселенцев далекого севера в IX в., а могучее переселение многих племен Восточной Европы на Балканы, щедро освещенное различными источниками задолго, за три столетия, до появления варягов. Новорожденный Киев, который служил воротами в южный мир для всего Верхнеднепровского бассейна (Днепр, Ирпень, Припять, Березина, Сож, Десна, Сейм), был своего рода штабом этих многочисленных походов славянских и части балтийских племен.

¹ Здесь и далее названия славянских племен даются нами с заглавной буквы, поскольку выражают сочетание этнического понятия с географическим.

К величайшему сожалению, первоначальный текст Нестора дошел до нас в сильно нарушенном виде. Киевское восстание 1113 г., переход великого княжения (в об-

ход прежнего «лествичного восхождения по старшинству») к выборному принципу в пользу потомства младшего сына Ярослава Мудрого, к Владимиру Мономаху, и теснейшие родственные связи этой династии с англоскандинавскими королевскими домами — все это привело к перетасовке текста Нестора, изъятию каких-то отрывков и к резким противоречиям в уцелевшем тексте. Тщательные и вдумчивые исследования А. А. Шахматова выявили, что все проваряжские — заново включенные в «Повесть временных лет» — тексты **вставлены рукой человека, исполнившего волю старшего сына Мономаха — Мстислава-Гаральда**, внука английского короля и зятя норвежского короля.

Шахматов установил наличие трех редакций труда Нестора:

1. Нестор, 1112—1113 гг., Печерский монастырь.
2. Игумен Сильвестр Выдубицкий, 1116 г.
3. Духовник (?) князя Мстислава, 1118 г.; именно с этим текстом Шахматов в своей итоговой работе 1916 г. связал редакторские вставки в пользу варягов, противоречащие духу и уцелевшим строкам самого Нестора.

Как историк и лингвист Шахматов успел завершить только текстологический анализ письменных источников. Мы теперь располагаем огромным дополнительным материалом, накопленным археологией, лингвистикой (и топонимикой), антропологией, палеогеографией, фольклористикой, византиноведением, востоковедением... Новые данные, расширяющие хронологический и географический диапазон исследования, позволяют ныне поставить многие проблемы на более надежную основу. Очень важна проверка прежних и современных положений, догадок, гипотез и домыслов. Многообразный и обильный новый материал позволяет перейти к серьезному перекрестному «допросу» и проверке выводов, полученных ранее только на основе неизбежно субъективных письменных источников.

Важнейшей проблемой этногенеза славян и предыстории Руси является выяснение этнических и исторических взаимоотношений скифов и славян. Уже Нестор поставил эту проблему и в чисто географическом плане дал правильный ответ: **«Великая Скифия» Геродота** (от Черного моря до Чернигова, от р. Прута до Северского Донца) в разные времена **вмещала в себя и скифов и славян**.

Трудность сопоставительного рассмот-

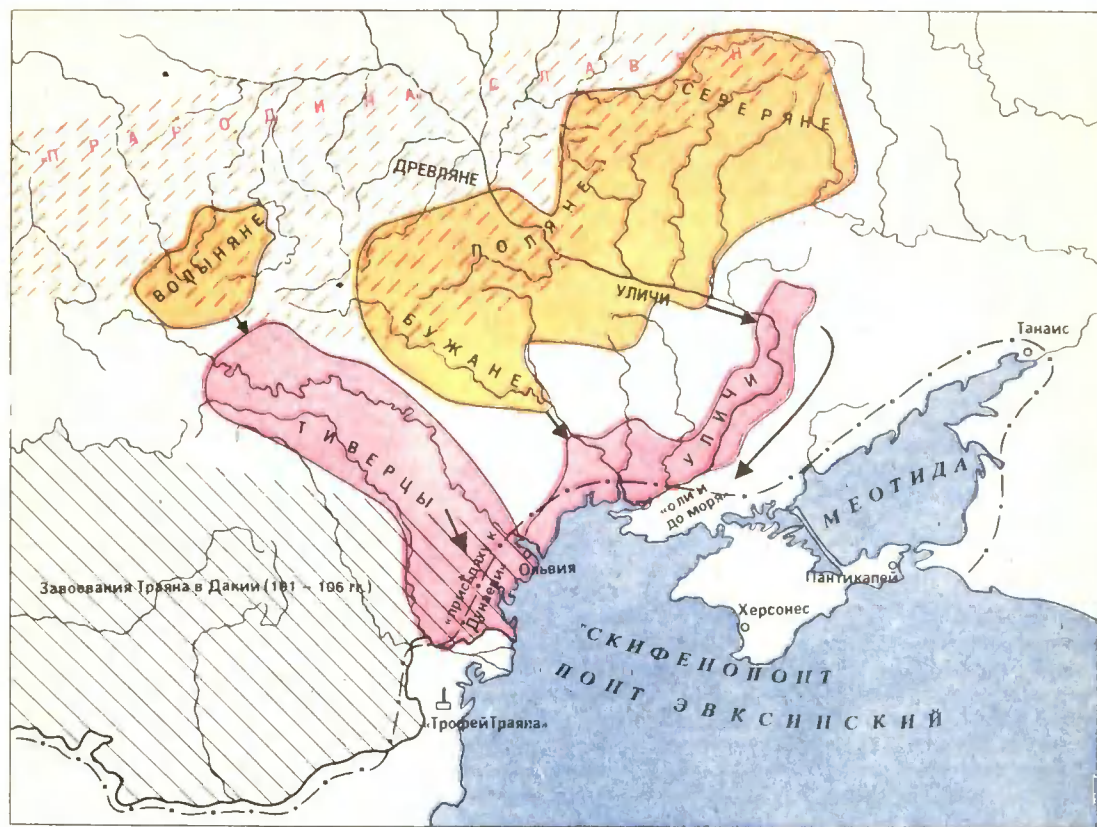
рения скифов и славян заключается в том, что имя скифов появляется еще на рубеже бронзового века и железного (IX—VII вв. до н. э.), а собирательное имя славян («сѣло-въне» — «выселенцы из земель вено-тов-венедов») возникает лишь через 1000 лет на заключительном этапе великого переселения народов и падения Римской империи.

Кроме того, следует учитывать, что этноним «скифы» на протяжении веков изменялся древними авторами к разным народам Азии и Европы, вплоть до татар. Нас должны интересовать скифы Восточной Европы, делившиеся, по Геродоту, на две соседствующие группы — **степную** (настоящие **скифы-кочевники** южнорусских степей) и **лесостепную** (земледельцы черноземной зоны, условно причисленные эллинами к соседним скифам). **«Скифы-пахари»** Среднего Поднепровья сами себя называли «сколотами», что означало, как записал Геродот, «потомки Царя-Солнца» (от «коло» — круг, солнце). И скифы, и сколоты входили географически в «Великую Скифию», обладали очень сходной культурой всаднической племенной знати (оружие, доспехи, конское снаряжение, золотые изделия) и в случае опасности действовали сообща (например, в 512 г. до н. э., о чем будет упомянуто дальше). Но хозяйственная система была резко различной, отсюда — контрастность быта: скифы вели в степях кочевое скотоводство, не строили поселков, а жили в больших повозках; сколоты были земледельцами, строили крепости и активно торговали зерном с греческим портом Ольвией, путь в которую сами сколоты на своем языке называли «Священным путем».

Скифы-кочевники по языку принадлежали к северным иранским племенам; их язык был близок языку персов, сарматов и алан (позднейших осетин).

Язык сколотов долгое время оставался неизвестен ученым, что рождало представление о **кажущейся однородности** населения обеих половин «Великой Скифии» — южной, скифской, и северной, сколотской.

Только в 1968 г. О. Н. Трубачев, исследуя гидронимику Украины, выявил «славянские архаичные гидронимы». По одним лингвистическим признакам исследователь не мог уточнить хронологию, но сопоставление гидронимики с археологическими данными показывает, что карта славянских архаичных названий рек совпадает с картой сколотских древностей VI—IV вв. до н. э. и, что не менее интересно, с кар-



Колонизация славянами Причерноморья во II—IV вв. н. э. («Траяновы века»).

-  «Прародина» славян во II тысячелетии до н.э. (см. первую карту)
-  Черняховская археологическая культура II—IV вв. н.э. (основные районы)
-  Расселение славян в направлении к Черному морю во II—IV вв. н.э.
-  Монумент в честь побед императора Траяна («Трофей Траяна» или «Тропа Тролени»)
-  Северная граница Римской империи к началу II в. н.э.

той археологических памятников чернолесской культуры предскифского времени — IX—VII вв. до н.э. «Архаичность» получила важную уточненную дату.

Итак, скифы-пахари — сколоты времен греческих аргонавтов и классической Эллады VI—III вв. до н.э. — говорили на архаичном славянском языке!

Тесные связи праславян-сколотов Среднего Поднепровья с Грецией в VII—IV вв.

до н.э. достаточно убедительно доказаны свидетельством Геродота о регулярной торговле хлебом, значительным импортом греческих предметов роскоши, найденных в курганах скифов-пахарей (исследование Н. А. Онайко), и интереснейшими совпадениями фольклорных записей Геродота с записями русских, украинских и польских фольклористов XIX в. волшебных (т. е. священных, хранимых волхвами) сказок, уводящих нас в большую хронологическую глубину.

Исключительную ценность представляет один из античных мифов, почему-то не использованный никем из скифологов. Это миф о Деметре и Триптоleme, отраженный в гомеровских гимнах и в произведении Аполлодора, Павсания, Гигия, Платона. Миф переносит нас в очень архаичную историческую обстановку первичного освоения пашенного земледелия: богиня Деметра посылает Триптолема, сына элевсинского царя, обучать народы возделыванию земли и сеянию пшеницы. Триптолему даны колосья, рало и колесница, запряженная двумя крылатыми драконами. Обучение вспашке и сеянию везде шло

успешно, кроме двух пунктов: царь племени гетов (не готов!) у Нижнего Дуная убил одного из драконов, а его сосед скифский царь Линкей, уже обучивший земледелию свой народ (несомненно, скифов-пахарей), покушался на жизнь самого Триптолема; спасла его богиня Деметра. Мифология не дает обычно точной хронологии, но миф о начале земледелия надежно удревняет «архаичность» до глубин бронзового века.

Дунайско-днестровские земли гетов и днепровские поля сколотов-борисфенитов (напомним, что Борисфеном греки называли Днепр), восхищавшие Геродота, были со времен энеолита (культуры Кукутени и Триполья) древними очагами земледелия. Пашенное земледелие знали и праславяне чернолесской культуры IX—VII вв. до н. э. Очевидно, первая встреча праславян-пахарей Приднепровья с пытливыми открывателями новых морей произошла лет за 400—500 до Геродота, в пору первичного создания самого античного мира. Ощутимые торговые связи установились несколько позже, к VII в. до н. э., когда эллины уже упоминали в своих поэмах скифского царя Колоксия, а близ Ольвии на острове Березань появились импортные изделия милетской работы VII в. до н. э. Полугреческий город Гелон (близ современной Полтавы) возник на правом берегу Ворсклы после какого-то бегства эллинских купцов (очевидно, от войск персидского царя Дария в 512 г. до н. э.) внутрь континента к сколотам, занявшим к этому времени лесистый участок этой пограничной со степью реки.

Импорт из Эллады и с островов Эгейского моря знакомил праславян-борисфенитов (сколотов, живших по Днепру-Борисфену) с культурой и искусством античного мира. Колчаны, щиты, оружие воинов украшались греческими чеканщиками сценами из эпоса и мифологии; на пиршественных столах праславянской знати стояли керамические сосуды, великолепно расписанные эллинскими художниками и тоже раскрывавшие перед вождями пахарей черноземья многообразие греческого творчества. Греческие мастера продавали не только изделия, изготовленные для греков, но выполняли заказы и на местную скифо-сколотскую тематику (бой скифских всадников, фигуры лосей, изображения бога реки Борисфена). Торговля неизбежно вела к какому-то первичному освоению языка, и можно думать, что приднепровские всадники в VII в. до н. э. были увлечены в 28-летний рейд по Ближнему Востоку рассказами греков о далеких сказочных стра-



Памятник [109 г.], воздвигнутый императором Траяном в низовьях Дуная, на полпути между землями славян и Римской империей («Трофей Траяна» или «Тропа Траяна»).



Греческая медная посуда эпохи Геродота (V в. до н. э.). Найдена в затонавшем в древности челье у с. Песчаного Черкасской обл.

нах. Плавание аргонавтов мимо скифских берегов, подвиги Геракла, побывавшего близ устья Борисфена и оставившего здесь потомство (скифов-номадов), Одиссея, миф о Триптоleme и царе скифов-пахарей — все

это нашло отражение в эллинском искусстве, часть которого сохранилась до нас в инвентаре скифских курганов.

Участие земледельческих племен в восточном малоазийском походе VII в. до н.э. можно предполагать, исходя из имени одного из полководцев, упоминаемого восточными источниками, — Партауа. В глубине земли скифов-пахарей, на Перепетовом Поле (известном по русской летописи XII в.), был огромный царский курган VII в. до н.э. с интригующим современным нам названием — Перепахтиях. Скифские обозначения сильно искажались восточными авторами: само имя скифов звучало иногда как «ашкенази»; гипотеза подлежит проверке.

Судя по тому, что царь скифов-пахарей (сколотов) Линкей, научивший свой народ земледелию еще до Триптолема, упомянут в том разделе греческой мифологии, который отражает очень архаичную ситуацию начала пашенного земледелия (т. е. рубежа бронзового века и железного), встреча юго-восточной половины славянского мира с эллинами произошла в тот период, когда античный мир еще только рождался. Встреча была, безусловно, продуктивной для обеих сторон: греки расширили кругозор континентальных лесостепных племен, вовлекли их в новую, общую средиземно-пантийскую жизнь; праславяне же, совершенствуя свою аграрную технику, кормили мореплавателей-эллинов своим богатым черноземным урожаем и постепенно продвигались на юг. Для правобережных сколотов был и выход к морю — Олевия в днепровско-бугском лимане.

Сами же эллины продвигались по левому берегу Днепра на север, к пограничью кочевников и земледельцев, отмечая места переправ славянским термином «пантикапа», что означает «путевая таможня»: путь+капа («капница» — таможня). Огромный город Гелон на Ворскле (позднее русский Глинск) был построен на северном берегу р. Пантикапы; здесь были склады товаров и деревянные храмы, сооруженные по эллинскому образцу (Геродот). Слова Геродота во многом подтверждены археологическими раскопками (Б. А. Шрамко).

На карте античного импорта выделяются обилием находок те самые регионы в лесостепной полосе, которые впоследствии стали жизненно важными центрами как «Русской земли» времен Кия, так и Киевской Руси XI—XII вв.

Интереснейшие фольклорные записи Геродота, сделанные, по-видимому, где-то на правобережье Днепра, в «трех днях пути» (около 100 км) от реки, дают, во-первых, сведения о том, как сколоты V в. до н.э. представляли себе свое прошлое, а во-вторых, позволяют сопоставить эти записи «отца истории» с обильным материалом волшебных сказок восточного славянства, записанных в XIX—XX вв. н.э.

По записям Геродота получается следующая картина:

1. Родоначальником сколотов был Таргитай, внук Борисфена и сын Зевса. За 1000 лет до похода Дария, т. е. в XVI в. до н.э., люди Таргитая освоили пустынные земли Поднепровья.

2. Трое сыновей Таргитая соперничали между собой из-за священных даров неба (в числе которых были **плуг и ярмо для волов**), доставшихся младшему сыну Колаксаю («Царю-Солнцу»). Ему же досталось и самое обширное царство из наследия Таргитая, где в честь священного плуга проводились регулярные празднества.

3. Три «царства» сыновей Таргитая объединили четыре племенных группировки сколотов (что подтверждено локальными археологическими группами земледельческих племен лесостепи Среднего Поднепровья).

Исследования А. И. Тереножкина выявили четыре локальных группы, которые мы можем сопоставить с геродотовыми «царствами»: днепровская группа — Парадаты («главенствующие»); водораздел в верховьях Выси — Авхаты; на Южном Буге и на Днестре — Катиары и Траспии.

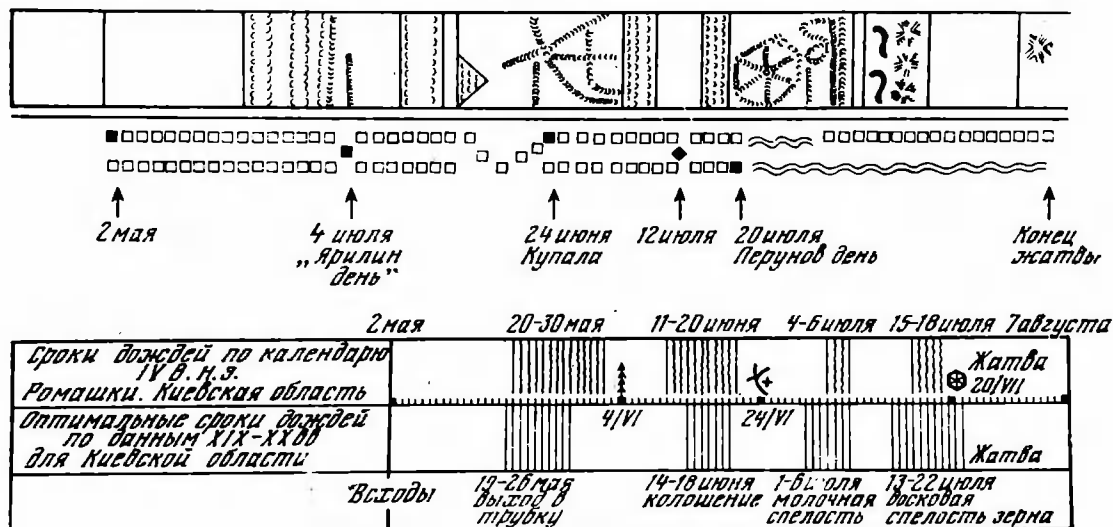
В русских волшебных сказках упоминается Таргитай (Тарх Тархович), а самым распространенным сюжетом является сказка «О трех царствах» (Ю. М. Соколов), где соперничество выигрывает младший брат — Светозар, Зоревик. «Солнечный» эпитет в русских былинах применялся к последнему языческому киевскому князю Владимиру-Солнцу.

Земледельческий праздник в Скифии в честь нововыкованного раскаленного плуга, с обладанием которым связано право на главное («золотое») царство, нашел отражение в украинских легендах о божественном кузнеце, который выковывает гигантский плуг, побеждает злого Змия и пропахивает на этом Змие оборонительные земляные валы в Среднем Поднепровье (В. Гиппиус. Записи 1920-х годов). Геогра-



Ритуальный сосуд-календарь IV в. н. э. для летних молений о дожде из селения Ромашки на Киевщине (черняховская культура).

Общая развертка календарных знаков на кувшине из Ромашек (вверху) и сопоставление сроков молений о дожде с оптимальными сроками по агротехническим руководствам XIX в. для Киевщины.



фия распространения этих легенд совпадает со среднеднепровскими землями сколотов VI—IV вв. до н. э., а время их возникновения относится примерно к рубежу бронзового и железного веков, эпохе киммерийских набегов — IX—VII вв. до н. э.

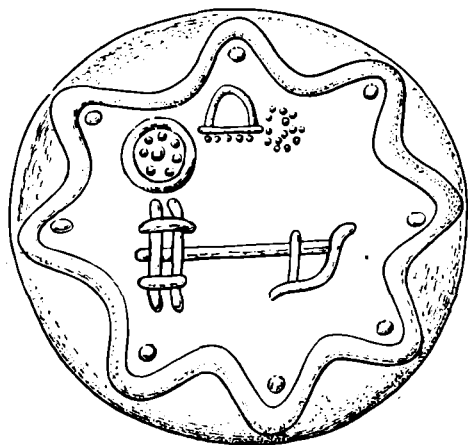
Совпадение фольклорных данных Геродота, археологии и фольклора XIX—XX вв. представляет большой научный интерес, но требует проверки, так как эпические и мифологические сюжеты по природе самого жанра редко содержат точные хронологические приметы. Информаторы Геродота определили исходную точку отсчета истории сколотских племен серединой II тысячелетия до н. э. Лингвисты к этому времени — XX—XV вв. до н. э. — приурочивают обособление праславян от общего индоевропейского массива; археологи к этому времени относят тшинецкую археологическую культуру XV—XII вв. до н. э., которую рассматривают как «прародину славян», с чем вполне можно согласиться. Тшинецкая культура действительно сформировалась за 1000 лет до похода Дария 512 г. до н. э. и охватила пространство от Одера на западе до левобережья Днепра на востоке. На этой территории Нестор разместил следующие племенные союзы славян: Поляне-Ляхи, Мазовшане, Волыняне, Древляне, Бужане, Поляне («яже ныне зовомые Русь») и Северяне. Более позднее расселение племен в разные стороны от этой «прародины» отмечено названиями патронимического характера — по вождям, возглавлявшим расселение из пре-

делов первичной интеграции племен: Радимичи, Вятичи и др. Вот эта вторая волна колонистов (Уличи, Тиверцы) и достигала тех южных плодородных земель, где произошла встреча с античным миром в IX—VII вв. до н. э.

Почти полный перерыв связей славян с античными городами Причерноморья произошел в результате сарматского нашествия (III в. до н. э.—I в. н. э.). Греческие города, в том числе и хорошо знакомая славянам Ольвия, «Торжище Борисфенитов», были разорены, степи заняты более напористыми кочевыми племенами, и благоденствие земледельцев, три века сидевших на черноземе, сменилось снижением жизненного уровня, прекращением выгодного экспорта и уходом части населения в лесную зону, где приходилось жить «звериньским образом» (зарубинецкая археологическая культура). Резкое изменение к лучшему произошло только лишь при римском императоре Марке Ульпии Траяне (98—117 гг.), проводившем успешную войну с Дакией, в результате чего Римская империя покорила северо-западное Причерноморье и оказалась непосредственной соседкой таких славянских племен, как Тиверцы (по Днестру) и Уличи (по Днепру). Возобновились торговля с античным миром, повысилась техника обогащающего славян земледелия. Со времен Траяна начался бурный приток римских монет, была заимствована римская зерновая мера квадрантал, просуществовавшая в России под названием четверика до 1924 г. Появилось гончарное ремесло с горнами и гончарным кругом.

Примитивная зарубинецкая полулесная культура в южной своей части **преобразовалась** в черняховскую (II—IV вв. н. э.), занявшую лесостепную черноземную полосу и двумя мощными потоками спустившуюся к Черному морю. Скачок был настолько значительным, что ряд ученых приписывал черняховскую культуру пришельцам готам; это свидетельствует о полном пренебрежении к показаниям письменных источников.

Историк готских королей Иордан (VI в. н. э.) писал о делах II—IV вв., что славяне («анты») занимают **побережье** Черного моря от устья Днестра до устья Днепра, а готы живут к **западу** от Днестра и к **востоку** от Днепра. Здесь, «у самого Синего моря», славяне прожили целых три столетия, плотно соприкасаясь с местным полугреческим населением и римскими гарнизонами городов. Закончилась эта эпоха



Архаичное культовое изображение рала на новогоднем хлебе (вверху) и схема украинского рала (внизу). Оба рисунка сделаны по этнографическим данным.

благоденствия славян нападением остготов, теснимых с востока новыми хозяевами степей — тюрками гуннами. В битве с готами около 375 г. погиб антский князь Бус. Через 150 лет десятки славянских племен Восточной Европы двинулись через устье Дуная (где стоял памятник Траяну) на Балканы и отвоевали часть Византийской империи.

Русские историки XII в. не прошли мимо этих событий II—IV вв., которые непосредственно предшествовали формированию «Русской земли» в ее первичном малом объеме VI—VII вв. и сохранились в памяти (но не в политических рубежах) русских людей вплоть до XII в. Границы этой «Русской земли» очень точно обрисованы как археологической культурой VI—VII вв., так и многочисленными припоминаниями летописцев Киева, Новгорода, Владимира Суздальского, Галича.

Нестор писал о том, что племена Тиверцев и Уличей жили некогда вниз по Днестру и вниз по Днепру «оли и до моря» (т. е. даже до моря), «присбдяху к Дунаеву». Это буквально **воспроизводит карту**

черняховской культуры: именно по Днестру и Днепру черняховская культура распространилась вплоть до берегов Черного моря. Нестор даже знал, что переселенцев было «множество» и что они оставили после себя городища, известные людям XI—XII вв.

Очень важные сведения о «Траяновых веках» сообщает автор «Слова о полку Игореве», писавший через семь десятков лет после Нестора. С присущей ему лаконичностью и расчетом на широкую образованность его аудитории, автор дал **точную хронологическую систему**, в которой существенную роль играли «Въци Трояни».

Сопоставим сведения в «Слове о полку Игореве» с другими источниками.

1. Вплоть до XX в. на официальных картах Бессарабии отмечались «Траяновы валы».

2. Хорошо известны в Добрудже за Дунаем руины огромного монумента в память побед императора Траяна — «Тропхеум Траяни» («Тропа Трояня» в «Слове о полку Игореве»).

3. «Века Трояна» — период от побед Траяна (начало I в. н. э.) до «Бусова времени» (около 375 г. н. э.), когда славяне были разбиты готами, отступившими под натиском гуннской орды («хиновы»), и князь Бус был убит. Период очень точно соот-

ветствует существованию высокой черняховской культуры славян во II—IV вв. н. э.

4. Хронологическое определение благоденственных «Веков Трояна» (когда еще не было тюркских орд гуннов) как II—IV вв. н. э. весомо подтверждается расчетом автором «Слова»: полоцкий князь Всеслав Вещий начал действовать «на седьмом вѣце Трояни» в 1068 г. Вычитая из этого времени год смерти Буса, мы получаем 693 год — действительно «на седьмом веке», но не от жизни императора-завоевателя, а от **конца того трехвекового периода**, во время которого Уличи и Тиверцы жили в Причерноморье, **составляя часть античного мира** накануне его перерождения.

Балканские походы славян, завоевание ими части Византии, создание Киевского княжества около VI в. н. э. и оборона его от «хиновы» в VII—VIII вв. — это события уже за хронологическим пределом античности, от которой древние славяне дважды получали импульсы развития культуры: в VII—III вв. до н. э. и в «Траяновы века», что в сумме дает восемь столетий воздействия периферии античного мира на связанные с ним земледельческие славянские племена восточноевропейского черноземья.

НОВОСТИ НАУКИ

Археология

В железном веке «панков» не было

Английские археологи нашли в Линдоу-Бог (болотах графства Чешир) тело древнего человека, хорошо сохранившееся со времен железного века. Sensация тем более впечатляла, что его волосы отливали изумрудным цветом, но поскольку никто не считает, что древние британцы были зеленоголовыми от роду, оставалось предположить, что они красились. Однако с серьез-

ными выводами следовало подождать до завершения химического анализа, предпринятого экспертом Дж. Смитом (G. Smith; Отдел промышленных исследований Новой Зеландии).

Его выводы опровергают мнение, будто линдоу-богский человек смазывал волосы неким красящим веществом, содержащим медь, которая под воздействием ультрафиолета может излучать в зеленой части спектра. Меди в волосах, взятых на анализ, не оказалось. Очевидно, зеленый цвет был вызван тем, что кератин — белок волосяного покрова — прореагировал с кислотой, содержа-

щейся в торфянике, где тело было захоронено.

Смит провел эксперимент, поместив пучок шерсти от мериносовой овцы в кислоту и удалив оттуда кислород. В этой «болотной среде» шерсть под влиянием кислоты немедленно изменила окраску, что можно объяснить появлением так называемых β-карболинов. Они-то и окрасили волосы ископаемого британца. Так что у нынешних «панков» нет оснований претендовать на древность происхождения своей зеленой шевелюры.

New Scientist. 1993. V. 137. N 1866. P. 12 (Великобритания).

Сотрудничество в изучении Арктики

(интервью с Р. Скоттом и С. В. Аплоновым)

В связи с трудностями финансирования фундаментальной науки в последние годы с особой остротой встал вопрос о развитии международного сотрудничества, в котором за кадром в той или иной мере всегда присутствует возможность материальных и финансовых инвестиций в отечественную науку.

Наряду с традиционными контактами между крупными научными центрами появились и новые формы сотрудничества. Во-первых, это научно-коммерческие контакты (обмен и продажа научной информации, организация совместных прикладных исследований в коммерческих целях, сдача научно-исследовательских судов в аренду и т. д.). Во-вторых, это массовый отъезд ученых за границу для работы по частным контрактам.

Параллельно с этими формами сотрудничества, которые у всех «на слуху» и отношение к которым, прямо скажем, неоднозначно, появилась еще одна форма научных контактов. Это взаимодействие между некоммерческими научными фирмами, давно существующими за рубежом (там для них даже есть специальное название — non-profit organizations) и совсем недавно появившимися у нас.

В настоящее время готовится закон, упорядочивающий существование подобных организаций в России. Но и без того эти группы уже появились. Одна из них — санкт-петербургский Центр геодинамических исследований «Тетис», активно взаимодействующий с одной из старейших исследовательских групп Кембриджского университета — Cambridge Arctic Shelf Programme (CASP). С лидерами этих научных коллективов Р. Скоттом и С. В. Аплоновым встретился наш корреспондент Л. Д. Майорова.



Сергей Витальевич Аплонов, доктор геолого-минералогических наук. Занимается проблемами региональной геофизики и геодинамики. С 1986 г. работает в Санкт-Петербургском отделе Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН. В 1992 г. вместе с ближайшими коллегами организовал независимую исследовательскую группу — Центр геодинамических исследований «Тетис».

Корр. Расскажите, пожалуйста, подробнее о CASP: что собой представляет эта организация? Когда и с какой целью она возникла? Как трансформировались ее задачи к настоящему времени?

Р. С. Началось все с ежегодных геологических экспедиций на Свальбард (Шпицберген), которые с конца 40-х годов проводит Департамент наук о Земле Кембриджского университета. Поначалу они предпринимались с чисто академическими целями. Но последующие контакты с промышленными фирмами заставили перейти от непосредственного изучения стратиграфии и тектоники отдельных регионов Арктики к созданию в 1975 г. комплексной программы по изучению арктического шельфа. Основал CASP Б. Харленд, известный своими работами по геологии Свальбарда.

Сейчас, 18 лет спустя, основной стиль нашей работы — составление научных отчетов для компаний-подписчиков (в настоящее время более 15 крупных нефтяных компаний являются подписчиками CASP).

Корр. Как действует CASP?

Р. С. Исследования разделены на серию секций, каждая из которых имеет специальную тему. Компании могут подписаться на любую из этих тем. Геологи CASP подключаются к разным проектам в зависимости от их специализации и мастерства, а также уровня фондов, предоставляемых подписчиками.

Результаты исследований выдаются в виде иллюстрированных докладов (отче-



Роберт Скотт — ведущий геолог CASP (Cambridge Arctic Shelf Programme — Кембриджская арктическая шельфовая программа), сочетающий научную карьеру с издательской деятельностью. Область научных интересов — тектоника Арктики. В настоящее время возглавляет в рамках CASP совместные с российскими учеными работы по геологии и нефтегазоносности осадочных бассейнов на территории бывшего СССР.

1

тов), карт и компьютерных данных. К настоящему времени CASP выпустила более 600 таких докладов.

Зарегистрированная как организация с благотворительным статусом, CASP отличается от большинства подобных организаций тем, что она не получает выгоды от своей деятельности и не выплачивает дивидендов: все вклады используются на исследования. Эта начальная цель остается неизменной, хотя размах работ постепенно увеличивается. Если в первые годы группа насчитывала всего несколько человек, то теперь их около 40. Они трудятся в Кембридже и других местах Соединенного Королевства, а также в Канаде.

С. А. Следует подчеркнуть, что CASP — некоммерческая фирма, и это, наверное, самое главное. Частично, она финансируется из фонда Кембриджского университета — этим CASP близка академической науке, — а частично зарабатывает деньги сама, готовя научные отчеты. Но в то же время она не является консалтинговой фирмой, каких на Западе много.

Основная форма деятельности CASP — компиляция, обобщение разного рода геолого-геофизического материала. И эта компиляция изначально ориентирована на решение достаточно крупных проблем, особенно если соотносить их масштабы с в общем-то небольшим штатом фирмы.

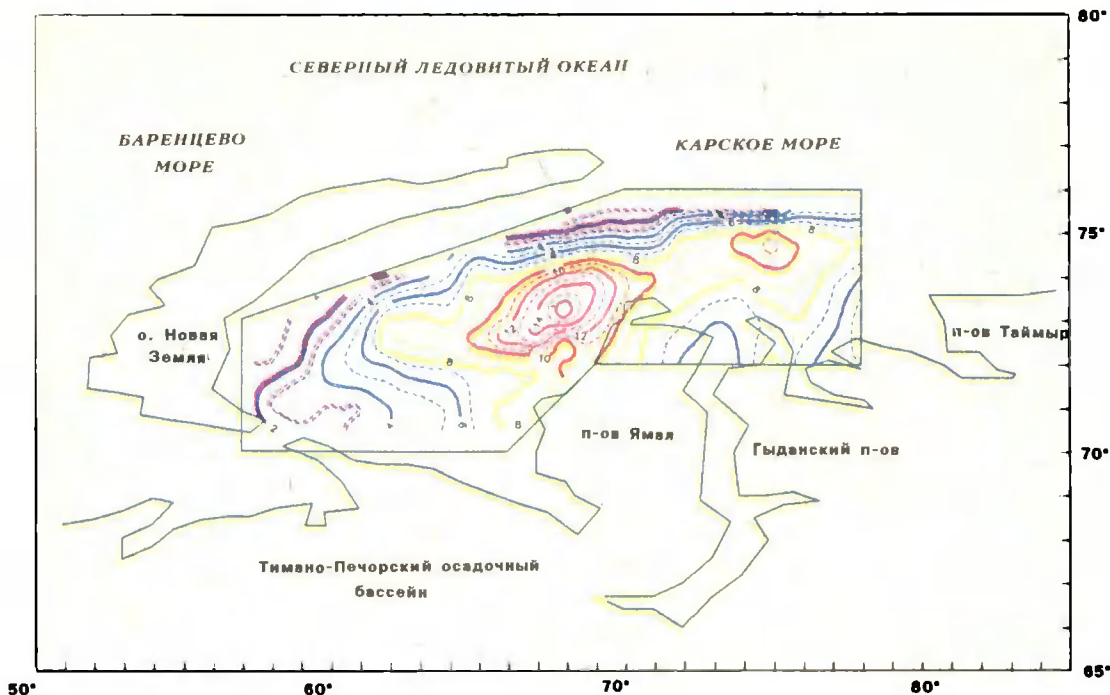
Корр. Приведите, пожалуйста, какой-нибудь пример.

С. А. В первую очередь, это, конечно, Арктический проект — один из главных проектов CASP. Основу его составляют самые современные данные по Арктике (палеогеографические, палеотектонические, палеогеофизические и т. д.). Вся эта информация собирается из самых разных источников и затем, «на выходе», попадает в региональный проект, основная цель которого — понять тектоническую эволюцию Арктики.

Если проводить параллель с научной деятельностью, то подобного масштаба задачи не ставятся у нас в стране ни перед одной организацией: отдельные «кусочки» рассеяны по массе научных институтов, и никто не собирает их вместе.

Корр. А как CASP получает свои материалы по территории России?

С. А. Имеются два источника. Во-первых, сотрудники CASP очень серьезно компилируют всю геолого-геофизическую литературу по России. Достаточно сказать, что у них в Кембридже имеются два перевод-



Схемы, иллюстрирующие идею существования в Южно-Карском осадочном бассейне «безграничной» (палео-океанической) коры. Эти схемы — один из результатов работ, выполняемых Центром геодинамических исследований «Тетис» по заказу CASP.

На левой схеме показано, на какой глубине (до 16 км) залегает фундамент Южно-Карского бассейна. Интуитивно ясно, что «легкая» континентальная литосфера не могла погрузиться столь глубоко. Наши исследования подтвердили и уточнили эти интуитивные представления (схема справа). По интенсивности аномалий гравитационного поля была рассчитана плотность фундамента. Аномально высокие (до 3,1 г/см³) значения плотности фундамента в Южно-Карском бассейне говорят о том, что подстилающая осадки литосфера относится скорее к океаническому, чем к континентальному типу.

чика с русского. Иногда они «раскапывают» такие статьи, которые даже здесь, в России, мало кому известны. Во-вторых, вот уже несколько лет они сотрудничают с нашими учеными — известными и не очень. Как только появилась такая возможность, CASP стала привлекать конкретных исследователей — с их знаниями, связями, профессиональным опытом...

Корр. Нет ли тут с российской стороны какой-то малопривлекательной торговли исходными данными, необработанным геологическим материалом?

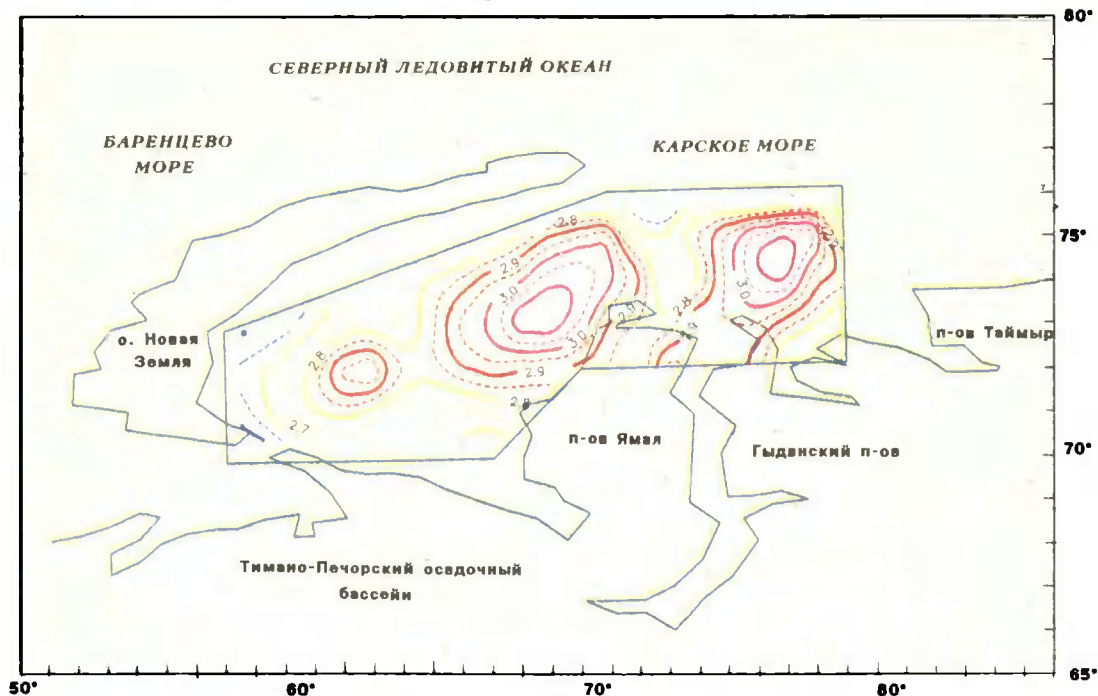
С. А. Нет, ни в коем случае. CASP принципиально отличается от ряда других зарубежных организаций тем, что сбором «сырого» материала эта фирма не занимается. Опыт показывает, что та форма работы, которую избрала для себя CASP, наиболее жизнеспособна. Может быть, это единственная экологическая ниша для организаций, подобных CASP и нашему Центру геодинамических исследований.

Три года назад, как только сломался пресловутый «железный занавес», в образовавшуюся брешь хлынули самые разные люди, началась отчаянная торговля «сырым» геологическим материалом. Весь этот разнородный поток двигался на Запад и до поры до времени принимался там самыми разными организациями.

Однако довольно скоро стало ясно, что сам по себе, в необработанном виде, этот материал не очень-то и нужен. Более того, в геологии такой путь вообще бесплоден: нельзя воспользоваться данными, если отсутствует основа, на которую их можно наложить. Этой основой могла бы быть некая общая картина тектонической эволюции гигантской территории, занимаемой бывшим СССР. Все-таки 1/6 часть суши!

Корр. Чем же, помимо огромных территорий, сотрудников CASP привлекает Россия, работа с русскими?

Р. С. Во-первых, половина Арктики приходится на Россию, и это, наверное, са-



мое важное. Во-вторых, у вас в стране изменилась политическая ситуация, благодаря чему доступ к научной информации существенно упростился. Если раньше мы знали о геологии России только по публикациям (да и то очень мало), то сейчас получили возможность прямо контактировать с российскими учеными. Без таких совместных работ нельзя составить целостную картину тектонической эволюции Арктики.

Мы работаем по нескольким научным разделам: это геология и тектоника Гренландии, Арктики в целом, а также Китая и Монголии. У CASP имеются автономные группы в Канаде и Китае, которые пополняют нашу базу данных. Но особенно интересны, на мой взгляд, работы, связанные с Россией. Кстати, этим летом мы проводим совместные экспедиционные работы с российскими геологами на территории России.

Корр. Не могли бы вы назвать каких-то конкретных российских исследователей, какие-то конкретные работы, интересные для CASP?

Р. С. Сейчас, когда в России геосинклинальная концепция наконец-то сменилась концепцией тектоники плит, непрерывно поступают новые данные.

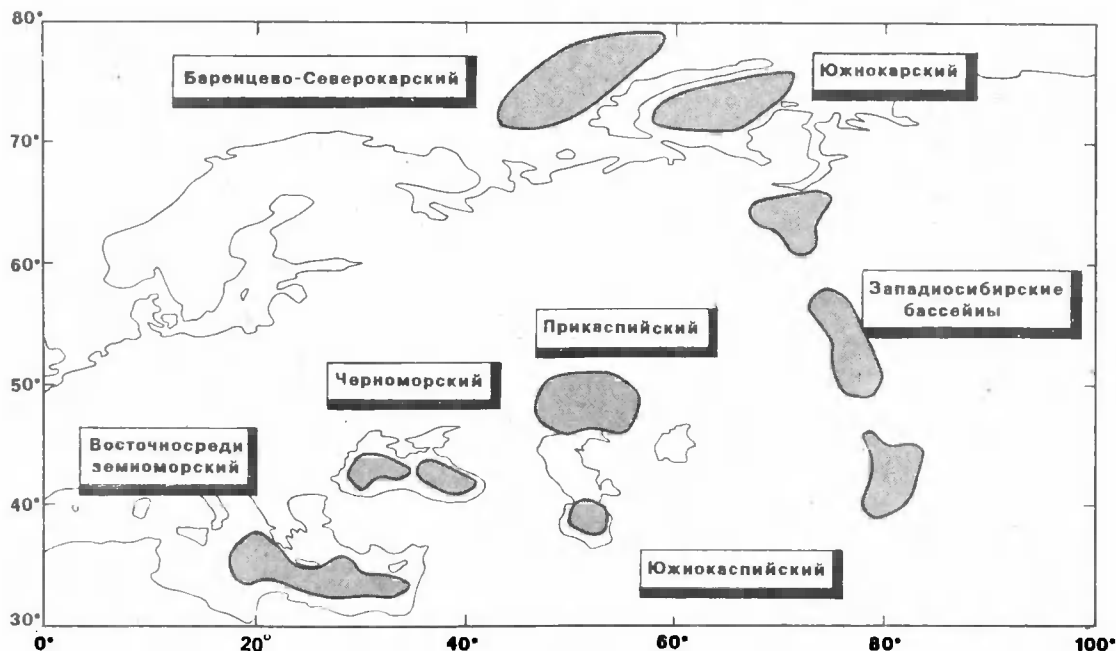
Так, С. В. Аплонов написал для CASP статью по эволюции Западной Сибири. С ним и его сотрудниками мы делаем также совместную работу по Карскому морю. Это

исключительно интересные регионы; о которых известно очень мало. Дело в том, что это глубокие осадочные бассейны, по которым почти нет геологических данных. Сотрудники Центра геодинамических исследований занимаются геофизическим анализом таких бассейнов. Их работы очень важны для понимания тектонической эволюции Арктики.

Л. П. Зоненшайн и Л. М. Натапов из Института океанологии РАН составили для CASP глобальные реконструкции Арктического бассейна. А. Ю. Розанов из Палеонтологического института РАН подготовил для нас отчет по кембрию Прибалтики. И это только начало будущей большой работы. Объем наших совместных исследований растет день ото дня.

С. А. Добавлю, что высокий интерес западных геологов к территории России и бывшего СССР не случаен. До поры до времени на Запад не шло никакой информации прежде всего потому, что по-английски наши геологи не писали и в международных конгрессах фактически не участвовали (если не считать Геологического конгресса 1984 г., проходившего в Москве).

Впрочем, есть и другая причина весьма слабого представления зарубежных геологов о территории бывшего Союза. Дело в том, что, переводя статьи наших соотечественников на английский и прочие европейские языки, они зачастую нас не понимали. Это



Глубокие осадочные бассейны с «безграничной» (палеоокеанической) корой — области совместных научных интересов «Тетиса» и CASP. Аналогичные гигантские впадины были выявлены ранее в центральных районах Западной Сибири [С. В. Аплонов, 1987]. Можно предположить, что некогда они принадлежали единому Уральскому океану, разобщавшему Евроамерику, Сибирь и Казахстан. В конце палеозоя, когда этот палеоокеан закрылся, небольшие участки океанической литосферы оказались «впечатанными» внутрь Евразийской плиты и затем перекрытыми мощнейшими толщами осадков.

только у нас все еще спорят, что правильнее — тектоника плит или учение о геосинклиналях. А там, «у них», этот вопрос уже 25 лет назад снят с обсуждения. В результате западные геологи стали разговаривать совсем на другом научном языке, и объяснить им, что такое «миогеосинклиналь», например, чрезвычайно сложно.

Корр. А как, собственно, началось ваше сотрудничество с CASP?

С. А. Оно началось с Л. П. Зоненшайна. Года три назад, читая лекции в Кембридже, он первым изложил «человеческие» взгляды на тектоническое строение территории Советского Союза. Он-то и назвал группу советских геологов, которые могут представлять интерес для CASP. Кстати, сотрудники CASP были приглашены им в Россию на совещание «Тектоника лито-

сферных плит», которое также является детищем Льва Павловича. Они слушали, интересовались, знакомились... В частности, они вышли и на меня, предложив приехать в CASP поработать.

Корр. В это время Центр геодинамических исследований уже существовал или планы его создания еще только вынашивались?

С. А. Независимо от всех этих весьма интересных зарубежных контактов мы к тому времени уже организовали в Ленинграде самостоятельную академическую группу, назвав ее Центр геодинамических исследований «Тетис». (Когда я говорю «мы», речь идет прежде всего об этой группе.)

Этот Центр замыслился и был реализован как организация не совсем обычная. Весь штат Центра — пять человек. Но для решения каких-то конкретных проблем под его «крышей» могут собираться временные творческие коллективы (в среднем по 15 человек).

В основной штат вхожу я, геофизик, и мой заместитель, который заведует математической обработкой собранных материалов — он профессионал в этой области. И как только появляется интересное поле деятельности, например договор с CASP, мы сразу же привлекаем геологов и геофизиков из разных городов страны для совместных работ.

Корр. На сколько лет рассчитан ваш договор с CASP и чем вы будете с ними расправляться?

С. А. Как и записано в договоре, сейчас мы готовим черновые копии материалов — графики, карты, тексты. Когда они будут готовы, я или кто-то из сотрудников поедет в Кембридж, чтобы подготовить наш отчет к публикации. Так что основная форма продукции — отчет. Сейчас мы пишем отчет по Арктике — по Карскому шельфу и Тимано-Печорской провинции. Он станет частью более крупного отчета, который будет называться «Тектоническая эволюция крупных регионов России».

В CASP наш отчет отредактируют, снабдят примечаниями и комментариями. Далее его и другие отчеты CASP перепродаст своим подписчикам. Вернее, подписчики CASP — 15 крупных нефтяных компаний — заранее оплатят будущие отчеты, примерно зная, что в них должно войти. В отличие от консалтинговых фирм CASP разошлет отчеты всем своим подписчикам одновременно, и ни одна из нефтяных компаний, например British Petroleum, не будет иметь каких-то преимуществ перед прочими.

Корр. Есть ли еще какие-то источники финансирования CASP, кроме нефтяных компаний? Как она взаимодействует с Кембриджским университетом, на территории которого «проживает»?

С. А. Как и другие подразделения университета, CASP в какой-то степени подкармливается Советом попечителей. В него входят весьма солидные уважаемые ученые — всего 12 человек, которые решают, насколько продуктивно работало каждое из подразделений университета и какую долю финансов в зависимости от этого ему выделить.

Какую часть средств CASP получает от университета, а какую — от нефтяных компаний, сказать трудно. По крайней мере я такой информацией не располагаю. Зато хорошо известно, на что CASP тратит полученные деньги, — эти данные регулярно публикуются. Основные расходы связаны с пополнением базы данных и с Арктическим проектом.

Корр. Что собой представляют эти два направления деятельности CASP? Участвуют ли в них российские ученые?

С. А. Эти направления совсем не связаны между собой. Об Арктическом проекте мы уже говорили. А базы данных, в об-

щем-то, не моя область, поэтому скажу о ней совсем коротко.

Базы данных, как известно, собирают по всем направлениям науки. В науках о Земле это данные по стратиграфии, палеонтологии, геофизике, изотопии. CASP собирает базу данных для калибровки составляемых ими геохронологических шкал. При их отборе надо быть очень уверенным в качестве используемых данных, и пока данных по России в CASP немного. Но в будущем, когда британцы побывают у нас в экспедиции и получат представление о степени надежности тех методов отбора и изучения проб, которыми пользуются российские специалисты, возможно, они пополнят свою базу данных материалами по России.

Но и в этом случае альянс британских и российских специалистов будет некоммерческим. И это хорошо, поскольку будет соблюден главный принцип CASP (и Центра геодинамических исследований тоже): не стремиться к сверхбарышам, но иметь возможность заниматься квалифицированной научной работой.

Деньги, которые мы получаем от CASP за наши отчеты, относительно небольшие. За «сырой» геологический материал некоторое время назад можно было получить существенно больше, но теперь это наконец-то запрещено законом. (На Западе сейчас можно продавать только продукты интеллектуального труда: статью, отчет и т. д.) Наши «воров» это, скорее всего, не остановит, но западный покупатель десять раз подумает, с каким товаром он имеет дело. И если товар не снабжен специальной лицензией Геологического комитета Российской Федерации вряд ли станет его приобретать.

Корр. И последний вопрос. Насколько мне известно, у Центра геодинамических исследований помимо CASP имеются и другие зарубежные партнеры, — как развиваются ваши отношения с ними?

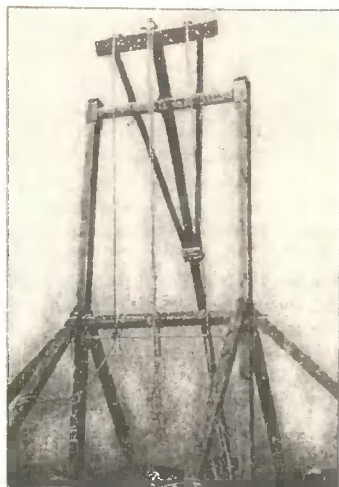
С. А. Наш Центр имеет довольно широкие зарубежные контакты. Это и Вудсхолский океанографический институт (США), и Университет Мак-Гилла (Канада), и Институт нефти и газа (Франция) и, конечно же, Кембриджский университет. В последнее время стали налаживаться контакты с крупными нефтяными компаниями, такими как EXXON, MOBIL, CONACO и др. И во всех случаях мы стремимся «удерживать планку», ориентируясь на выполнение совместных разработок именно фундаментального уровня.

Археология. Техника

«Гонка вооружений» в древние времена

В эпоху Римской империи легионеры при осаде вражеских укреплений нередко применяли метательную машину, в которой движущей силой служила «пружина», изготовленная из человеческого волос и жил животных. Считалось, что это примитивное орудие состояло на вооружении веками. Лишь в XII в. оно уступило место куда более мощным противовесным катапультам; здесь энергия выстрела высвобождалась при падении массивного противовеса. Смутные упоминания о том, что до этого в употреблении были какие-то «натяжные катапульти», специалисты считали «фольклором».

Сомнениям на этот счет положил конец Т. Швейковский (Т. Szweikowski; Торонтский университет, Канада), который тщательно изучил тексты арабского ученого аль-Тарсуси, относящиеся к 1187 г. Там довольно подробно описывается оригинальное устройство, применявшееся не только затем, чтобы



Современная модель натяжной катапульти.

сокрушить вражеские укрепления, но и чтобы перебросить через крепостную стену черепа и другие части мертвецов с целью запугать осажденных и даже занести к ним заразу (вот ранние примеры «психологической и бактериологической войны»!). Чтобы окончательно убедить оппонентов, Швейков-

ский со своими студентами построил действующую модель такой машины. На вертикальной опорной деревянной раме высотой 3 м смонтирована горизонтальная поворотная ось. К ней прикреплен 5-метровый рычаг; длинное его плечо должно резким взмахом выбросить снаряд в сторону противника, но при этом к короткому плечу, помимо небольшого противовеса, присоединены многочисленные веревки. «Орудийная прислуга» числом 10—12 чел., ухватив за эти тязи, стремится пригнуть короткий конец к земле; длинный, естественно, должен бы подниматься вверх, но его изо всех сил удерживает мощный воин, ухватившийся за специальную петлю, в которой лежит метательный снаряд. Когда натяжение достигает максимума, воин резко отпускает петлю, подобно мальчишке, стреляющему из рогатки. По существу, натяжная катапульта и есть гигантская «рогатка».

Надев защитные пластмассовые каски, студенты с удовольствием овладевали волевым искусством древних: цементные ядра массой по 5 кг пролетали по двору университета на 145 м; несколько поднаторев, они довели скорость выстрела до одного выстрела в 15 с. Дальность оказалась не хуже, чем у лучших видов артиллерии первых времен ее существования.

Таким образом, между примитивной римской осадной машиной и противовесом позднего средневековья чуть ли не 500 лет применялась достаточно эффективная натяжная катапульта. По мнению Швейковского, она была изобретена в Китае еще в V в. до н. э., а затем, очевидно, заимствована арабами; с расширением исламского мира она была занесена в район Средиземноморья, откуда распространилась по всей Западной Европе.



Битва с применением натяжной катапульти (иллюстрация из средневековой Библии)

New Scientist. 1992. V. 133. N 1805.
P. 17 (Великобритания).

Монстры

С. В. Савельев

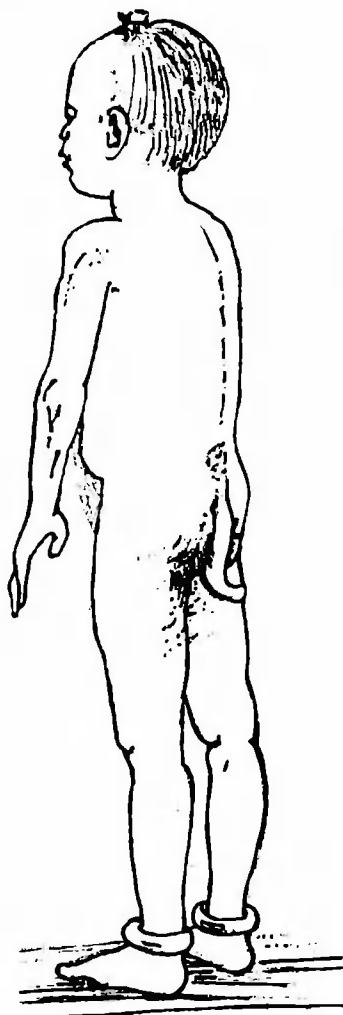


Сергей Вячеславович Савельев, доктор биологических наук, руководитель лаборатории развития нервной системы НИИ морфологии человека РАМН. Область научных интересов — эмбриология и патоморфология нервной системы, механика развития.

ДЕФЕКТЫ развития человека всегда привлекали внимание ученых разных специальностей. Настоящая статья посвящена проблемам тератологии — науки о врожденных нарушениях строения человеческого тела. Эмбриональная патология развития встречается очень часто. По самым скромным и несовершенным оценкам, 20—25 % всех спонтанных аборт — следствие нарушений эмбрионального развития. Значительные аномалии встречаются у 2 % новорожденных, а в 15—17 % случаев становятся причиной детской смертности в первые годы жизни. Эта неутешительная статистика, характерная для наиболее развитых стран, подтолкнула специалистов по тератологии человека сосредоточить свои усилия на анализе причин, вызывающих дефекты развития, профилактике и ранней диагностике аномалий.

С незапамятных времен основное внимание привлекали только внешние проявления врожденных уродств. В древнем Вавилоне было зарегистрировано более 60 случаев таких дефектов. Существовал даже свод законов, по которым считалось, к примеру, что если женщина рождает младенца без языка, дом хозяина обрекается на разрушение. С другой стороны, частичное или полное отсутствие мужских половых органов у младенца сулило богатство и замечательный урожай. Надо отметить, что аглоссия (отсутствие языка) встречается редко и, как правило, в сочетании с множественными дефектами лицевой зоны, а как самостоятельная аномалия не описана. Не менее редка афалия (отсутствие мужских половых органов) — один случай на 30 млн. новорожденных. Эти данные дают представление о том, каких масштабов достигала тератология в древнем Вавилоне.

Тератологией интересовались Гиппократ (объяснивший причины гидроцефалии), Эмпидокл, Демокрит и Аристотель, заложивший основы сравнительной тератологии животных. Со свойственной ему широтой взглядов Аристотель писал, что появление



Хвостатая девочка с о. Ява (по Шимкевичу, 1906).

Трехголовый баран, описанный А. Паре (по Шимкевичу, 1906).

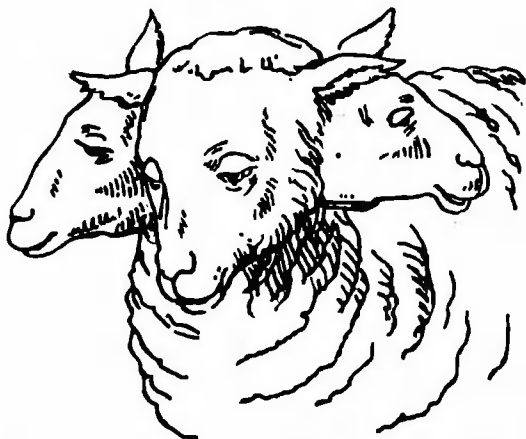


Иллюстрация из книги А. Галле-ра (1741).



монстров столь же свойственно природе, как и развитие нормально организованных существ. Он первым высказал мысль о том, что пороки развития человека могут быть истолкованы как сходство с животными или стать основой для создания мифов. До настоящего времени дожил пример хвостатой девочки с о. Ява, описанный Кохльбруггом. Найденный вырост обладал подвижностью и содержал отдельные косточки, что позволило сторонникам эволюционной теории считать его атавизмом. Однако сам автор находки, а затем С. Зернов и В. Шимкевич показали, что наблюдаемый вырост — это аномалия крестца, а не продолжение позвоночника¹. С тем же успехом можно назвать

атавизмом и появление трехголового барана, описанного еще А. Паре. Правда, тогда рептилийным предком придется считать трехголового Змея Горыныча.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ

Наблюдение различных форм врожденных патологий стимулировало многочисленные попытки систематизировать полученные данные. В 1616 г. Ф. Лицетус впервые создал наиболее полный труд по тератологии, описав все известные варианты патологий и мифологических существ — от львов с человеческими головами, осолоудей и кентавров до относительно достоверных случаев микроцефалии и циклопии. Аналогичные усилия предпринимали А. Паре, В. Гар-

¹ Шимкевич В. М. Уродства и происхождение видов. СПб. — М., 1906.

вей, К. Вольф, И. Меккель и многие другие. С середины XVIII в. ни один эмбриолог или акушер не оставил без внимания этот вопрос. Только в одной главе в работе А. Галлера 1741 г. упоминается о 60 случаях торакопагии — сращения грудными клетками.² В России Петр I в Указе от 13 февраля 1718 г. назначил невероятно щедрое вознаграждение (до 100 руб.) за каждый выявленный случай врожденного уродства человека.

Накопление сведений о пороках развития человека привело к возникновению традиционной систематики и закреплению исторических названий за конкретными пороками. Сросшиеся плоды стали называть симскими близнецами, дефекты развития и слияния зачатков глаз — циклопией, недоразвитие переднего мозга — анэнцефалией, а увеличение числа пальцев — полидактилией. Классификация аномалий по комплексу признаков или видимым структурным дефектам казалась эффективной до тех пор, пока не выяснилось, что различий между конкретными случаями врожденных пороков зачастую больше, чем сходства.

В настоящее время используется несколько подходов к классификации врожденных пороков развития человека. Наиболее распространен анатомо-физиологический подход, когда пороки развития идентифицируются по тому органу или системе, в которых они возникают. Эта классификация принята Всемирной организацией здравоохранения, но реально она не закрепились из-за множественности врожденных пороков. Почти всегда аномалии мозга возникают одновременно с дефектами черепа и лицевой области головы, а патология костно-мышечной системы неотделима от пороков кровеносной. Еще менее приемлема классификация врожденных пороков, противопоставляющая дефекты развития органов и систем, с одной стороны, и множественные пороки — с другой.³ Проблемы с классификацией пороков развития человека до настоящего времени не решены, хотя существует известная общность взглядов на номенклатуру органных или тканевых дефектов.

Несомненно, что врожденные аномалии развития представляют собой структурные дефекты, поэтому наиболее рациональная классификация пороков должна быть связана с конкретным нарушением структуры ткани или органа. Такая классификация

возникла в результате анатомо-гистологических работ и к настоящему времени содержит 10—15 категорий, характеризующих конкретную патологию. Большинство авторов согласно с семью-восемью категориями, хотя в каждом случае к основной группе добавляется несколько новых, отражающих интересы исследователя. Следует уточнить, что эти категории рассматриваются как обобщенные понятия для описания статичных форм аномалий развития. Итак, наиболее распространенные следующие категории.

Агенезия — остановка развития на ранних эмбриональных стадиях или отсутствие органа. Например, часто встречается врожденное отсутствие почек, которые не возникают в процессе эмбрионального развития. Уже упоминавшееся отсутствие языка или наружных половых органов относится к этой же форме аномалий.

Гипоплазия — незавершенность развития органа или его отдельной части, уменьшенные размеры органа по сравнению с нормой. Наиболее характерный пример для этой категории — гипоплазия матки (инфантилизм). Чаще всего инфантилизм матки диагностируется в период полового созревания и сопровождается бесплодием и расстройством менструального цикла. Рудиментарная матка может иметь размер от 3 до 7 см, что является критерием степени инфантилизма.

Гиперплазия — избыточное развитие какой-либо части тела плода или новорожденного. Примерами могут служить полидактилия или полиорхидия (увеличение числа яичек).

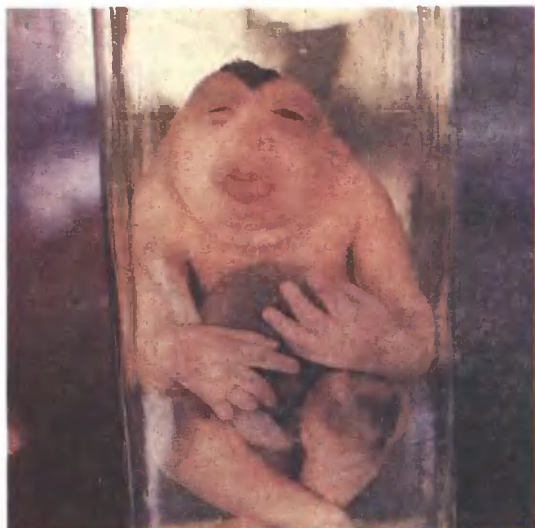
Эктопия — аномальное расположение органа или его частей. Хорошо известна эктопия хрусталика, которая сочетается с разнообразными пороками лицевой части зародыша.

Персистирование — сохранение эмбриональных органов или структур, которые при нормальном развитии исчезают. Известны, например, случаи сохранения эмбриональной связи между щитовидной железой и глоточным эпителием у новорожденных. Обычно этот канал исчезает после отделения зачатка щитовидной железы от глоточного эпителия. Часто у новорожденных сохраняется анальная мембрана, которая должна своевременно исчезать.

Гетероплазия — нарушение дифференцировки отдельных тканей в период эмбрионального развития. Примером может служить аномальное развитие коры головного мозга при различных формах голопроэнцефалии, когда нарушается миграция и дифференцировка нейронов.

² Haller A. Oposcula sua anatomica de respiratione de monstris. 1741.

³ Лазюк Г. И. Тератология человека. М., 1991.



Плод человека с аномалией развития головного мозга — анэнцефалией.



Циклопия у новорожденного.

Дисхрония — ускорение или замедление скорости роста тканей, органов или плода в целом. В этом случае наблюдается значительное увеличение размеров плода или опережающее развитие головы и мозга. Обнаруживаемое увеличение или уменьшение размеров плода может быть не связано с патологическими процессами или иметь отдаленные психофизиологические последствия.

Кроме этих категорий часто вводятся более частные признаки пороков развития органов и тканей. Однако они не меняют сущности классификации, которая отражает дефекты формообразования эмбриона или плода. Таким образом, возникла далекая от идеала система классификации пороков по отдельным структурным нарушениям развития, в которой не учитываются причины и механизмы формирования аномалий у эмбриона или плода человека.

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОРОКОВ

С момента обнаружения первых пороков развития возникло устойчивое представление, что выяснение причин их происхождения и знание источника дефекта даст реальные возможности для классификации, профилактики и лечения наследственных болезней. Интересен факт, что глобальные теории тератогенеза всегда были основаны на наиболее «модных» направлениях медицины. В начале нашего века появление

уродств связывали с психической неустойчивостью и сифилисом. Затем наиболее вероятными причинами стали считать инфекции и нарушения гормональной регуляции организма матери. С середины века аномалии уже объясняются генетическими причинами или экологическими факторами. Любое из перечисленных воздействий может вызвать аномалии развития, но даже все они вместе взятые не объясняют и 40 % случаев возникновения врожденных уродств. Предположений по поводу причин аномалий было великое множество. Лукреций, занимаясь происхождением гермафродитизма, выдвинул мистическое происхождение уродств, которое затем проповедовал Плиний Старший. А. Магнус несколько приблизился к природе, считая, что причина уродств человека кроется во влиянии астрологических факторов, грома и молний. В 1554 г. Я. Руфф выпускает книгу, посвященную проблемам развития человека, где появление монстров относит к одной из форм божественного наказания.

Необходимо упомянуть столетний период процветания «гибридных» теорий, который продолжался до середины XVIII в. Их сущность сводилась к тому, что аномалии развития возникают в результате сожительства человека и животных. При таких отношениях, по мнению авторов, потомки могли сочетать особенности строения обоих родителей. Эта точка зрения выглядела достаточно достоверной на фоне теории преформированного развития. Идея вложения маленьких гомункулусов в яйцевые клетки за-



Аномальное развитие переднего мозга у шестинедельного эмбриона человека.



Аномальное развитие конечностей у 9,5-недельного эмбриона человека.

родышей, которые только раскрывали и выращивали прототипы своих органов, не оставляла места для нарушений развития. Жесткая детерминация организации всех последующих поколений могла быть нарушена только при помощи божественных сил, их дьявольских антагонистов или кровосмешением с животными. Этот подход мало чем отличается от доминировавшей в 60—70-е годы XX столетия концепции исключительно генетической природы нарушений развития.

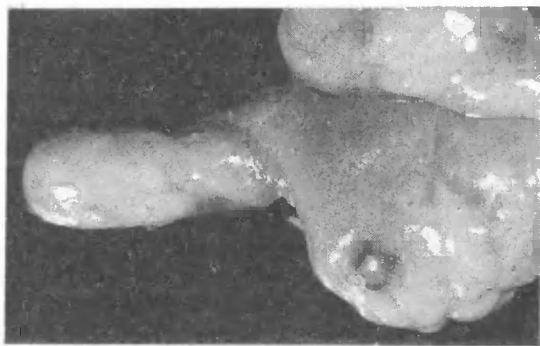
В те годы было установлено, что эмбрионы человека, спонтанно абортировавшие на ранних стадиях, имеют хромосомные дефекты⁴. Кроме этого, известно около 60 типов хромосомных и генных синдромов, которые приводят к возникновению множественных врожденных пороков или гибели плода. Связь между нарушениями в геноме и эмбриональной патологией выглядит очевидной. В целом с хромосомными и генными синдромами связано около 30 % всех пороков развития, первопричины которых на 15—20 % можно более или менее успешно объяснить токсическими воздействиями, контрацептивными препаратами, инфекциями или радиационным фоном. Таким образом, наблюдаемые «генетические причины» врожденных аномалий развития являются механизмом реализации хромосомных дефектов, возникающих в основном на стадии формирования половых клеток. Без-

условно, существует небольшое количество наследуемых дефектов развития и чисто генетических аномалий. Однако они не превышают 10—15 % общего числа врожденных патологий.

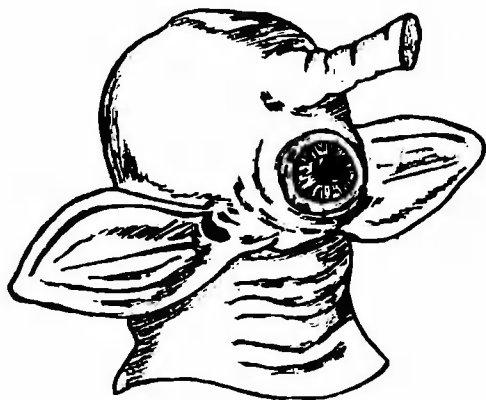
Если корреляция между изменениями в геноме и возникновением уродств не вызывает сомнений, то проблема схожести результатов значительной части хромосомных болезней не решена. Ее можно свести к следующей формулировке: различные типы хромосомных аномалий вызывают одинаковые или сходные пороки. Этот тезис нельзя считать абсолютным, но можно выделить группы наследственных пороков одного типа, которые вызываются нарушением различных хромосом. Видимо, самые разные генетические дефекты реализуются через один и тот же эмбриональный механизм и приводят к сходным анатомическим изменениям. Таким образом, замена гомункулов на хромосомы, а дьявольских сил на тератогенные воздействия не принесла ожидаемого результата.

Проблема усложнилась, когда стало ясно, что существует множество причин, приводящих к появлению врожденных пороков развития. На это указывал еще в XVI в. Паре. Он был убежден, что наследственность и строение матки матери играет решающую роль в появлении монстров. Паре отдавал должное и психосоматическому состоянию матери, считая, что монстры и уродцы рождаются у матерей, обладающих «дьявольской злобностью».

⁴ Boue J., Boue A., Lazar P. // *Teratology*. 1975. V. 12. P. 11—26.



Грыжа головного мозга у эмбриона человека.



Аномальный зародыш свиньи (по Шимкевичу, 1906).

Примером того, что не только различные хромосомные нарушения реализуются в однопипных уродствах плода, но и самые несхожие воздействия приводят к одинаковому аномалиям, может быть анэнцефалия. Это порок развития нервной системы, связанной с недоразвитием переднего мозга. У животных подобные аномалии легко вызывать экспериментально. При разработке моделей, имитирующих аномалии развития человека, предполагалось, что, найдя вещество, которое вызывает изменение развития, мы обнаружим тот метаболический, генетический или структурный дефект, которым стимулируется нарушение. За последние 40 лет моделирования анэнцефалии выяснилось, что она может экспериментально вызываться недостатком кислорода, радиацией, введением в организм матери красителей, хлористого лития, недостатком фолие-

вой кислоты, голоданием, охлаждением, избытком витамина А, инсулина, кофеина, обычной глюкозы, ультрафиолетовым излучением и избытком кислорода. К аналогичным результатам приводят алкоголь, генетические нарушения, тяжелые металлы, изменения давления околоплодной жидкости, инфекции и механические воздействия на плод. Причем как избыток, так и недостаток одного и того же вещества приводит к одинаковому результату — аномалии развития. Из этого следует, что попытки классификации аномалий по вызывающим их причинам будут довольно условными. Химические, биологические и физические факторы могут вызывать однопипные аномалии или приводить к коррекции частоты возникновения пороков развития.

Например, если беременные самки золотистого хомячка получали пищу с дефицитом фолиевой кислоты, то частота дефектов мозга достигала 35 %, тогда как в норме она составляет 17 %. Если животные дополнительно получали фолиевую кислоту в дозе 0,1 мг на 100 г веса, то частота дефектов снижалась до 6 % общего числа детенышей. Аналогичные результаты были получены на мышах с мутацией, которая в 60 % случаев приводит к возникновению дефектов нервной системы. Проявление этой устойчивой аномалии наблюдалось значительно реже при введении витамина А, хотя мутация не связана с нарушением его синтеза или метаболизма. Эти аномалии мозга поддавались коррекции фолиевой кислотой и просто поливитаминами. Снижение количества аномалий у мутантных линий мышей удавалось получить при введении мочевины и ингибиторов синтеза ДНК⁵. Эти работы говорят о том, что существует ряд неспецифических воздействий, уменьшающих частоту возникновения пороков развития.

Зная о том, что наблюдаемая аномалия может быть результатом различных причин, довольно трудно определить конкретный источник патологии развития. Примером может служить гидроцефалия, которая довольно часто наблюдается у новорожденных с дефектами развития или без них. Остановившись на поисках причины гидроцефалии в системе мать — плод, мы оказываемся перед крайне сложной задачей. Со стороны плода этот дефект развития может быть связан с генетическими, хромосомными и эндокринными нарушениями, врожденными пороками (анэнцефалия, нарушение дифференцировки сосуда и сплете-

⁵ Campbell L. R., Dayton D. H., Sohail G. S. // Teratology. 1986. V. 34. P. 171—187.

ния, аномалии развития сердца), гемолитическими заболеваниями, связанными с несовместимостью крови родителей, инфекцией (малярия, токсоплазмоз, сифилис, цитомегаловирус, краснуха), радиацией и изменениями давления околоплодной жидкости. Если нам удастся вычлениить из этого неполного комплекса причин наиболее вероятную, то аналогичный труд необходимо проделывать и в отношении матери. Со стороны материнского организма гидроцефалию может вызвать употребление наркотиков, алкоголизм, предшествовавшие аборт, иммунологические факторы, метаболические дефекты, строение матки, гипоксия, хронические легочные заболевания, гломерулонефриты, гипертония, эпилепсия, курение и социально-экономические условия. После продолженной работы необходимо исследовать состояние системы, связующей мать и плод, — плаценты. В плаценте может быть нарушена маточно-плацентарная циркуляция крови, возможна аномальная имплантация эмбриона или нехарактерное прилежание плаценты, метаболические нарушения, изменение васкуляризации, инфаркты плаценты, развитие гемангиомы или слишком быстрое созревание плаценты.

Таким образом, весьма проблематична не только классификация пороков развития по причинам их возникновения, но и поиск конкретного источника порока. Возникающие при таком подходе проблемы можно резюмировать в трех выводах.

Во-первых, одна и та же аномалия может спонтанно возникать при нормальном развитии, у мутантных животных или под воздействием большого спектра веществ. Это говорит о том, что причина аномалии в большинстве случаев неспецифична.

Во-вторых, одно и то же вещество может вызывать аномалии развития и одновременно уменьшать риск их возникновения.

В-третьих, одна и та же аномалия может быть компенсирована большим спектром веществ или воздействий разнообразной природы.

МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ АНОМАЛИЙ

Существует еще один подход к решению проблемы врожденных пороков развития. Он связан с исследованием причин тератогенной чувствительности зародыша и анализом закономерностей патологического развития. Действительно, если мы видим, что самые разнообразные воздействия на зародыш приводят к однотипной аномалии развития, то логично допустить, что наблю-

даемая эквивалентность патогенеза связана со свойствами самого эмбриона. По сути дела, наблюдаемый у новорожденного порок — результат однотипной реакции тканей и клеток на различные типы тератогенных воздействий. Следовательно, одной из основных проблем тератологии является чувствительность зародыша к различным типам патологических воздействий. В связи с этим вполне естественно желание сопоставить время возникновения аномалий и те процессы, которые происходят в этот период развития плода. Зная периоды первичного проявления врожденных уродств, можно будет установить механизмы тератогенной чувствительности зародыша.

Анализ многочисленных статистических данных позволил установить существование критических периодов развития зародышей человека, когда риск возникновения врожденного дефекта значительно возрастает. В течение первых 11—12 дней после оплодотворения самые разные тератогенные воздействия могут убить эмбрион, привести к значительным изменениям хромосом или помешать имплантации зародыша в стенку матки. Однако тератогенные воздействия не могут стать причиной врожденных аномалий на этой стадии развития. Быстрее всего поврежденный зародыш будет спонтанно абортирован или погибнет. На этом этапе развития выделяются два критических периода: первый — гаметогенез, когда возможно формирование дефектных гамет, второй — период имплантации, когда может произойти аномальное развитие бластоцисты. Анализ этих периодов развития не вносит ясности в механизмы патологического органогенеза, что заставляет перенести внимание на события, связанные с развитием конкретных органов. Первое, что бросается в глаза, — это то, что критический период развития зародыша продолжается с первой по восьмую неделю после оплодотворения. В это время закладывается большинство аномалий, которые развиваются в значительные структурные дефекты новорожденных или мертворожденных плодов.

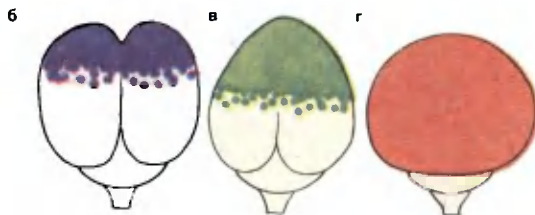
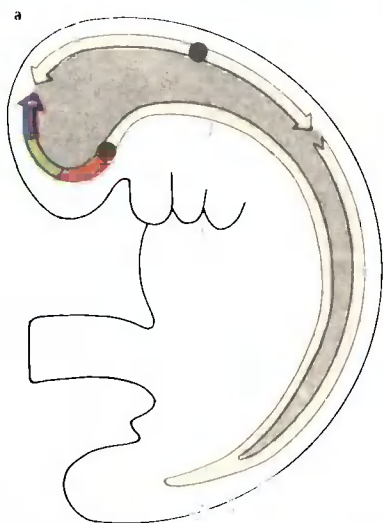
Наиболее значительные отклонения в нервной системе, приводящие к уродствам, возникают между второй и шестой неделями развития; для сердца этот период продолжается от середины третьей до середины шестой недели развития; для конечностей и глаз наиболее опасен отрезок времени между четвертой и восьмой неделями; для зубов, нёба и наружных половых органов этот период начинается в конце шестой недели и завершается к двенадцатой неделе; для уха период возникновения аномалий растя-



Эмбрион человека (18,5 дня после оплодотворения).



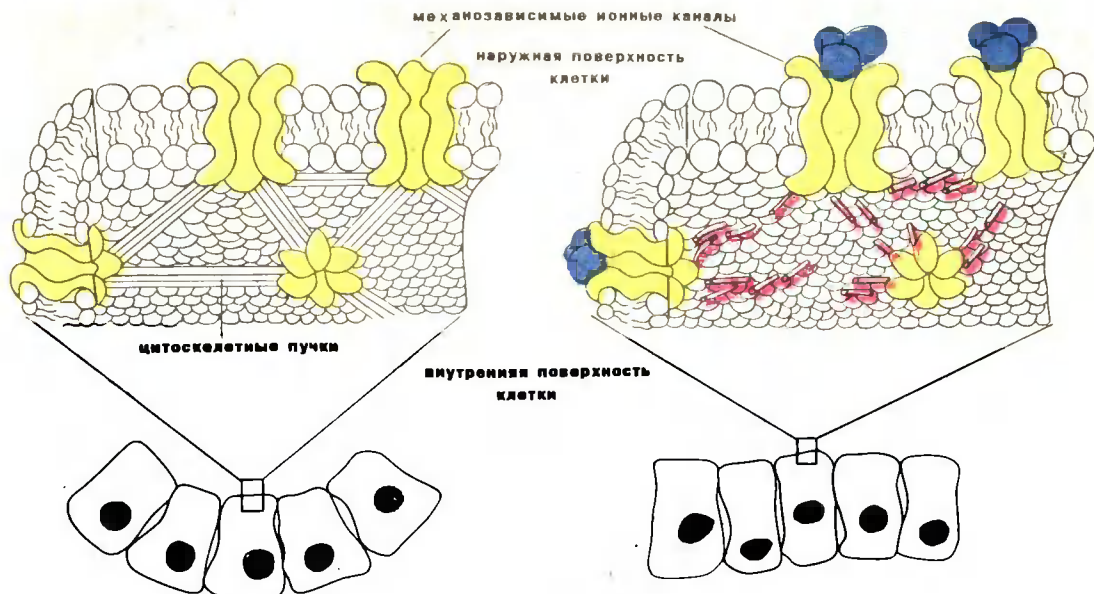
Эмбрион человека на 23-день после оплодотворения с дефектом развития центральной нервной системы, вызванным нарушением нейруляции.



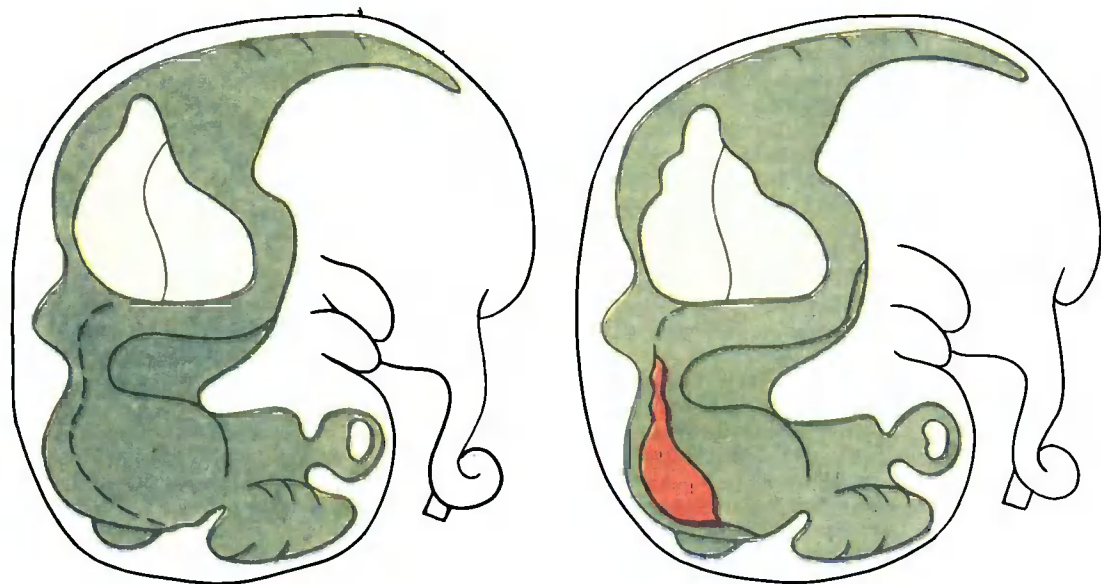
Различные формы голопроэнцефалии человека. Тип anomalies в этот период зависит от фазы нейруляции и продолжительности тератогенного воздействия. Топология нарушения соответствует по цвету типу anomalies, а — эмбрион человека, у которого с тр е л к а м и показаны три волны нейруляции; б — неполное разделение полушарий; в — частичное разделение полушарий; г — полное неразделение полушарий.

нут и продолжается с четвертой по двенадцатую неделю после оплодотворения. В это время возникают наиболее значительные морфологические отклонения в развитии. На более поздних этапах формируются небольшие отклонения анатомического характера или физиологические дефекты развивающегося органа. Anomalies мозга, глаз, наружных половых органов могут возникать и в другое время, но в отмеченные периоды зародыши наиболее уязвимы.

Что же происходит с клетками и тканями зародыша в период их наибольшей уязвимости к тератогенным дефектам? Почему они в определенный период утрачивают способность препятствовать внешним влияниям, а затем приобретают ее вновь? Ответы на эти вопросы можно получить, обратившись к нормальному развитию человека. Сопоставление времени возникновения пороков развития различных органов со сроками их морфологической дифференцировки показывает, что эти периоды одинаковы. Следовательно, совершенно ясно, что наиболее чувствительны к тератогенным воздействиям периоды раннего эмбрионального формообразования конкретного органа. Во время возникновения эмбриональной закладки органа, а затем и его анатомического обособления от остальных частей зародыша возникает крайне неустойчивое состояние тканей и клеток. Тератогенное воздействие в этот период обязательно приведет к нарушению развития, тогда как в



Схематическое изображение участка мембраны (вверху) и пласта эмбриональных нервных клеток. Слева — норма, справа — блокировка механозависимых ионных каналов и деполимеризация элементов цитоскелета, которые приводят к изменению механочувствительности клетки и аномальному изменению формы пласта клеток.



Схематическое изображение эмбриона человека на шестой неделе после оплодотворения. Слева — нормальный зародыш, справа — зародыш с незамкнутой трубкой на уровне среднего мозга. Цветом показана центральная нервная система и небольшая область аномалии.

другое время патологическая ситуация не возникнет. Почему же эмбриональное становление трехмерной структуры органов человека столь уязвимый процесс? Какие механизмы и закономерности действуют в период морфологического обособления зачатков органов?

В основе эмбрионального развития лежат межклеточные взаимодействия различной природы⁶. Наиболее существенными для процессов формообразования являются механогенетические межклеточные взаимодействия. Предпочтение механогенетическим взаимодействиям между клетками развивающегося зародыша отдано по нескольким причинам. В процессе становления эмбриональной формы развивающегося органа каждая клетка зачатка должна получать информацию об изменении ситуации в развивающейся структуре и постоянно корректировать свое поведение вплоть до активации дифференцировочных генов. На роль основного источника и носителя межклеточной информации могут претендовать активная диффузия морфогенетически активных веществ, внеклеточный матрикс и биомеханические взаимодействия между клетками. Автогенетические процессы, построенные на пошаговой реализации генома, и индукционные явления для динамической коррекции поведения клеток в активном формообразовании не годятся. Если бы шаговая или разветвленная программа существовала, то были бы невозможны эмбриональные регуляции, а гибель отдельной клетки приводила бы к недоразвитию отдельных частей органа или системы. Надо отметить, что естественная гибель эмбриональных клеток в развивающемся зародыше происходит постоянно. Погибшие клетки фагоцитируются своими соседями без каких-либо последствий для развивающихся органов. Если бы жесткая программа развития существовала, то гибель отдельной клетки вызвала бы невосполнимые изменения. Так же мало приемлемы и индукционные механизмы, которые определяют самые общие направления развития ткани или органа. По тем же причинам невозможно использовать в качестве носителей быстро меняющейся информации диффундирующие вещества или внеклеточный матрикс. Однако полностью исключить роль перечисленных механизмов нельзя. Они действуют при построении локальных морфологических систем организма в течение непродолжительных перио-

дов морфогенеза. Таким образом, наиболее вероятным механизмом, управляющим закономерным изменением эмбриональной формы зачатка органа или системы, может быть комплекс механогенетических взаимодействий между клетками зародыша. Каким же образом контролируется формообразование зародыша с помощью механогенетических взаимодействий и как может быть нарушена эта система эмбриональных регуляций?

Рассмотрим систему межклеточных взаимодействий на примере нервной системы при активном изменении формы нервной трубки. При нейруляции нейроэпителиальные клетки зачатка нервной системы последовательно изменяют свою форму из веретеновидной в колбовидную. Контроль за формой клеток и конфигурацией пласта осуществляется через механозависимые ионные каналы, ассоциированные с цитоскелетом и мембраной клетки. При изменении биомеханической ситуации в эмбриональном пласте механозависимые ионные каналы меняют свою проницаемость, а изменение ионного состава клетки считается как позиционный сигнал. Примером может служить окончание нейруляции, когда после замыкания нервной трубки нейроэпителиальные клетки перестают изменять свою форму⁷. Таким образом, межклеточные взаимодействия могут быть источником позиционной информации, которая достигает клеточного уровня через механозависимые ионные каналы. Полученная клеткой информация реализуется на поздних этапах развития в регионально-специфической экспрессии генов и направленной дифференцировке клеток конкретного органа.

Наличие саморегулирующегося и механозависимого периода раннего эмбрионального формообразования делает органогенез крайне неустойчивым. Именно саморегуляция ранних этапов формообразования, построенная по принципу: фенотип клетки — форма зачатка — механочувствительность — фенотип клетки, является наиболее критическим этапом развития. Действительно, стоит создать иную механическую ситуацию для группы клеток, заблокировать механозависимые ионные каналы или нарушить организацию цитоскелета, как закладка органа будет нарушена или изменена. Примером может служить передозировка препаратов типа тазепама, которые в экспериментальных условиях вызывают деполимеризацию цито-

⁶ Edelman G. M., Thiery J. P. The cell in contact. N. Y., 1985.

⁷ Савельев С. В. Парадокс формы мозга // Природа. 1992. № 3. С. 49—53.

скелета эмбриональных клеток. Изменение механической ситуации в пласте приведет к активации или блокировке механозависимых ионных каналов, что повлияет на рецепцию позиционного сигнала. Следствием нарушения позиционной информации в зачатке органа станет топологическое отклонение в экспрессии генов, управляющих дифференцировкой клеток, что в конечном итоге приведет к визуально наблюдаемым аномалиям.

В качестве примера рассмотрим механизмы возникновения различных форм голопроэнцефалии человека. Эта форма аномалии головного мозга характеризуется тем, что конечный мозг не разделен на полушария и имеет форму полусферы. В настоящее время выделяются три основных типа этой патологии: «алобарная», «семилобарная» и «лобарная». Для «алобарной» голопроэнцефалии характерны полное неразделение полушарий и шарообразная форма конечного мозга; для «семилобарной» типично частичное разделение полушарий, а для «лобарной» — почти полное разделение полушарий с небольшими зонами сращения в ростральной части медиальной поверхности мозга. Каждый из основных типов этой аномалии подразделяется на несколько групп, которые соответствуют особенностям вторичных лицевых дефектов, наблюдаемых у новорожденных⁸. Исследование механизмов развития этого порока показало, что голопроэнцефалия возникает в результате нарушения нейруляции в период с 21-го по 26-й день после оплодотворения.

Нервная трубка человека формируется в результате трех волн смыкания нервных валиков. Одна волна движется в каудальном (от лат. *cauda* — хвост) направлении и формирует задний и спинной мозг, другая движется рострально и определяет смыкание нервных валиков в районе среднего и промежуточного мозга, а третья волна, двигаясь навстречу второй, обеспечивает сворачивание нервной трубки в районе переднего мозга. Во время сворачивания нервной трубки нейроэпителиальные клетки обладают механочувствительностью, а сам эмбрион

наиболее уязвим для тератогенных воздействий. На этой стадии развития любой неспецифический агент, блокирующий или изменяющий проницаемость механозависимых ионных каналов или деполимеризующий цитоскелет клетки, может вызвать голопроэнцефалию. Ее конкретная форма будет зависеть только от возраста эмбриона и продолжительности действия тератогенного агента. Дефект, возникающий на 21—22-й день развития, приводит к полному неразделению полушарий — «алобарной» голопроэнцефалии. При патологической ситуации на 22—23-й день формируется частичное неразделение полушарий — «семилобарная» голопроэнцефалия, а на 23—25-й день может возникнуть «лобарный» тип патологии. Понятно, что признаки проявления этих типов аномалий будут разными, так как за 120 час. движения нейруляционной волны в этой зоне нервной трубки могут возникать дефекты, различающиеся как по размерам, так и по положению. Природа самого воздействия может быть весьма разнообразной. Почти все причины, приводящие к энцефалии, могут вызвать голопроэнцефалию во всех ее проявлениях. Наиболее важен тот факт, что самые разнообразные физические или химические агенты оказывают неспецифическое воздействие на один и тот же механизм формообразования, нарушение которого приводит к однотипным анатомическим последствиям — врожденным уродствам.

Важно подчеркнуть, что аномалии являются следствием однотипного ответа клеток и тканей зародыша на большинство тератогенных веществ или воздействий. Эмбрионы человека со значительными уродствами доживают до рождения благодаря защитным реакциям организма на тканевом уровне. Если бы компенсаторные реакции на уровне органогенеза отсутствовали, мы бы не смогли наблюдать большинства аномалий развития новорожденных. Они погибали бы на ранних этапах развития, лишая нас информации о механизмах возникновения врожденных патологий человека. Однако тема о причинах сохранения жизнеспособности аномальных зародышей требует специальной публикации.

⁸ Persaud T. V. N. Central nervous system and craniofacial malformations. N. Y., 1982. V. 7.

«Биосфера-2»

Марк Нельсон, председатель правления Института экотехники (Лондон, Великобритания), директор по прикладной экологии фирмы "Space Biospheres Ventures"—SBV (Орاكل, США), член команды «Биосферы-2»

Абигаиль Аллинг, директор исследовательского центра по морским экосистемам проекта «Биосфера-2», SBV, член команды

Тони Л. Берджесс, координатор программы лаборатории пустынь, Аризонский университет (Тусон, США)

Линда Ли, менеджер лаборатории наземных экосистем проекта «Биосфера-2», SBV, член команды

Тейбер Мак-Каллум, менеджер аналитической лаборатории проекта «Биосфера-2», SBV, член команды

Вильям Ф. Демпстер, главный разработчик системы, SBV

Ноберто Альварес-Ромо, директор информационного центра, SBV

Рой Л. Уолфорд, заведующий медицинской лабораторией проекта «Биосфера-2», SBV, член команды

Джон П. Аллен, директор отдела проектирования и разработки, SBV

ТОТ ФАКТ, что сейчас мы не можем построить совершенно изолированную экосистему, которая была бы надежна для долгого существования в космосе... есть поразительное доказательство нашей неосведомленности, неуважения и недостатка интереса к изучению жизненного равновесия, которое сохраняет жизнедеятельность нашей биосферы. Поэтому будущие усилия сконструировать жизнеобеспечивающую систему путем миниатюризации и определения минимальной экосистемы для человека есть цель, которая важна как для качества человеческой жизни на Земле, так и для успешного исследования других планет¹.

«Биосфера-2», названная так, чтобы подчеркнуть ее отличие от планетарной биосферы Земли, была построена частной компанией «Space Biospheres Ventures» (SBV), организованной в 1984 г. для изучения процессов и динамики экосистем, аналогичных глобальной биосфере². Кроме того, она была задумана также как предпринимательское дело для продажи оборудования изолированных систем жизнеобеспечения, систем обработки и проверки таких изделий, как, например, очистители воздуха. Общественный интерес показал, что экотуризм и образовательные материалы тоже стали доходной статьей. «Биосфера-2» отличается от предыдущих лабораторных экологических микро- и мезокосмов размерами, разнообразием экосистем и степенью изоляции от материального мира (обмен воздуха сейчас составляет около 6 % в год); открыта она для входа солнечной энергии, электричества, теплообмена и потока информации. Результаты первого эксперимента двухлетней изоляции, начавшегося в конце сентября 1991 г. показывают, что экосистемы «Биосфера-2» быстро совершенствуются и их работа под-

© Нельсон М. и др. Биосфера-2.

¹ C o o k e G. D. // *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia, 1971.

² Allen J. *Biosphere 2: The Human Experiment*. N. Y., 1991; Allen J., Nelson M. *Space Biospheres*. 2nd ed. Oracle, 1988.

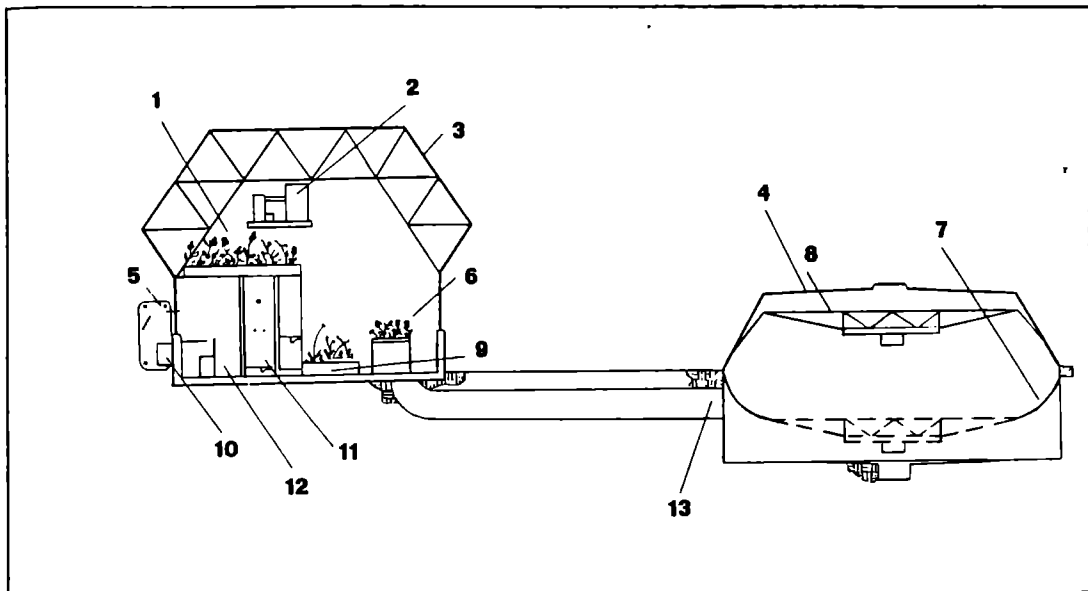


Схема тестового модуля «Биосфера-2». Основная площадь примерно 7×7 м, изменяемый в зависимости от положения камеры объем ~ 480 м³. 1 — растительность на крыше; 2 — аппарат для конденсации; 3 — вентиляционный блок; 4 — стереорамка с термически обработанной поверхностью; 5 — «легкое» с погодной защитой; 6 — вестибюль со скатым воздухом; 7 — растения — продуценты пищи и кислорода, использующие CO₂; 8 — эластомерная мембрана на сжатом воздухе; 9 — плавающее «легкое»; 10 — рециркуляционное болото; 11 — аналитические сенсоры и оборудование для сбора данных; 12 — душ, спуск воды и туалет, связанные с системой рециркуляции воды; 13 — отсеки для людей с кроватями, столами, компьютерами и видеоустройством; 13 — подземный туннель — «легкое» для связи тестового модуля с бассейном.

держивает существование большинства из представленных в ней видов.

ПЕРВЫЕ ИЗОЛИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

Первые установки закрытых экосистем, разработанные в 50-х и 60-х годах для применения в космических технологиях, были направлены на жизнеобеспечение человека и включали в себя либо водоросли и бактерии, либо агрокультуры, основанные на зеленых водорослях (*Chlorella vulgaris*). В 1961 г. Е. Шепелев (Институт медико-биологических проблем, Москва) впервые пережил однодневную изоляцию в системе жизнеобеспечения, соединенной с 30-литровым объемом хлореллы, который удовлетворял необходимые потребности в воздухе и воде³. Дж. Майерс (Техасский универ-

ситет) был среди первых американских экспериментов, кто разработал системы, включающие взаимодействие мышей и хлореллы⁴.

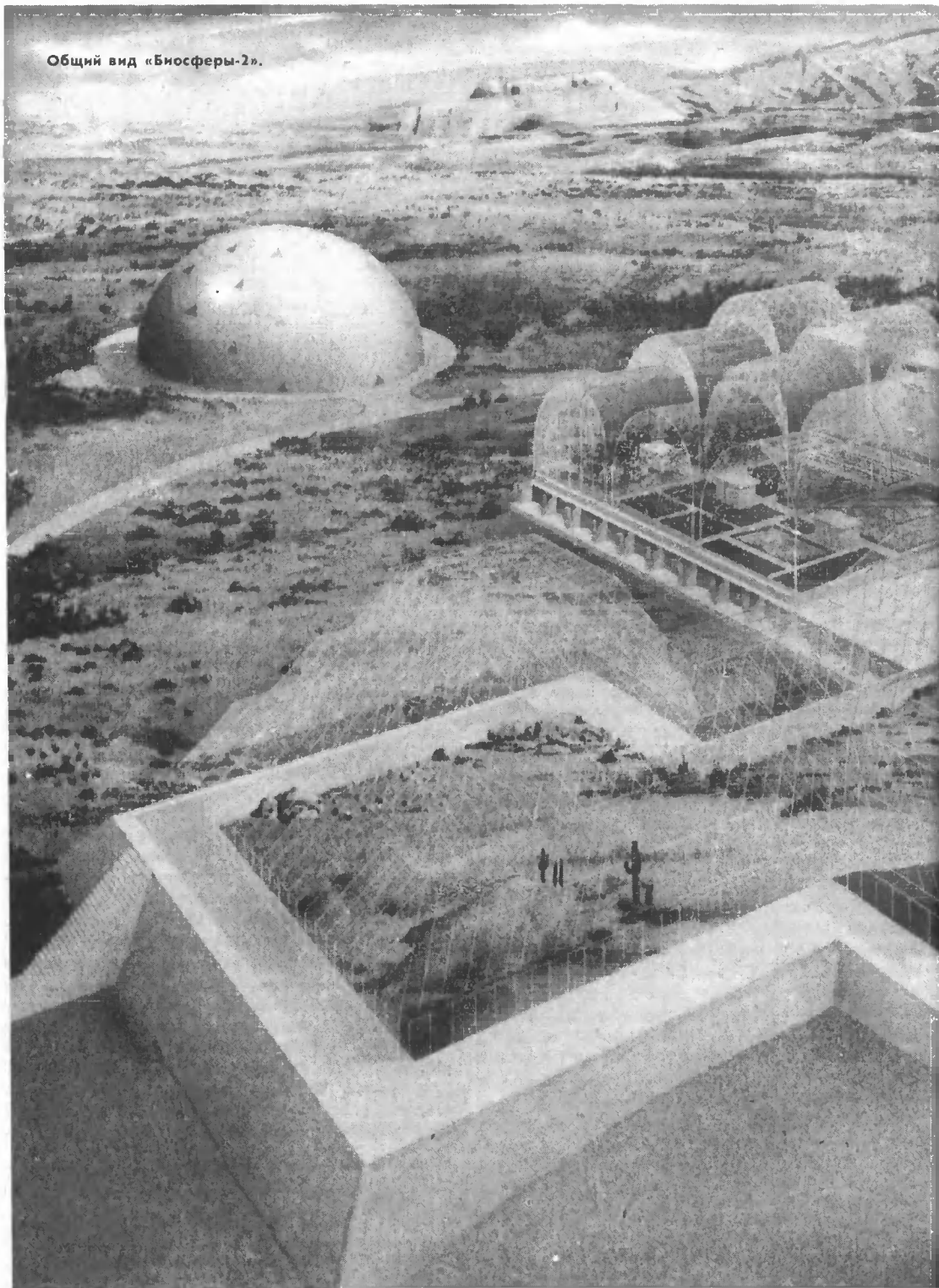
Лабораторные разработки закрытых экосистем начались с работы К. Флосом (Гавайский университет): 1—5-литровые флаги, наполненные океанской водой, песком, микробами, водорослями и воздухом, доказали, что жизнеспособность в них при достаточном метаболическом разнообразии и адекватном потоке энергии на момент изоляции сохраняется неопределенно долго⁵.

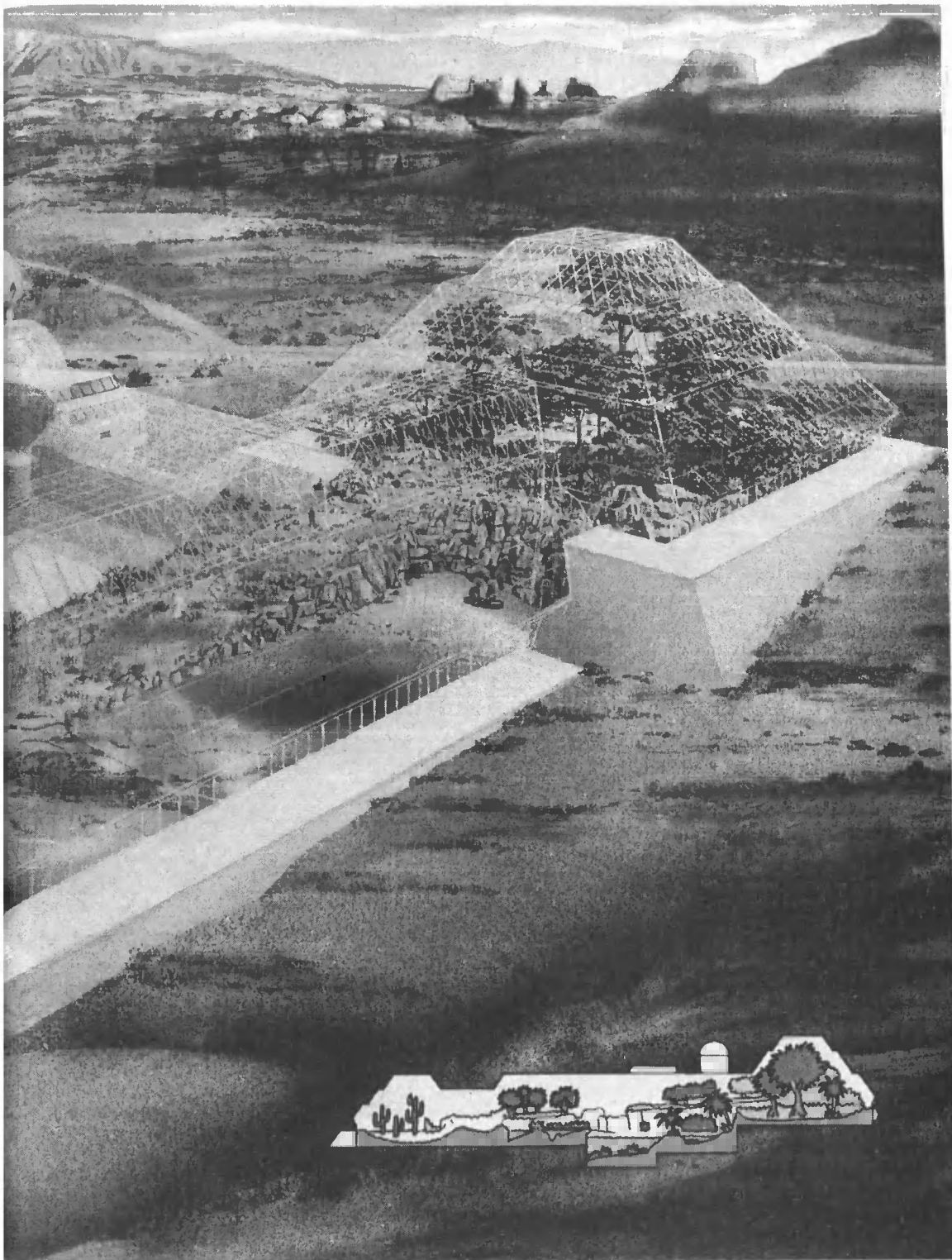
Работы российских ученых над водорослевыми системами продолжались в Институте медико-биологических проблем в Москве и в Институте биофизики в Красноярске: их рекорд (изоляция на 15 и 30 дней) был достигнут в конце 60-х — начале 70-х годов. Аналогичные результаты были получены и американскими исследователями. Но начальный энтузиазм и надежда на создание полностью регенерируемой системы, предусматривающей только один вид человека, поблекли, когда ученые в обеих странах не смогли получить более чем $1/8$ фунта в день хлореллы на лотках. Стало ясно, что для следующего шага необходимо включение высших растений

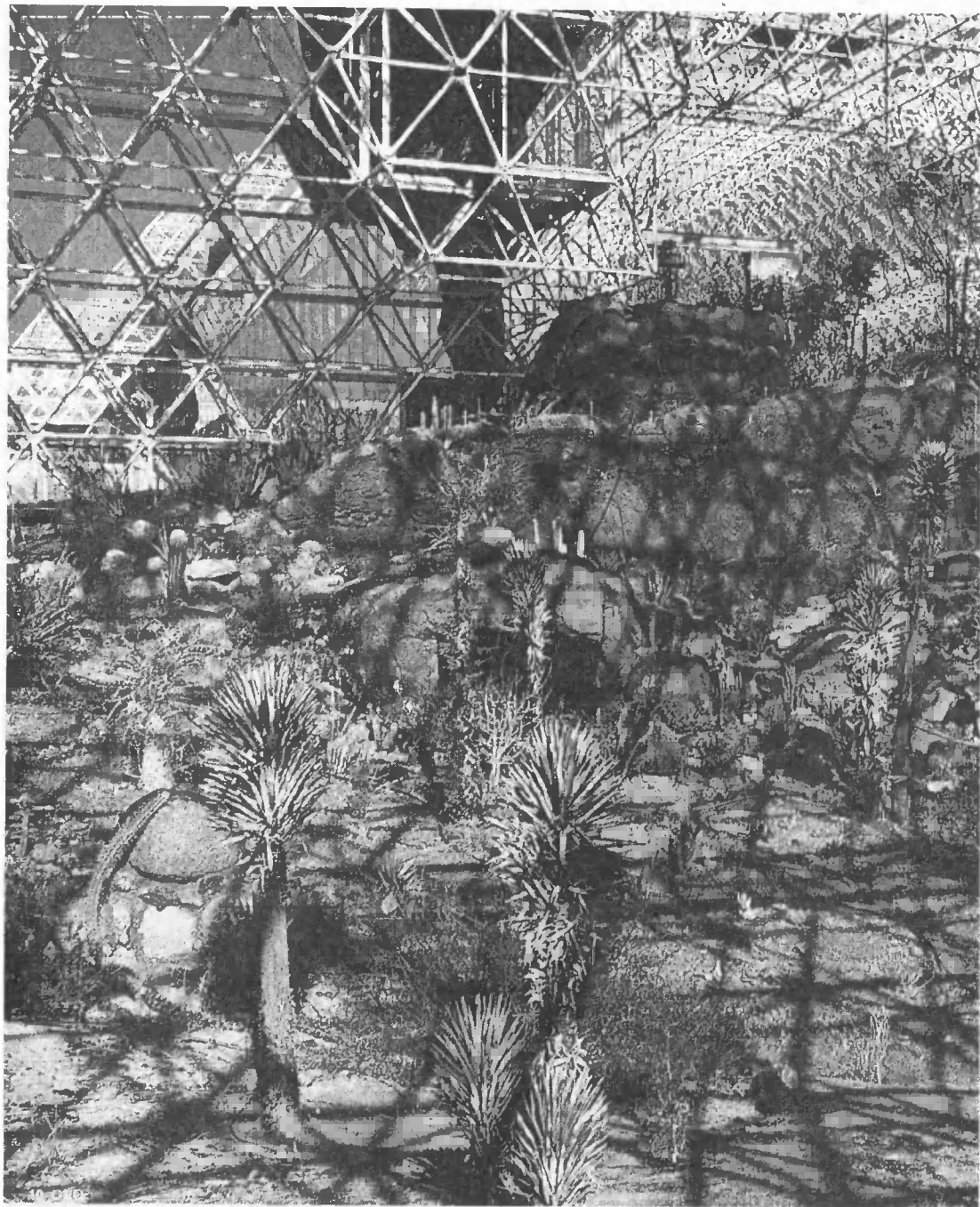
³ Shepelev Y. Y. Biological Life Support Systems in Foundations of Space Biology and Medicine. M., 1972.

⁴ Myers J. // American Biological Teacher. 1963. V. 25. P. 409—411.
⁵ Folsome C. E., Hanson J. A. The emergence of materially closed system ecology // Polinin N. (ed.). Ecosystem theory and application. John Wiley and Sons, Ltd., 1986. Ch. XII. P. 269—288.

Общий вид «Биосферы-2».







Фрагмент одного из пяти биомов «Биосферы-2» — модель саванн. В этой зоне собраны растения из Африки, Южной Америки и Австралии.

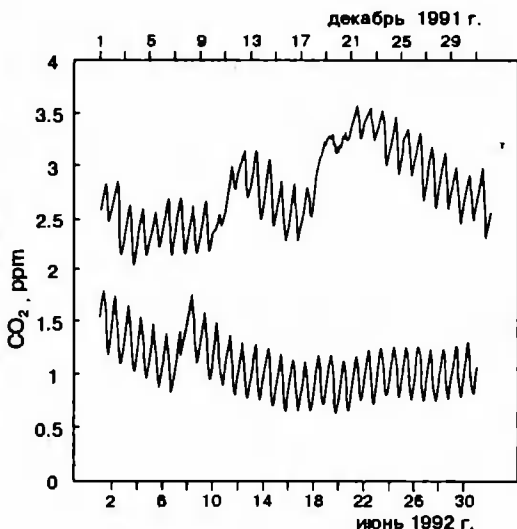


«Урожай» в сельскохозяйственной зоне.

(зерновые и овощные культуры) для питания человека в закрытых системах.

Тогда в Институте биофизики начался эксперимент «Биос-3», продолжавшийся шесть месяцев и проводившийся в объеме более 300 м³, разделенном на отсеки для водорослевых резервуаров, гидропонике и жилой отсек, включавший комнату для обработки пищи, медицинскую лабораторию и панель управления, кухню и столовую, а также отдельные комнаты для членов команды. На гидропонике при искусственном освещении выращивали салат, пшеницу, картофель, редис и свеклу, которые составляли около половины необходимого питания для экипажа из двух-трех человек. Воздух почти полностью регенерировался, хотя и использовались каталитические горелки для контроля скопления индикаторных газов. Круговорот воды обеспечивался путем ее испарения растениями и последующей конденсацией (для получения воды для питья и полива). Продукты жизнедеятельности человека, за исключением части мочи, выбрасывались за пределы системы, извне поставлялись некоторые продукты, включая сушеное мясо для восполнения белка. В целом, несмотря на некоторое обеднение кишечной флоры, здоровье команды «Биоса-3» было хорошим⁶.

⁶ Terskov I. A., Gitelson J. I., Kovrov B. G. et al. Closed System: Man-Higher Plants (Four Month Experiment). Translation of Nauka Press, Siberian Branch. Novosibirsk, NASA-TM-76452, 1979; Lebedev K. A., Petrov R. V. Immunological Problems of Closed Environments and Gnotobiology, JPRS 54331, National Technical Information Service, Springfield, Va., 1971.



Суточная динамика атмосферного CO₂ в декабре 1991 г. (вверху) и в июне 1992 г. Значительные суточные и сезонные потоки вызваны недостаточностью атмосферных и океанических буферов и большей концентрацией растительной и почвенных биот по сравнению с земной атмосферой. Облачные дни значительно влияют на ход CO₂, а дневные и ночные вариации так велики, что преобладание фотосинтеза днем резко снижает уровень CO₂, а ночью дыхание растений и почвы повышают его.

НАСА начало разработку систем жизнеобеспечения биологического типа наравне с русскими в конце 50-х годов. Переломным моментом в этих исследованиях стала конференция 1966 г., когда выяснилось, что полноценное жизнеобеспечение невозможно в системе, содержащей только один или два вида водорослей и бактерий. В 1978 г. НАСА восстановило программу по развитию систем биорегенерации, названную CELSS (Controlled Ecological Life Support-Systems — контролируемые экологические системы жизнеобеспечения). Значительная часть этой работы⁷ сконцентрирована на получении высокопродуктивных систем по производству биомассы и пищевой продукции, а также на разработке интенсивных гидропонных систем для выращивания пищевых культур,

⁷ Salisbury F., Bugbee B., Bubenheim D. Wheat Production in Controlled Environments // Controlled Ecological Life Support Systems / Ed. R. D. McElroy and D. T. Smerhoff // COSPAR Advances in Space Research. 1987. V. 7. N 4. P. 123—132; Bubenheim D. // Biological Life Support Systems / Ed. by M. Nelson and G. A. Soffen. Oracle, 1990. P. 53—59; McElroy R. D., Tremor J., Smerhoff D. T. et al. A Review of Recent Activities in the NASA CELSS program // Controlled Ecological Life Support Systems / Ed. R. D. McElroy and D. T. Smerhoff // COSPAR Advances in Space Research. 1987. V. 7. N 4. P. 53—58.

включая пшеницу, белый и сладкий картофель и соевые бобы.

В 1986 г. CELLS, используя опыт предыдущих исследований, начала новый проект для получения пищевой продукции, рециркуляции воды, контроля за атмосферными газами в камерах для производства биомассы. Вспомогательные лаборатории решали задачи по переработке отходов, приготовлению пищи и обработке суммарных данных.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ БИОСФЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

«Биосфера-2» отличается от других исследовательских программ тем, что включает в себя разнообразные компоненты не только для поддержания человеческой жизни, но и для создания устойчивых, сложных и саморазвивающихся экосистем. «Биосфера-2» соединяет в себе предыдущий опыт с подходом «сверху — вниз», стремящимся гарантировать самоорганизацию живых систем путем воспроизведения типичного спектра тропической среды обитания с соответствующим ей разнообразием жизненных форм и их метаболизма. Она предназначена для исследований по долговременному обитанию в космосе, особенно на Луне и Марсе, а также служит моделью для изучения земной экосистемы и биосферных процессов.

Для создания максимального многообразия в «Биосфере-2» предусмотрено множество микросообществ в пределах каждого типа экосистем, обеспечивающих их самоорганизацию и компенсацию неизвестных и потенциально больших первичных потерь. Соответствующие технологии контролируют температуру, водные и воздушные потоки и имитируют такие природные явления, как волны и дождь; но система не функционировала бы, если бы биота не справлялась с утилизацией потоков энергии для синтеза биомассы (включая пищевое сельскохозяйственное производство) и не обеспечивала бы замкнутость жизненно необходимых биогеохимических циклов.

Сама конструкция «Биосферы-2» представляет собой попытку внести гармонию в существование живых систем и поддерживающих их технологий, попытку объединения двух исторически сложившихся подходов — инженерного и экологического. В русской терминологии, начиная с В. И. Вернадского, эта концептуальная интеграция биосферы и техносферы человеком называется ноосферой.

ПОДГОТОВКА «БИОСФЕРЫ-2»

С начала действия проекта в 1984 г. научно-технические задачи разрабатывались на базе Биосферного центра исследования и развития (БЦИР) около г. ОРАКЛ (штат Аризона). Многие технологии, разработанные для «Биосферы-2», проверялись в испытательном модуле объемом 480 м³. Солнечный свет проникал туда через ячеистое стекло и стальную пространственную решетку суперконструкции, а стальная прокладка изолировала его от почвы. Для предотвращения напряжений в изолирующей конструкции вследствие разницы давления воздуховод срединял камеру («легкое»), объем которой изменялся за счет подвижной мембраны, поднимаемой и опускаемой при изменении давления внутреннего воздуха. Интродукция растений из тропических экосистем показала их хорошую адаптацию в небольших, прочно изолированных средах обитания. Скорость обмена воздуха в испытательном модуле не превышала 24 % в год. Начатые с 1988 г. в испытательном модуле эксперименты для получения полной биорегенерации воздуха и воды, переработки продуктов человеческой жизнедеятельности и производства пищи впервые вышли за пределы работы «Биоса-3»⁸.

Для разложения и удаления потенциальных газов-индикаторов была разработана система очистки воздуха, использующая почвенные пластовые реакторы. В них воздух проходит через почвенный слой, где действует множество почвенных микроорганизмов⁹. (На эту разработку получены патенты.) Весь объем воздуха «Биосферы-2» можно прокачать через почву менее чем за день, если концентрация контролируемых газов в атмосфере повышена¹⁰. Однако

⁸ Alling A., Leigh L., MacCallum T., Alvarez-Romo N. // *Biological Life Support Technologies* / Ed. by M. Nelson and G. A. Soffen. Oracle, 1990. P. 23—32.
Alling A., Nelson M., Leigh L. et al. // *Microcosms and Mesocosms in Scientific Research* / Ed. H. T. Odum and R. J. Beyers. N. Y., 1992; Nelson M., Leigh L., Alling A. et al. *Biosphere 2 Test Module: A Ground-Based Sunlight-Driven Prototype of a Closed Ecological System*. Paper MF 11.2.6. COSPAR XXVIII. Planetary Meeting, The Hague, Netherlands, 1990 // *Advances in Space Research*. 1991. V. 12. N 5; *Life Sciences and Space Research XXIV* (4), *Natural and Artificial Ecosystems* / Ed. by R. D. MacElroy, M. M. Averner, T. W. Tibbitts, B. B. Bugbee, G. Horneck and E. H. Dunlop. Pergamon Press, P. 151—158.

⁹ Hodges C., Frye R. *Soil Bed Reactor Work of the Environmental Research Lab of the University of Arizona in Support of the Biosphere 2 Project*. // *Biological Life Support Systems* / Ed. by M. Nelson and G. A. Soffen. Tucson and National Technical Information Service publication, NASACP-3094, 1990. P. 33—40.

необходимость такой операции не возникала за более чем 10 мес. жизнедеятельности «Биосферы-2». Посевные площади для «Биосферы-2» также были созданы на основе почвенных пластовых реакторов.

Отдельные пищевые культуры и сельскохозяйственные системы прошли проверку в БЦИР и в Исследовательской лаборатории окружающей среды (ИЛОС) Аризонского университета. Были разработаны методы комплексного биологического контроля за сельскохозяйственными вредителями и заболеваниями. Незначительная буферная способность «Биосферы-2» исключает использование токсичных пестицидов и гербицидов и требует, чтобы питательные вещества возвращались в почву для поддержания агропродуктивности¹¹.

Системы водных растений и микробные системы для переработки отходов, апробированных в течение 21 дня в испытательном модуле, продемонстрировали способность искусственных болот утилизировать отходы и выделять потенциальные химические загрязнители¹².

В автоматизированной системе постоянного контроля качества воды и воздуха используется ионная хроматография и техника атомной абсорбции для более глубокого анализа почв, растительных тканей, образцов воды и воздуха.

Пятиуровневая кибернетическая система («Система Нерв») автоматизирует большую часть технического взаимодействия с живыми системами и позволяет хранить и обрабатывать информацию примерно от 1900 источников, распределенных по «Биосфере-2», что потребовало построения компьютерного центра проекта.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В ходе проектирования (1984—1988 гг.) установилось тесное сотрудничество между экологами, инженерами и архитекторами;

требования экологии воплощались в конструкционные планы и технологии, разрабатываемые для гарантированного поддержания подходящей температуры, водных течений и т. д. Для отбора биологических видов проектировщики земных и морских систем предложили два различных подхода. Земная команда руководствовалась стратегией специально отобранных видов, например, оценивались как соответствие опылителей требованиям опыляемых растений, так и общая структура растительного покрова. В качестве критериев отбора для растительных сообществ были взяты: поддержание жизни обитателей «Биосферы-2», таксономическое разнообразие, спектры форм жизни, соответствие физических параметров возможностям системы, а также этноботаническая польза и эстетический интерес. Требования к пище животных определяли выбор растений. Так, для африканского галаго (*Galago garnettii*) нужны фрукты и стручки акаций, а для пчел — цветы сложноцветных. Поскольку для многих растительных видов требовалось несколько лет, чтобы достигнуть пика цветения, были введены быстрорастущие вспомогательные травы для скорейшего воспроизводства пищи сельскохозяйственным животным (в первоначальных фазах изоляции системы). Для создания биоразнообразия почву и растения, помещенные внутри «Биосферы-2», обогащали образцами природных почв, вод, микоризой, массовыми сборами природных растений и летающими насекомыми, привлекаемыми светом.

В моделях морских систем (болота, океаны и водотоки) «Биосферы-2» для разнообразия микробиоты предлагали использовать нетронутые «куски» из естественных экосистем в дополнение к коллекции отобранных видов. Например, болотный модуль объемом 1,5 м³ включает почву с растениями, доставленными в нетронutom виде из Флориды и представляющими собой кусок болотного биома. Стратегия, принятая при проектировании болот, предусматривала максимально возможное воспроизведение естественной среды обитания¹³. Это предполагало создание механических систем для генерации приливов, течений, волн, дождей, а также методов по контролю за градиентом солености и пищевым циклом.

По сельскохозяйственному законодательству штата Аризона считается необходимым использовать почвенные материалы

¹⁰ Nelson M. The Biotechnology of Space Biospheres in Fundamentals of Space Biology / Ed. by G. Malacinski. Japan Scientific Press, Springer Verlag, 1989;

¹¹ Leigh L., Fitzsimmons K., Norem M., Stumpf D. «An introduction to the Intensive Agriculture Biome of Biosphere II» 76—81 // Space Manufacturing 6: Nonterrestrial Resources, Biosciences and Space Engineering / Ed. B. Faughnan and G. Maryniak, AIAA, Washington D. C., 1987.

¹² Hammer D. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Municipal, Industrial and Agricultural, Lewis Publishers, 1989; Wolverton B. C. Aquatic Plants and Wastewater Treatment (An Overview) chapter for Proceeding of a Conference on Research and Applications of Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery. Orlando, Florida, 1986;

¹³ Finn M., Adey W. H. Mesocosms: Encapsulated Ecosystems on Display, Sea Technology, 1991.

из доступных в пределах южной части этого штата. Отобранные почвенные горизонты с подходящими физическими и химическими характеристиками устанавливали на глубину до 5 м, чтобы соответствовать корневым зонам различных экосистем во время роста. Для морских систем использовали местный известняк как подстилающий материал для болотных и рифовых систем, а для создания необходимого химического состава — дополнительно арагонитовый песок с Багамских о-вов, рифовые породы, арагонитовые раковины двусторчатых моллюсков, устричные раковины и кварцевый песок. Полагая, что из-за усложнения трофических отношений после изоляции возможны некоторые потери видов, сообщества изначально были перенаселены растительными видами, чтобы обеспечить естественный отбор и компенсировать вымирание. Для контроля за изменениями растительных сообществ каждый многолетний биом (биоценоз) картировали и измеряли в диаметре кроны перед закрытием. Образцы периодически заново измеряют, а конечное обследование планируется в сентябре 1993 г. после двухлетнего закрытого периода.

ИЗМЕНЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ ПОСЛЕ ИЗОЛЯЦИИ

Конструкция «Биосферы-2» исключает обмен веществом с внешней атмосферой и подстилающей коренной почвой. Но энергетически установка открыта: солнечный свет проникает сквозь стеклянные рамы, электропитание дополняет теплообмен между нагретой и охлажденной водой, что позволяет регулировать внутреннюю температуру. Для обмена данными и информацией система связана с внешним миром посредством компьютерной связи, телефона, видео и телевидения — площадь 1,28 га и объем около 180 тыс. м³. (табл. 1) Сверху такая установка изолирована многослойным стеклом, укрепленным на специальной раме, снизу — специальными щитами из нержавеющей стали. К основному модулю подсоединены две камеры с меняющимся объемом («легкие»). Эксперименты, проведенные при различном давлении (сентябрь 1991 г. — январь 1992 г.), помогли установить связь между объемом утечки и давлением. Экстраполяция этих данных позволила оценить объем утечек — 6 % в год при соблюдении рабочего давления. Дополнительные измерения подтвердили, что уровень утечек не превышает этого объема, а может быть и

значительно ниже. В течение всего эксперимента потеряно около 10 % воздуха и столько же одновременно закачано в декабре 1991 г. В предыдущих системах (как «Биос-3» и Breadboard Facility) утечки составляли 1—10 % в день¹⁴.

Жизненные системы, размещенные в двух крыльях «Биосферы-2», отделены от системы циркуляции воды и воздуха специальными экранами, чтобы летающие насекомые и другие животные не смогли перемещаться от крыла антропогенного биома (сельскохозяйственный и жилой комплексы) к крылу биомов дикой природы (влажные тропические леса, саванна, пустыня, болота и океан). Как и биосфера Земли, «Биосфера-2» состоит из различных биоценозов с разными почвами, климатическими режимами. (Градицию климата от тропического до субтропического моделируют пять площадок в восточном крыле.)

Тропические влажные леса с нетропическими, преимущественно амазонскими, видами замыкают собой влажную часть этой климатической последовательности, включающей влажные тропические леса, затопляемые равнины (поймы), ручей и влажные леса низменностей. Вдоль трех стеклянных стен влажного тропического леса плотная масса растений создает «имбирный пояс», защищающий внутреннее пространство этого леса от сильного бокового солнечного света; посадки бамбука между лесом и океаном снижают проникновение содержащих морскую соль аэрозолей. Влажный тропический лес низменных областей представлен быстрорастущими светолюбивыми деревьями цекропия (*Cecropia peltata*), лецена (*Leuceana glauca*), моринга (*Moringa oleifera*). Возможно, эти виды со временем вытеснят типичные для зрелых влажных тропических лесов медленно растущие деревья, такие как красное дерево, каучуконосные деревья, древовидные папоротники и пальмы.

Весь влажный тропический лес «Биосферы-2» включает более 300 видов высших растений. Ожидается, что биомасса увеличится на 90 % от первоначальной при достижении ими зрелости. За несколько месяцев после посадки (с ноября 1990 г. до июля 1991 г.) биомасса уже увеличилась почти на 50 %¹⁵. С момента изоляции структура

¹⁴ Knott W. V. The CELSS Breadboard Project: Plant Production, Biological Life Support Systems / Ed. by M. Nelson and G. A. Soffen. Tucson and National Technical Information Service publication, NASACP-3094, 1990. P. 47—52.

¹⁵ Petersen J., Haberstock A., Siccama T. et al. Frontiers in Synthetic Ecology: The Making of Biosphere 2 // Restoration and Management Notes, 1992.

Таблица
Габариты «Биосферы-2»

Секция	Габариты, м			Площадь, м ²	Объем, м ³		
	С-Ю	В-З	высота		почва	вода	воздух
Сельско-хозяйственная	41	54	24	2000	2720	60	35220
Жилая	22	74	23	1000	2	1	10997
Влажный тропический лес	44	44	28	2000	6000	100	28900
Саванна/океан	84	30	27	2500	4000	3400	41600
Пустыня	37	37	23	1400	4000	400	17600
Западное «легкое»	48	48	15	1800	0	0	15000
Южное «легкое»	48	48	15	1800	0	750	15000

лесного полога быстро развивалась, и некоторые экземпляры *Leucaena* выросли до 12–18 м; их приходится прищипывать, чтобы они не прикасались к раме. Иногда деревья гибли, и тогда их «соседи», страдавшие от недостатка света, начинали расти быстрее, как это случается в естественном тропическом лесу. Со временем можно будет проследить полную последовательность смены видов. «Имбирный пояс» развивается чрезвычайно быстро, успешно выполняя свою роль светозащитного экрана. Подлесок засажен достаточно густо, чтобы избежать деградации почвы, а также потери растительного покрова при строительстве.

Саванна, занимающая центральную часть наземного коридора, представлена видами из Австралии, Южной и Северной Америки (Флорида), Африки. Биоценозы включают в себя саванные леса с африканскими акациями, два сезонно заполняемых пруда («биллабонги»), небольшой ручей (модель ручья Эверглейд во Флориде) и травянистую саванну с 35 видами злаков, а также бобовыми и кустарниками. Главное травоядное животное здесь — пантеровая черепаха (*Geochelone pardalis*).

Экотон (переход от одной экосистемы к другой), смоделированный по колючим кустарниковым зарослям Соноры (Мексика) и Мадагаскара, отделяет саванну от пустыни. С момента закрытия разрослись некоторые злаки с ползущими побегами, особенно *Brachiaria mutica*, *Chlorus guyana* и *Paspalum conjugatum*, в то время как *P. urvillei* распространялась семенами. Эти растения относятся к группе C₄¹⁶; их нара-

стающее влияние в «Биосфере-2» в течение первых 10 месяцев противоречит предварительным оценкам. Однако, в саванне завершается период спячки, и поэтому общее значение годового режима еще невозможно анализировать.

Участок прибрежных пустынь, смоделированный по району Вискано в нижней Калифорнии и аналогичным климатическим условиям на других континентах, состоит из низменности, песчаной дюны, гранитных валунов и склонов, глинистого участка и солончаков. Растительный покров образуют ксероморфные древесно-кустарниковые жизненные формы типа *Fouquieria columnaris*, кактусы (*Pachycereus pringlei*), юкки (*Yucca valida*), а также опунции (*Opuntia moleste*, *O. prolifera*), агавы (*Agave* spp., *Larrea tridentata*) и лаванда (*Lavandula pubescens*). Пустыни «Биосферы-2» представляют собой сообщество, переходное между открытой кустарниковой пустыней с широким спектром жизненных форм и более густыми и однородными прибрежными кустарниковыми сообществами, по своему виду близкие к экосистеме, которая образуется между кустарниковой пустыней и прибрежной суккуленто-кустарниковой зоной¹⁷. Со времени изоляции на некоторых участках сформировались плотные злаковые покровы, подавляющие более мелкие растения, особенно суккуленты; образовалась растительность, сходная с полынно-кустарниковой прибрежной, засушливо-листопадной¹⁸. Подобные изменения связаны со свободным активным ростом биоты в течение пяти месяцев (с ноября 1991 г. до конца марта

¹⁶ В некоторых растениях (кукуруза, сахарный тростник и др.) первоначальное превращение углерода идет не трехуглеродное, а через четырехуглеродные соединения. — Прим. ред.

¹⁷ Turner R. M., Brown D. E. Sonoran desertscrub. *Desert Plants* 4, 1982. P. 181—221.

¹⁸ Zonary J. *Plant Life of Palestine*. N. Y., 1962.

1992 г.), благодаря чему снизилась концентрация CO_2 в атмосфере в первую зиму. В отличие от других частей пустынной биоты песчаная дюна интенсивно зарастала, покрывалась покровом многолетних злаков, в котором доминировали *Eragrostis lehmanniana* и *Sporobolus contractus*. Это подтверждает общую тенденцию зарастания песчаных почв многолетними травами в засушливых климатах¹⁹.

В солоноводных и пресных болотах, смоделированных по флоридской области Эверглейд, представлено шесть разновидностей болот от пресных до соленых с нарастающей степенью солености. Пресноводные болота включают рогоз (*Typha* spp.) и другие растения с высокой надводной частью (*Canna* spp.); солоноводные *Sonchus erectus* (сем. *Combretaceae*) характеризуются преобладанием злаков рода *Spartina* и крабов ука (*Uca* spp.); участок черных мангровых зарослей с авиценнией (*Avicennia germinans*); участок устричной отмели и красный мангровый участок с ризофорой (*Rhizophora mangle*), который примыкает к океанической экосистеме. В быстрорастущих зарослях некоторые растения превышают 5 м, обильная поросль появилась после закрытия. Из-за недостатка освещения (через стекло проникает лишь 40—50 % света) специального затенения и слабых ветров (терморегулирующие системы производят только легкие колебания воздуха) мангровые деревья и некоторые растения вытянулись и стали бледными.

Экосистема кораллового рифа, смоделированная по биоте кораллового рифа Карибского моря, состоит из четырех участков: пляжа с кокосовыми пальмами (*Cocos nucifera*) и сообществом травянистых галофитов; мелководной лагуны с «морской травой» (*Thalassia testudinum*, сем. *Hydrjcyariaceae*), гигантскими моллюсками (*Stombus gigas*) и краснополосными креветками (*Stenopus hispidus*); кораллового рифа, куда вошли экзemplары, взятые из рифа у побережья п-ва Юкатан, и с Багамских о-вов с их мягкими и жесткими кораллами, включая морской веер (*Gorogonia* spp.) и кораллы (*Diploria* spp.); а также участка океана глубиной 8 м с песчаным дном. В системе около 40 видов кораллов и столько же видов рыб. После изоляции

погиб только один вид коралла, бывший в экосистеме единственным экзemplаром. У некоторых кораллов с начала весны 1992 г. отмечалось и отмирание тканей и случаи заражения белой полосчатостью.

Позвоночные в «Биосфере-2» включают полуобезьяну галаго (*Galago garnettii*) из Африки, сцинков *Tiliqua scindoides*, *Crotalia zebrafra* и около дюжины видов лягушек и ящериц. Кроме того, «Биосфера-2», насчитывает около 150 видов насекомых, включая тех, которые выросли в ней. После изоляции резко сократились популяции летающих насекомых, и исчезли два вида птиц — колибри *Amazilia amazilia* и вьюрки *Uraeginthus bengalus*. Родился один галаго, и из-за драк между главной и подчиненной самками появилась необходимость поселить младшую в клетке, чтобы избежать серьезных травм.

Жизнеспособность мелких растений и популяций животных изучается по нескольким генетическим направлениям. «Биосфера-2» позволяет детально исследовать «эффект основателя» на небольших популяциях.

Западное крыло «Биосферы-2» включает два биота с господствующим влиянием человека, без участия которого биологическое равновесие снизилось бы в ходе самой первой стадии работ. Первый — это сельскохозяйственная зона (овощные и зерновые системы, включая рисовые чеки, в которых также разводится рыба, кормовые растения, тропический сад, а также цыплята, козы, свиньи), которая полностью обеспечивает питание команды из восьми человек, и система утилизации продуктов жизнедеятельности людей и домашних животных и несъедобной биомассы. В сельскохозяйственных системах нет биоцидов, зато имеется множество полезных насекомых, а также безопасных опрыскивателей (мыло, сера, культуры *Bacillus thuringiensis*) для борьбы с сельскохозяйственными вредителями и болезнями. По мнению исследователей, почвенная сельскохозяйственная система в «Биосфере-2» сводит к минимуму количество расходуемых материалов, обеспечит более эффективный возврат питательных веществ, чем в гидропонной системе, и будет работать как почвенный реактор, регулирующий накопление газов-индикаторов. К моменту изоляции команды имелся начальный трехмесячный запас продуктов, выращенных ранее в «Биосфере-2». Ставилась задача гарантировать питание команды в течение первых двух лет изоляции и оставить такой же запас продуктов следующей

¹⁹ Shmida A., Burgess T. L. Plant growth form strategies and vegetative types in arid environments // N. J. A. Werger, van der Aart P. J. M., H. J. During and J. A. Verhoeven (eds). Plant Form and Vegetation Structure, S. P. Academic Publ., The Hague, Netherlands, 1988. P. 211—241.

команде. Продукты жизнедеятельности животных и несъедобные части урожая компостировались. Сточные воды, переработанные водными растениями из системы лагун, использовали для полива посевов. Отдельная система, конденсирующая атмосферную влагу, поставляла питьевую воду.

С начала эксперимента сельскохозяйственная система обеспечивала команду из восьми человек необходимыми минеральными компонентами. Ограниченная по калорийности диета (около 2 ккал в день в среднем в течение первых 10 мес. с постепенным увеличением до 2,2 ккал к настоящему времени) впервые позволила исследовать условия низкокалорийного режима, который до сих пор интенсивно изучался на лабораторных животных²⁰. Среди экипажа отмечалось снижение уровня холестерина крови (в среднем со 195 до 125) и артериального давления, числа лейкоцитов и другие физиологические изменения, которые до этого наблюдались в опытах на мышах.

К сельскохозяйственной территории примыкает второй биом — «микроргород» с жилыми и рабочими территориями для команды. Живые системы получают энергию из рассеянного солнечного света. Технические системы, включая управляющие температурным режимом (с учетом толерантности различных биомов температурные параметры находятся в пределах 15—35 °C), потребляют энергию от внешних электрогенераторов, использующих только природный газ. Подогревая, охлажденная или остывшая за счет испарения вода поступает в изолированные трубы, образующие систему петель; за счет теплообмена с воздухом в специальных устройствах соблюдается определенный температурный режим²¹. Испарительные водные башни снаружи «Биосферы-2» рассеивают избыточное тепло. Воздушный поток нагретого или охлажденного воздуха, проходящий сквозь экосистемы структуры со скоростью до 8 км/ч, позволяет регулировать температуру и осуществлять такие экологические функции, как опыление ветром.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ

В небольших изолированных экологических системах скорости биогеохимических циклов намного увеличиваются, поскольку там отсутствуют большие резервуары-буферы, вовлеченные в земную биосферу, и соотношение органического материала к неорганическому субстрату много больше. В «Биосфере-2» средняя длительность цикла атмосферного CO₂ составляет около четырех дней, в то время как в земной атмосфере она равна трем годам²². Чтобы лучше это понять, нужно упомянуть, что при концентрации атмосферного CO₂ 1500 частей на 1 млн. в «Биосфере-2» содержится около 100 кг углерода. Это замедляет прирост углерода, заключенного в биомассе, и органического углерода в почвах. В «Биосфере-2» соотношение живой биомассы и атмосферного углерода составляет соотношение 100:1, в то время как земное — 1:1. Соотношение органического углерода в почвах «Биосферы-2» с атмосферным — 5000:1, а земной биосферы оно 2:1. Расчеты и моделирование динамики этих процессов, а также опыт с атмосферным круговоротом в тестовом модуле «Биосферы-2» позволили создателям проекта предсказать сильные суточные и сезонные колебания в содержании CO₂. Суточный ход CO₂ может достигать 700—800 частей на 1 млн., хотя обычно он составляет 500—600, а иногда и ниже, поскольку в светлое время суток в системе жизнеобеспечения идет активный фотосинтез, а ночью преобладают газообменные процессы.

Для поддержания уровня CO₂ внутри «Биосферы-2» в пределах, допустимых для экосистем и здоровья людей, до сих пор используют несколько путей: рециркуляцию химическую систему и осадитель CO₂, регулировку экосистемы в период роста, а также океаническую воду в качестве буфера. Предполагали, что в течение первых лет деятельности «Биосферы-2» это будет самой большой проблемой, поскольку объем растительной биомассы со временем увеличится в три раза, и дыхание новых почв будет наиболее интенсивным в начале закрытия «Биосферы-2». В помощь буферной защите системы в зимние малосветовые месяцы первых лет, пока биомасса в «Биосфере-2» возрастает, была встроена система рециклирования CO₂. Авария печи внутри «Биосферы-2» не позволила выпол-

²⁰ Weindrich R., Walford R. L. The Retardation of Aging and Disease by Dietary Restriction. Charles C. Thomas, N. Y., 1988.

²¹ Dempster W. F. Biosphere II: Design of a Closed Manned Terrestrial Ecosystem, SAE Technical Paper Series 881096, 18th Intersociety Conference on Environmental Systems, 1988; Dempster W. F. «Biosphere II: Technical Overview of Manned Closed Ecological System», SAE, 19th Intersociety Conference on Environmental Systems, San Diego, 1989.

²² Schlesinger W. H. Biogeochemistry: An analysis of global change. N. Y., 1991.

нить CO_2 в атмосфере за счет нагревания известняка до 950°C (т. е. до разложения CaCO_3 на CaO и CO_2). В течение первых осени-зимы (октябрь 1991 г. — январь 1992 г.) с помощью этой системы было осаждено в виде CaCO_3 53880 Мо CO_2 (равное 945 частям на 1 млн.). Объяснить уменьшение атмосферного кислорода на 1 % можно окислением органического углерода и последующим осаждением в карбонатах. С другой стороны, закачка дополнительных 10 % воздуха извне в декабре 1991 г. для компенсации утечек не вызвала больших последствий — временное снижение уровня CO_2 на 170 частей на 1 млн. составило около четверти нормального суточного хода.

«Биосфера-2» была первоначально спроектирована на активность саванны весной-летом и на активность пустыни зимой. Биом пустыни был спроектирован так, чтобы пик роста приходился на самые холодные месяцы и тем самым уменьшался возможный выброс CO_2 из саванны. Главная цель такого эксперимента — понять, как растительность влияет на атмосферные закономерности, хотя наблюдение за корреляцией жизнедеятельности растительных сообществ с температурой и увлажненностью почвы — само по себе важная исследовательская задача. В первую зиму саванна сохраняла активность, а пустыня проснулась от спячки раньше, чем возросло содержание CO_2 . Чтобы уменьшить дыхание почвы и растений до минимума, ночные температуры были снижены, а для ускорения роста травы саванн подрезаны болотные рогозы и «рыжие пояса» растений в лесах. Полученную биомассу складировали: нужно было замедлить распад, на который расходуется O_2 . В агрономическом районе с ноября по январь производство компоста было приостановлено, чтобы уменьшить выделяемое им CO_2 , и в подлеске дополнительно высаживали растения для лучшего его развития.

Другой район возможного повышения содержания CO_2 — океанический коралловый риф. Поскольку атмосферный CO_2 приходит в равновесие с растворенным в океанской воде, то ожидалось, что увеличение CO_2 уменьшит кислотность морской воды. Для ослабления притока CO_2 в океан периодически с момента закрытия производят дополнительные количества карбоната и бикарбоната.

Динамика кислорода преподносит неожиданности. С начала изоляции содержание O_2 уменьшалось от уровня земного содержания, равного 20,9 %, до 16,4 %

(конец июля 1992 г.). Особенно заметно это наблюдалось в течение первых четырех месяцев после закрытия. К концу января 1992 г. содержание кислорода достигало 18 %. С конца апреля 1992 г. уменьшение количества O_2 убывало довольно линейно со скоростью 0,25—0,3 % в месяц.

«Биосфера-2» позволяет моделировать сложные биогеохимические циклы и проверять их экспериментально²³.

«Биосфера-2» также дает возможность точно измерять обмен веществ в сложных экосистемах за продолжительный период. Предыдущие определения метаболизма земных экосистем обычно представляли собой кратковременные измерения, проводимые в небольших частях экосистем. В настоящее время моделируется углеродный цикл. Исследования трофических циклов (азот, фосфор, сера и т. д.) будут добавлены к системе в ходе развития «Биосферы-2».

НОВЫЙ ТИП ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Исследовательские возможности «Биосферы-2», как и других подобных конструкций, спроектированные для работы в течение 100 лет, довольно значительны. Ускоренный цикл элементов в «Биосфере-2» означает, что в пределах календарного года там протекает много больше циклов, чем в глобальной окружающей среде: например, сотни циклов CO_2 , десятки водных циклов. В экспериментах в тестовом модуле определяли соотношение биогеохимических резервуаров, исследовали эффекты почвенных нарушений, адаптацию человека и растений к пониженному освещению и повышению содержания CO_2 , динамику концентрации газов.

Изучение компонентов микробиомов «Биосферы-2» расширит знания о функционировании экосистем, экологических восстановительных стратегиях, биологической динамике атмосферных газов, таких как метан и CO_2 , биологическом значении изоляции от ультрафиолетового излучения, реакции экосистем на отличный от естественного для них световой режим и жизнедеятельности небольших растительных и животных популяций. Агросистема «Биосферы-2» может найти широкое применение в тропических развивающихся странах, где

²³ The Major Biogeochemical Cycles and Their Interactions / Eds. B. Bolin., R. B. Cook. N. Y., 1983.

масса проблем с продовольствием и одновременно с переработкой отходов жизнедеятельности человеческих популяций, нет средств на современную агрономию. Детальное изучение посевной техники и систем, перерабатывающих отходы и очищающих воздух, биологических средств борьбы с вредителями особенно своевременно в свете переосмысления систем «альтернативной агрономии».

Биомы, называемые по русской традиции биогеоценозами, играют ключевую роль в структурной организации биосферы. В «Биосфере-2» можно изучать взаимоотношения биомных областей и отношения разнообразия к стабильности и упругости экосистем, а также изменения видовой демографии в наземной и водной экосистемах в ответ на пертурбации окружающей среды.

«Биосфера-2» — это, по существу, новый тип исследовательского инструмента. Такие искусственные биосферы открывают уникальные возможности для понимания фундаментальных процессов нашей земной биосферы. Эти возможности включают прослеживание в главных деталях динамики

земных и водных экосистем, биотического взаимодействия с атмосферой, оценку человеческого внедрения в комплексные экологии и развитие технологий, сравнимых с поддерживающими биосферу. Изучение таких биосферных систем дает уникальный материал для оценки их саморегулирующих функций.

Хотя искусственные биосферы, такие как «Биосфера-2», отличаются в значительной мере от глобальных систем, но интенсивное изучение их пищевых циклов помогает понять ключевые механизмы нашей глобальной экологии. Поскольку земная биосфера уникальна и нет других природных биосфер для сравнительного изучения, синтетические биосферы открывают перспективу для «сравнительной биосферики». Эти исследования должны углубить наши знания о природе нашей глобальной биосферы подобно тому, как сравнительная планетология формирует наши знания о Земле как планете.

Перевод с английского
А. А. Яншина

НОВОСТИ НАУКИ

Экология

Куда девается дорожная соль?

Во многих странах с холодным климатом во избежание опасного оледенения дороги часто посыпают солью. Считалось, что весеннее таяние снегов, а затем дожди смывают соль и в достаточной мере разбавляют ее концентрацию. К иным выводам пришел канадский гидролог К. Хоуард (K. Howard), выступивший в декабре 1992 г. на конференции Американского геологического общества.

Объектом его изучения были автодороги в районе Торонто (Канада). В период между 1989 и 1991 гг. он систематически измерял содержание хлора в здешнем ручье Хайленд-

Крик, площадь водосбора которого 104 км². Используя данные о расходе воды в ручье и официальные сведения о количестве соли, пошедшей на обработку его окрестных дорог, он установил, что даже к ноябрю следующего года лишь около 45 % соли предыдущего года было смыто в ручей, а остальное количество оставалось в грунтовых водах.

Посыпание дорог солью в широких масштабах вблизи Торонто началось 20 лет назад. В результате содержание ионов хлора в грунтовых водах этого района достигло примерно 100 мг/л (в сельской местности — лишь около 10 мг/л, и можно полагать, что рядом с Торонто 50 лет назад оно было таким же). Сквозь грунт соль просачивается с водой довольно медленно.

Вблизи особенно сильно

«посоленных» дорог концентрация ионов хлора местами достигала 14 г/л, что уже катастрофично для растительности. Хоуард считает, что нынешнее содержание ионов хлора в грунтовых водах будет еще возрастать по мере диффузии соли. Построенная им математическая модель показывает, что после 30—40 лет применения соли для обработки дорожных покрытий концентрация хлора установится на уровне более 0,4 г/л в удалении от дорог и на уровне 4 г/л — рядом с ними. Отметим, что питьевая вода ощущается человеком как соленая, если содержит соли более 0,2 г/л. Ученый предвидит серьезное ухудшение качества воды в ближайшие 20 лет.

New Scientist. 1992. V. 136. N 1851. P. 10 (Великобритания).

ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ ФОК

К 95-летию со дня рождения



ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ ФОК
(10[22].XII 1898—27.XII 1974)

В 1928 г., находясь в Геттингене в качестве стажера, Владимир Александрович Фок сделал работу, которой суждено было испытать пик цитируемости спустя 60 лет¹. Он рассмотрел двумерный квантовый осциллятор в постоянном магнитном поле и нашел его уровни энергии. О возможном приложении не было сказано ни слова. Недавно выяснилось, что в этой статье была изучена наиболее простая модель квантовой точки. На эту работу опирается широкая область физики твердого тела.

Этот пример — всего лишь частный случай, демонстрирующий плодотворность и фундаментальность научных идей Фока. Его работы во многих направлениях заложили основу современного развития теоретической физики и ее прикладных следствий. Созданная Фоком теория распространения электромагнитных волн вдоль искривленных поверхностей служит для расчетов дальней радиосвязи. В теории гравитации Фок ввел физически наглядную систему отсчета, которая и сегодня используется для астрофизических расчетов, например, аккреции (падения) космической пыли на черные дыры.

Оценить значение того вклада, который внес Фок, бесспорный классик науки, в развитие мировой физики — интересная и очень ответственная задача. Мы бы не побоялись этой ответственности. Но грядет большой юбилей — 100-летие со дня рождения Владимира Александровича. Эта дата потребует такого анализа. А сегодня, в канун его 95-летия, мы позволили себе сделать акцент на другой его ипостаси, на том особенном, что составляло его человеческую индивидуальность и, конечно, не могло не отразиться на научном творчестве.

¹ См. заметку Л. А. Фальковского в этом номере «Природы».

В. А. Фок: философия тяготения и тяжесть философии

Г. Е. Горелик,

кандидат физико-математических наук
Институт истории естествознания и техники РАН
Москва

Владимир Александрович Фок — один из главных героев в истории советской теоретической физики. Об этом говорят его результаты в квантовой теории и теории относительности, его книги и статьи.

Эпитет «советский» употреблен здесь не по инерции. Фоку действительно пришлось быть героем в советский период российской истории. Как в этом пространстве-времени жилось простому советскому человеку, известно пока еще довольно хорошо. А вот жизнь не простых советских физиков, вошедших в историю мировой науки, оставила большие загадки.

Одну из них можно найти на с. 16 монографии В. А. Фока «Теория пространства, времени и тяготения»: «Общефилософская сторона наших взглядов на теорию пространства, времени и тяготения сложилась под влиянием философии диалектического материализма, в особенности же под влиянием книги Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», — писал физик с мировым именем. — Учение диалектического материализма помогло нам критически подойти к точке зрения Эйнштейна на созданную им теорию и заново ее осмыслить. Оно помогло нам также правильно понять и истолковать полученные нами новые результаты».

Что это? Дань, которую требовала государственная идеология за право заниматься любимым делом? Но книга Фока вышла в 1955 г., когда тиски идеологии уже заметно ослабли, а переиздана она (вместе с загадочной фразой) в 1961-м.

Может быть, инерция страха? Такое можно предположить, только совсем не зная биографии Фока и не представляя себе его как ученого и человека. Тогда зачем ему понадобился диамат и книга Ленина об эмпириокритицизме?

ПЕРВЫЕ ШАГИ В ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

В истории гравитации, после того, как Эйнштейн построил свою общую теорию относительности (ОТО) и предложил основанную на ней первую космологическую модель, важнейшие события в течение двух десятилетий происходили в России — тогда отнюдь не великой физической державе. И Фок был причастен ко всем этим событиям. Учителями его были В. К. Фредерикс и А. А. Фридман — пионеры ОТО в нашей стране. Знаменитую статью Фридмана о нестационарной космологии (1922) Фок изучил еще в рукописи и перевел по просьбе автора на немецкий язык. Он разработал описание спинорного поля в ОТО (1929). Оппонировал диссертации М. П. Бронштейна, с первым глубоким исследованием квантовой гравитации (1935). Независимо от Эйнштейна и математически корректнее решил важную задачу о движении протяженных тел в ОТО (1939). Он автор первой советской монографии по ОТО (1955), получившей мировое признание. И, наконец, энергично и без устали участвовал в дискуссиях 50—60-х годов по поводу понимания ОТО.

При этом позиция Фока в целом, несмотря на основательную аргументацию, не получила общего признания. Это касается его взгляда на космологию, координатных условий и привилегированной системы отсчета, операциональных определений, принципов относительности и эквивалентности. Наконец, вопрос о философском статусе ОТО и ее интерпретаций (не просто философском, а «или — или» — диалектико-материалистическом или идеалистическом).

Чтобы понять взгляды Фока на теорию тяготения Эйнштейна, надо учесть несколько довольно разнородных обстоятельств: его особую методологическую позицию (промежуточную между теоретической физикой и математикой); предрасположенность к философскому восприятию внешнего мира; собственный научно-практический опыт; не-

которую схематичность, математичность кру-гозора за пределами естествознания; и, наконец, реальный, относительно узкий эмпирический базис ОТО.

Все эти факторы действовали в весьма конкретных социальных обстоятельствах (почти несовместимых с уравновешенным историко-научным рассмотрением) и в конкретной человеческой личности, для которой были свойственны бескомпромиссная честность, чувство собственного достоинства, отвага и вместе с тем добропорядочная законопослушность.

По словам Фока, русских физиков с недавно созданной ОТО познакомил Фридман и Фредерикс: «В физическом институте университета собирался семинар, где в числе других ставились доклады по теории Эйнштейна... Доклады Фредерикса и Фридмана я живо помню. Стиль этих докладов был различным: Фредерикс глубоко понимал физическую сторону теории, но не любил математических выкладок, Фридман же делал упор не на физику, а на математику. Он стремился к математической строгости и придавал большое значение полной и точной формулировке исходных предпосылок. Очень интересны бывали возникавшие между Фредериксом и Фридманом дискуссии»¹.

Этот рассказ, с его «дуэтом действующих лиц» — математикой и физикой, многое говорит и о самом Фоке. Несмотря на важную роль Фредерикса в укоренении ОТО в России, есть основания усомниться в глубине его понимания физической стороны этой теории. С другой стороны, «полная и точная формулировка исходных предпосылок» очень характерна для самого Фока.

Первое по времени документальное свидетельство об интересе Фока к теории гравитации — его конспект доклада в философском кружке². Написанный еще с «тяжми» конспект датирован 6 сентября 1922 г.

В то время идеологический подход к естествознанию был еще частным делом ученого, и такой доклад (хоть и с оговоркой о некомпетентности автора в философии) говорит о предрасположенности к философскому взгляду на мир. Краткость текста не дает возможности отнести его к какому-то «изму». Есть лишь стремление осмыслить гносеологический мост между физической реальностью и аппаратом теории.

В философской позиции 24-летнего теоретика можно усмотреть идеи классиков релятивизма. Однако отчетливо ощущается и самостоятельность. Вместо идей общей относительности, ковариантности и эквивалентности у Фока преобладает геометрический подход, опирающийся на представление об абсолютном пространстве-времени. Еще одна интересная особенность: Фок упоминает возможность сферической Вселенной, но о нестатичности не говорит. Хотя Фридман в популярной книге «Мир как пространство и время», датированной одним (!) днем раньше доклада Фока, говорит об этой только что открытой возможности с энтузиазмом.

Следующие полтора десятилетия Фок был занят в основном квантовой теорией. К теории тяготения он обратился только к концу 30-х годов. В его жизни этому предшествовало несколько важных событий.

В 30-е и 40-е

В начале 30-х годов Фок открыл для себя диалектический материализм: читал «Материализм и эмпириокритицизм», делился своими впечатлениями и при этом сожалел, что книги Ленина придался полицейский смысл³.

В личном деле Фока хранится написанная его рукой анкета и «Жизнеописание», датированные летом 1938 г. В графе «происхождение» Фок сообщил, что его родители дворяне, хотя мог бы сказать иначе: его отец был ученым-лесоводом, автором ряда трудов по лесному делу. Автобиографию Фок закончил так: «С самого рождения безвыездно живу в Ленинграде, в революционном движении не участвовал, беспартийный, репрессиям при советской власти не подвергался, избирательных прав не лишался».

Тут есть несколько неточностей. Во-первых, поступив в 1916 г. в университет, Фок в марте 1917-го пошел добровольно в Артиллерийское училище и после ускоренного курса отправился на фронт. Во-вторых, как он отметил в соответствующей графе анкеты, «был арестован 8/III 1935 г. без указания причины и в тот же день освобожден». И, в-третьих, что осталось неотмеченным, 11 февраля 1937 г. его вновь арестовали, под конвоем доставили в Москву и через несколько дней, после беседы с

¹ Фок В. А. Работы А. А. Фридмана по теории тяготения Эйнштейна // Фридман А. А. Избранные труды. М., 1966. С. 399.

² АРАН. Ф. 1934. Оп. 1. Д. 191. Л. 1—3 об.

³ Александров А. Д. Владимир Александрович Фок // Александров А. Д. Проблемы науки и позиция ученого. Л., 1988. С. 489—496; Александров А. Д. Беседа с Г. Е. Гореликом. 17.10.1989.

самим Ежовым опять освободили (в результате энергичных писем П. Л. Капицы).

Вскоре после этого Фоку пришлось вмешаться в «обсуждение основных натурфилософских установок современной физики». Инициатором этого обсуждения и автором заковыченных слов был академик В. Ф. Миткевич, предложивший Академии наук организовать собрания для «борьбы за основы материалистического миропонимания и против физического идеализма». В качестве физических идеалистов и, соответственно, противников диалектического материализма он назвал И. Е. Тамма, В. А. Фока и Я. И. Френкеля.

Судя по всему, именно решительные выступления Фока предотвратили злокачественную дискуссию. При этом Фок писал о желательности диалектико-материалистического анализа проблем новой физики и сам действовал в этом направлении: сохранилась его рукопись «Противоречит ли квантовая механика материализму?», датированная ноябрем 1937 г.

Тот же 37-й год увел с собой многих коллег Фока, с которыми он был связан многолетними отношениями. Когда в августе 1937 г. арестовали М. П. Бронштейна и слух об этом дошел до Фока, он тут же отправился домой к семье арестованного (на это не отваживались и более близкие люди).

А вот что Фок написал в 1948 г. в отзыве о работе, представленной на Сталинскую премию: «Работа Иваненко и Соколова озаглавлена «Квантовая теория гравитации». Это заглавие не соответствует ее содержанию; правильнее было бы озаглавить работу более скромно, например, «Упрощенное изложение квантовой теории гравитации». Дело в том, что квантовая теория гравитации создана ленинградским физиком М. П. Бронштейном в его работе «Квантование гравитационных волн» (ЖЭТФ, т. 6, с. 195—236), напечатанной в 1936 году. Иваненко и Соколов используют результаты работы Бронштейна, хотя нигде в тексте на нее не ссылаются. (...) Каковы бы ни были причины, побудившие авторов замалчивать достижения Бронштейна, их работу никак нельзя рассматривать как построение квантовой теории гравитации, ибо такая теория была создана Бронштейном за 11 лет до них⁴. И далее работа, претендующая на Сталинскую премию, сопоставляется с результатами «врага народа», расстрелянного в 1938 г.

Приведенные факты достаточно ясно характеризуют социально-психологический портрет В. А. Фока и дают возможность лучше понять его позицию по отношению к теории тяготения Эйнштейна.

Рубежом в биографии Фока стал 1939 год. Во-первых, его избрали действительным членом Академии наук, во-вторых, его интересы в фундаментальной физике переместились от квантовой теории к теории гравитации.

В 1939 г. Фок публикует большую статью «О движении конечных масс в общей теории относительности»⁵. Не обсуждая суть этой важной работы, отметим только моменты, существенные для нашей темы.

Фок связывает отличие своей постановки задачи от эйнштейновской с различием их точек зрения «на всю общую теорию относительности». Для Фока это прежде всего теория тяготения, которая должна применяться к «явлениям, в которых тяготение играет преобладающую роль, т. е. в первую очередь к явлениям астрономического масштаба», и не имеет «ничего общего с проблемой структуры элементарных частиц и вообще с проблемами атомного масштаба».

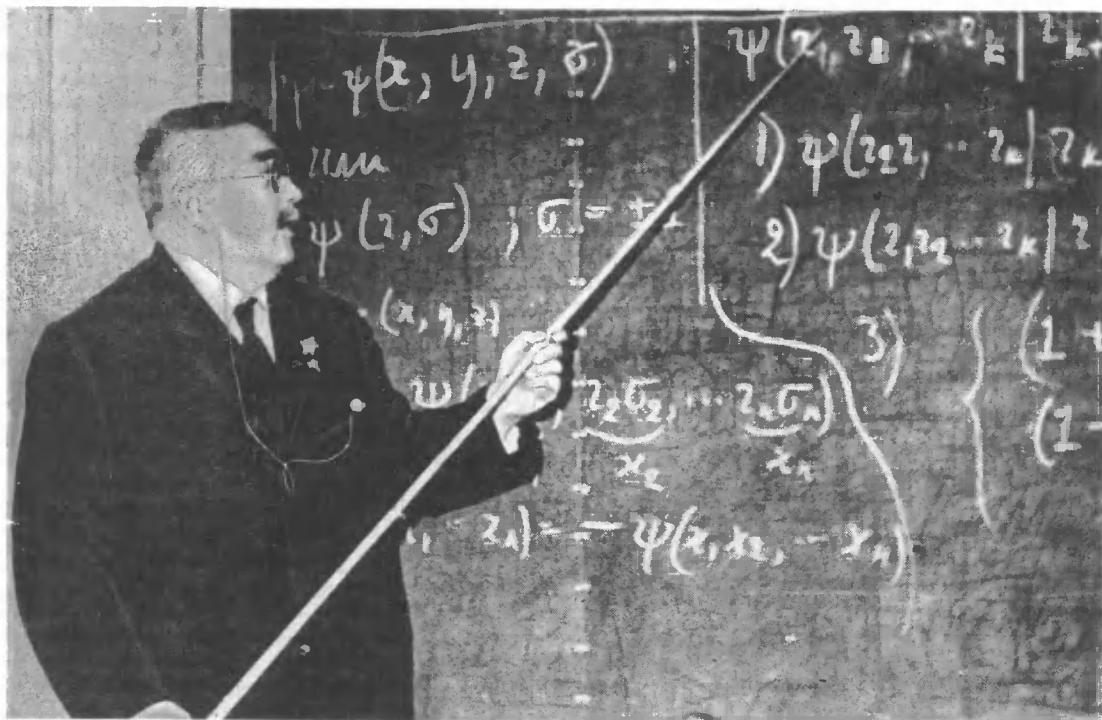
Доводом в пользу своей точки зрения Фок называет «колоссальные успехи квантовой механики за истекшие 10—15 лет, при полном неуспехе сделанных за то же время попыток Эйнштейна объяснить элементарные частицы при помощи единой теории поля».

Однако, по словам Фока, «следует преклониться перед гениальным созданием Эйнштейна — его теорией тяготения, столь богатой физическим содержанием, несмотря на ее кажущуюся абстрактность. Мы надеемся, что и настоящая наша работа будет способствовать раскрытию физического содержания этой замечательной теории».

Но из этого содержания Фок вычитает космологию: «Рассмотренная нами физическая задача не имеет никакого отношения к так называемой космологической проблеме. (...) Нам представляется, что при современном состоянии наших знаний всякая попытка рассматривать Вселенную в целом неизбежно должна носить спекулятивный характер».

В том же году Фок выразил свое отношение к Эйнштейну и его теории в журнале «Природа» (№ 7), в статье к 60-ле-

⁵ Фок В. А. О движении конечных масс в общей теории относительности (1939) // Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М., 1979. С. 232—284.



На научном семинаре в Ленинградском отделении Математического института им. В. А. Стеклова АН СССР. 60-е годы.

тию Эйнштейна. Сверхкритически отозвавшись о космологии, он тем не менее назвал Эйнштейна «одним из величайших ученых современности, чье имя известно и дорого всякому образованному человеку», чью теорию тяготения «можно считать установленной столь же твердо, как и ньютонову, обобщением которой она является»; «имя Альберта Эйнштейна одинаково по блеску с именем Исаака Ньютона». В 1939 г. столь восторженная оценка «буржуазного» ученого, известного своими буржуазно-идеалистическими философскими и буржуазно-либеральными политическими взглядами, выглядела уже экзотично.

Теперь вернемся к самой работе Фока, к одному ее элементу, имеющему чисто математическую природу, но обросшему впоследствии изрядным физическим и даже философским содержанием. Это — математическое условие, налагаемое на используемые (так называемые гармонические) координаты.

Для Эйнштейна, с его пониманием ОТО, это был вопрос технический, или чисто математический. И координаты, выбранные Эйнштейном, определили трудоемкий путь к решению: выкладки не поместились

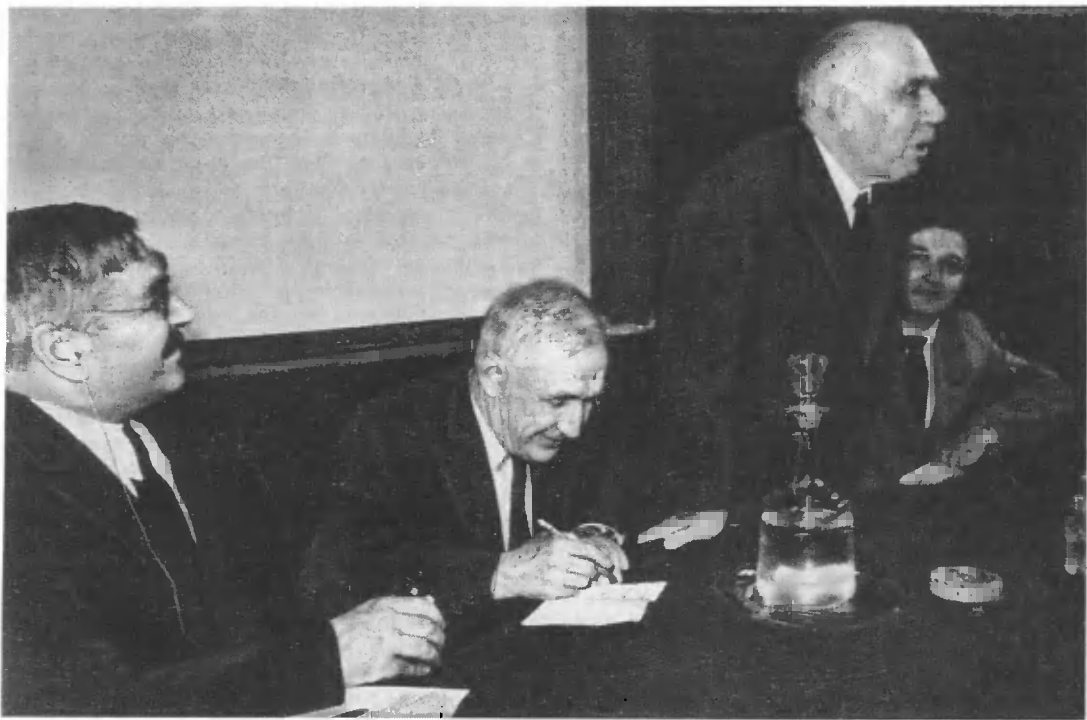
в публикации, и желающим предлагалось ознакомиться с полной рукописью в Принстонском институте.

Фок своим выбором гармонических координат нашел гораздо более простой путь к решению. И свой выбор координат он попытался обосновать не только математически.

Указав, что уже до него «обратили внимание на упрощения, достигаемые при пользовании гармоническими координатами», Фок не ограничился этим математическим доводом. По его словам, «гармонические координаты — это те, которые ближе всего подходят по своим свойствам к обычным прямоугольным координатам и к обычному времени в «мире» Минковского. Поэтому выраженные через них формулы общей теории относительности отличаются наибольшей наглядностью». По его мнению, гармоническая система «заслуживает названия инерциальной».

Для Фока его статья 1939 г. была не просто решением некой задачи, а началом большой работы. Прервала эту работу война — Фок занялся более прикладными задачами.

Первое послевоенное свидетельство гравитационных размышлений Фока — его



В. А. Фок, И. Е. Тамм и Н. Бор в ФИАНе. 1961 г.

небольшая статья 1947 г. в «Сборнике, посвященном юбилею Коперника»⁶. Других следов интереса Фока к истории науки за пределами XX в. не сыщешь. Казалось бы, «что ему Гекуба?»

Дело в том, что пара Птолемей—Коперник бросила тень на общую теорию относительности. Тень, разумеется, была обязана не самим этим классикам естествознания, а бойцам идеологического фронта.

В эти годы круто поднимался вал «военизированного» материализма. Отстоялся иконостас святых и праведников, отстоялся и перечень врагов народа и прогресса. Среди героев науки одно из самых почетных мест занимал Коперник, среди «врагов» — Птолемей. Еще с 20-х годов в популярных текстах, посвященных ОТО, для пояснения принципов общей относительности и ковариантности говорилось о равноправии точек зрения Птолемея и Коперника.

Идеи Эйнштейна и Коперника соизмеримы лишь по значению, и только в метафорическом выражении конфликт воззрений

Птолемея и Коперника можно было вовлечь в разъяснение теории Эйнштейна. Одним из первых это сделал учитель Фока — А. А. Фридман. Злополучное «красное словцо» попало и в популярную книжку Эйнштейна и Л. Инфельда «Эволюция физики».

Философы-криминалисты, в жажде оправдать свое существование, ринулись в атаку.

Фок же воспользовался спором, давно отзвучавшим и только гальванизированным усердием материалистов-сталинцев, чтобы осветить свое понимание ОТО. Не менее важным мотивом было защитить теорию Эйнштейна от невежественных и злонамеренных критиков.

В небольшой статье 1947 г. присутствуют уже основные элементы фокской трактовки общей теории относительности (которую с этого момента он называет теорией тяготения Эйнштейна). Он отрицает «краеугольность» принципов общей относительности, ковариантности и эквивалентности и подчеркивает возможность ввести «в качестве координат и времени переменные, совершенно аналогичные прямоугольным декартовым координатам и времени частной теории относительности (гармонические координаты)... Существенным условием для этого является требование, чтобы... на бесконечности геометрия пространства-времени

⁶ Фок В. А. Система Коперника и система Птолемея в свете общей теории относительности // Николай Коперник. М., 1947. С. 180—186.

была... псевдоевклидовой; требование это выполняется для системы масс, подобной солнечной системе».

Из последнего Фок извлекает вывод: спор Коперника—Птолемея остается однозначно решенным в пользу Коперника.

ПОСЛЕВОЕННОЕ СОВЕТСКОЕ ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ

В 1949 г. жизнь советской физики была отмечена двумя большими событиями. Почти весь первый квартал велась интенсивная (но безуспешная) подготовка Всесоюзного совещания физиков, а в третьем квартале произошло успешное испытание атомной бомбы. Между этими событиями имелась незримая связь: если бы не подготовка к атомному взрыву, мог бы произойти губительный взрыв научный, о характере которого можно судить по сессии ВАСХНИЛ, прогремевшей в августе 1948 г.

Главной пружиной подготовки совещания было противостояние группировки физиков из МГУ и физиков Академии наук⁷. Нападавшей стороной были университетские физики, и обвиняли они «физику академическую» (термин, запущенный на физфаке МГУ) в идеализме и антипатриотизме. Основной мишенью стала школа академика Л. И. Мандельштама, и хотя сам он умер еще в 1944 г., даже его не оставили в покое, обвинив не только в идеализме, но и в шпионаже в пользу Германии.

В защите «академической физики» важную роль играл Фок с его высоким научным авторитетом и с явно выражаемой приверженностью к диалектическому материализму. В докладе, подготовленном для совещания, Фок уделил внимание и теории относительности, сопоставив ее опровергателей с проектантами вечного двигателя⁸.

Обсуждение основ ОТО оживилось после выхода в 1950 г. пятого тома полного собрания трудов Л. И. Мандельштама с записями его лекций 30-х годов. В лекциях использовался операционально-измерительный подход к физическим понятиям и обсуждался конвенциональный элемент в определениях. Высоко оценив научно-педагогическое значение книги, Фок критически отозвался о содержащихся в ней элемен-

тах операционализма и конвенционализма⁹.

Однако то, что для Фока было предметом методологического анализа, стало составом преступления для невежественных и злонамеренных надзирателей за физикой. Самым высокопоставленным из них был А. А. Максимов, член редколлегии главного философского журнала «Вопросы философии», в котором и вне которого он обрушивался на различные формы «буржуазного идеализма». На рубеже 40—50-х годов его главной мишенью стал (покойный) Л. И. Мандельштам и его школа, а тогдашняя атмосфера антикосмополитизма делала эту мишень особенно удобной из-за ее изрядного еврейского компонента в этой школе.

Фок решительно и отважно защищал честь своего «горячо любимого старшего друга»¹⁰. В стране гремело «дело врачей», а в журнале, где членом редколлегии был Максимов, Фок опубликовал статью в защиту Л. И. Мандельштама¹¹, где говорится, что Максимов, «будучи не в состоянии разобраться в предмете, огульно охаживает нашего замечательного ученого», «крупнейшего советского ученого». А когда Ученый совет ФИАН в феврале 1953 г. был вынужден принять решение с осуждением «философских ошибок» Мандельштама, Фок, единственный из членов специально созданной комиссии, не подписал ее заключения¹².

В таком вот общественно-политическом климате Фок продолжал разрабатывать свою трактовку эйнштейновской теории тяготения. В академическом отчете за 1951 г. он писал: «Разработаны некоторые вопросы теории тяготения Эйнштейна, в частности, вопрос об общей форме законов сохранения энергии, количества движения, момента количества движения и движения центра инерции и установлена асимптотическая форма потенциалов тяготения на больших расстояниях от масс»¹³.

Итоговым в определенном смысле стал 1955 год. В июле его книга «Теория пространства, времени и тяготения» сдана в набор, в октябре — подписана к печати.

⁹ Фок В. А. Рец. на кн.: Мандельштам Л. И. Полное собрание трудов. Т. 5 / Под ред. М. А. Леонтовича. М., 1950 // Успехи физ. наук. 1951. Т. 45. С. 160—163.

¹⁰ Академик Л. И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения. М., 1979. С. 306.

¹¹ Фок В. А. Против невежественной критики современных физических теорий // Вопр. философии. 1953. № 1. С. 168—174.

¹² Стенограмма расширенного заседания Ученого совета ФИАН 9. 2. 1953 // АРАН. Ф. 532. Оп. 1. Д. 232. Л. 5.

¹³ АРАН. Ф. 411. Оп. 14. Д. 127. Л. 119.

⁷ Горелик Г. Е. Физика университетская и академическая, или Наука в сильном социальном поле // Вопр. истории естествознания и техники. 1991. № 1. С. 32—46.

⁸ Фок В. А. Основные законы физики в свете диалектического материализма // Вестн. ЛГУ. 1949. № 4. С. 34—47.

В этой книге сведены все элементы интерпретации Фоком эйнштейновской теории тяготения.

Но для нас особенно интересна статья Фока «Полвека великого открытия. О теории относительности Альберта Эйнштейна», напечатанная в газете «Правда» в апреле 1956 г., а написанная в 1955 г.

Посмотрим на эту статью глазами двух современников И. Е. Тамма и самого ее автора. Это позволяют сделать письма, которыми они обменялись.

В. А. ФОК, И. Е. ТАММ И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

В архиве Фока хранится более двух десятков писем Тамма, из которых явствует, что Тамм относился к Фоку с большим уважением в научных вопросах и с полным доверием в вопросах научно-этических.

Если не считать небольшой работы 1929 г. (когда Тамм усомнился в фоковской геометризации уравнения Дирака, но затем признал свою неправоту), Тамм не занимался теорией тяготения и не обсуждал ее с Фоком до своего письма, датированного 13 ноября 1955 г.:

«Дорогой Владимир Александрович, пишу Вам по следующему поводу. Редакция «Правды» прислала мне для ознакомления Вашу статью «Полвека великого открытия», и я хочу Вам сообщить мое впечатление от нее.

Я помню Вашу анти-Максимовскую статью в «Вопросах философии» года 2—3 тому назад, которая мне очень нравилась, и должен сказать, что по-моему, на этот раз у Вас в смысле популярности и доступности получилось менее удачно. Важнее же то, что Вы отводите в статье очень большое место Вашей полемике с Эйнштейном, так что казалось бы юбилейная статья приобрела резко критический характер. Мне кажется, что дискуссия по очень специальным и во многом спорным вопросам вряд ли уместна на страницах газеты; ее следовало бы вести в специальных научных журналах: ведь газетная статья может дать читателю, далекому от физики, только общее впечатление о сущности теории и о важности и значимости «Великого открытия».

Я не знаю, согласитесь ли Вы с моими замечаниями, но очень надеюсь, что Вы согласитесь хотя бы со следующим. В последнем абзаце статьи Вы упрекаете редакторов перевода книги Эйнштейна, что они не снабдили ее критикой его философских ошибок. Я придерживаюсь того взгляда, что книги великих людей должны печататься

без ремарок; ведь и в данном случае по теории относительности у нас существует обширная — даже слишком обширная — критическая литература, с которой читатель наверняка познакомился раньше, чем приступил к чтению самого Эйнштейна. Такой именно точки зрения и придерживались редакторы книги. Но самое главное — прочтите еще раз внимательно этот абзац и представьте себе, какой он будет иметь резонанс (независимо от Ваших собственных намерений). Ведь появление его в центральном партийном органе и за такой архи-авторитетной подписью, как Ваша, не может не дать всем нашим Максимовым и иже с ним повод, толчок и оправдание развязать вновь ту самую анти-научную «философскую» кампанию, против которой Вы сами боролись больше, чем кто-либо другой. Выбросьте этот абзац! <...>

Теперь по совсем другому вопросу, о котором я забыл поговорить с Вами во время последней встречи. Я глубоко убежден, что сейчас назрела неотложная необходимость построения новой теории полей и элементарных частиц, пригодной в области малых расстояний и больших энергий и в самом принципе устраняющей из теории пресловутые бесконечности. Я убежден, что эта теория приведет к радикальному изменению представлений о пространстве и времени в применении к ультра-микроскопу. Вам, благодаря Вашим фундаментальным работам по квантовой электродинамике 30-х годов плюс Вашим работам последнего времени по теории пространства и времени, эта проблематика должна быть очень родственной. Вот если бы можно было бы Вас соблазнить ею заинтересоваться!..

С сердечным приветом Ваш Иг. Тамм».¹⁴

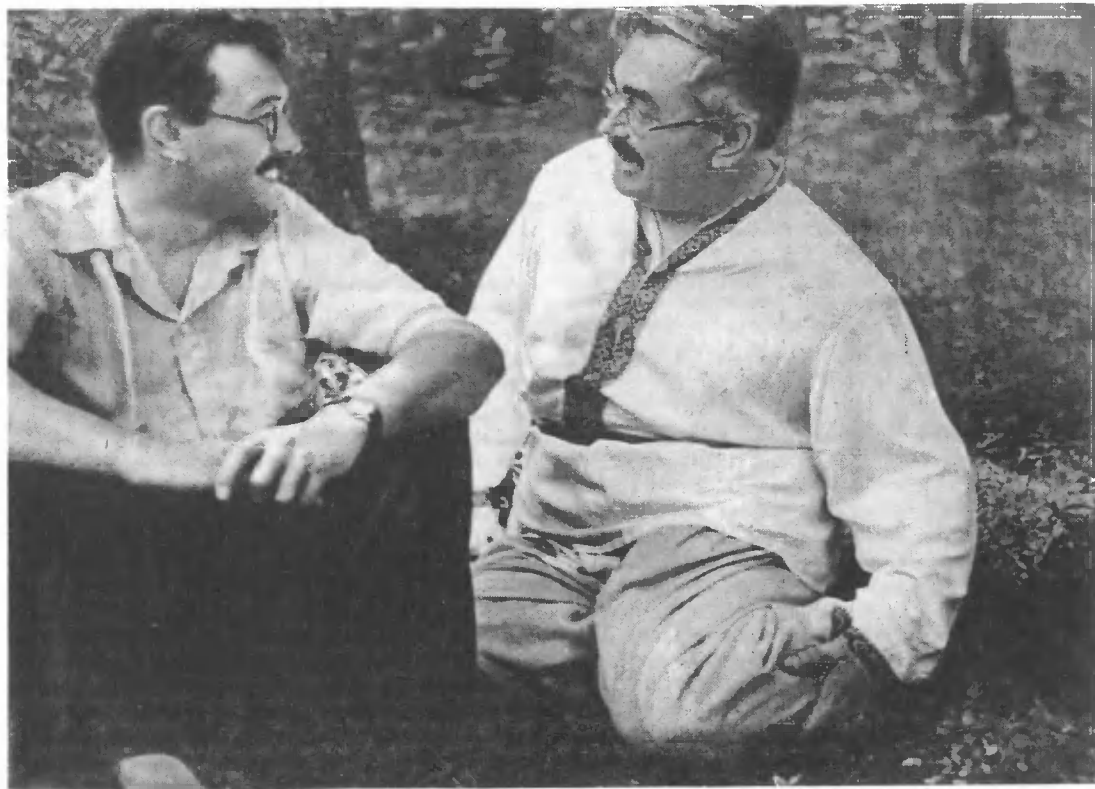
На это письмо Фок ответил сразу же, 17 ноября:

«Дорогой Игорь Евгеньевич!

Мне хочется ответить Вам подробнее на Ваши замечания по поводу моей статьи для «Правды».

1) Мне была заказана не юбилейная статья, а рецензия на книгу. Я заранее отказался писать хвалебно-юбилейную статью и договорился о критической рецензии. Юбилейного здесь только заголовки, придуманный Редакцией. (Кстати, заголовок придуман неплохо: массовый читатель, который прочтет только его, все же поймет, что, по мнению «Правды», теория относительности Эйнштейна есть великое открытие, а это уже хорошо.)

¹⁴ АРАН. Ф. 1034. Оп. 3. Д. 691. Л. 31—32 об.



С сыном Михаилом Владимировичем на даче в Комарове. На рубеже 50—60-х годов.

2) Я согласен, что статья моя трудновата, но этого нельзя избежать, поскольку речь идет об еще более сложных вещах, чем обычная («частная») теория относительности, и объем статьи весьма невелик.

3) По-видимому, Вы считаете, что великих людей нельзя критиковать или, по крайней мере, что на книги великих людей нельзя писать критических рецензий. Я с этим решительно не согласен. Все зависит от уровня критики. Эйнштейн — великий физик, но математик он не очень хороший, и в математических вопросах, связанных с его теорией, я чувствую себя сильнее него. Почему же я не должен его критиковать? Те утверждения Эйнштейна, с которыми я не согласен, основаны на математических ошибках, которых я не могу не видеть. В статье критика дана от моего имени («по нашему мнению»), за моей подписью. Никого она не компрометирует. А для славы Эйнштейна очищение его теории от ошибочных утверждений только полезно.

4) Вы пишете о существующей у нас обширной критической литературе по теории

относительности. Мне таковая неизвестна. Если не считать французского геометра Картана, который понимал ошибки Эйнштейна, но говорил о них весьма «прикровенно», то впервые разумная критика теории Эйнштейна (точнее, взглядов Эйнштейна на его теорию, которая сама по себе верна) была дана мною. Может быть, Вы разумеете под критической литературой опровергательную литературу и максимовщину? Мне было бы обидно думать, что мою критику Вы ставите на одну доску с ней.

5) В своей рецензии я не мог не отметить ошибочных философских утверждений Эйнштейна. Замалчивать их я считал бы тактической ошибкой. Единственный способ привить теории относительности (а также квантовой механике) иммунитет против нападок философов — это самим физикам признать философские ошибки автора данной теории и отделить их от существа теории. Я это и сделал — в моей статье есть и такая фраза: «...к счастью, это никакого отношения к теории относительности не имеет». Мне кажется, было бы лучше, если бы то, что сказано в моей рецензии, было бы уже сказано в предисловии к русскому переводу книги. Опас-



Со старыми друзьями П. Дираком (вверху) и Л. де Бройлем (внизу).

ность возобновления антинаучной кампании против теории относительности скорее может возникнуть в том случае, если физики будут выпускать книги, в которых философские ошибки не будут встречать отпора. Предпоследний абзац моей статьи есть попытка предотвратить такую кампанию.

б) Появление в центральном органе за моей подписью статьи об Эйнштейне я считаю — независимо от степени доступности статьи — весьма полезным по следующим причинам:

а) это означает официальное признание у нас теории относительности как великого открытия и великого достижения человеческого гения;

б) признание это сделано без низкопоклонства и сопровождается разумной критикой авторитетного лица;

в) философские грехи Эйнштейна явно упомянуты, но им дано отпущение.

Ну вот, дорогой Игорь Евгеньевич, все, что я хотел Вам сказать. То, что Вы мне о Ваших сомнениях написали, а не таили их про себя, было мне очень приятно.

Мне в свою очередь захотелось объяснить Вам свою точку зрения на статью.

О других вопросах, затронутых в Вашем письме, мы поговорим при встрече.
Ваш В. Фок.¹⁵

Как видим, в этих письмах обсуждается не интерпретация ОТО, а социальное положение этой физической теории. Только из таммовских слов «во многом спорных» можно догадаться о его отношении к взглядам Фока. Впрочем, вторая часть письма Тамма говорит о его уважении к «архи-авторитету» Фока.

Всего через две недели после этого обмена письмами представилась возможность изложить свои научные взгляды без оглядки на «максимовых и иже с ним» — на сессии Академии, посвященной 50-летию теории относительности. Вступительное слово произнес Тамм, его ближайший сотрудник В. Л. Гинзбург выступил с докладом «Экспериментальная проверка общей теории относительности», а Фок прочитал доклад об уравниваниях движения в ОТО.

Материалы юбилейной сессии легли в основу сборника «Эйнштейн и современная физика». Позиция Фока запечатлена там весьма выразительно и, что особенно удобно, в виде двух частей: критической и конструктивной.

В замечаниях к «Творческой автобиографии» Эйнштейна Фок начинает с философских взглядов, однако его описание весьма многоцветной («крайне непоследовательной») философской палитры великого физика в жестко дихотомичных терминах «материализм—идеализм» производит впечатление обязательного ритуала. Рассматривая путь Эйнштейна к теории тяготения, Фок вполне обходится без философии. Он критикует рассуждения Эйнштейна, «которые в конечном счете привели к его гениальной теории тяготения», критикует за «логические неувязки», «неправильное употребление терминов».

Доклад Фока об уравниваниях движения для случая островной системы содержал несколько конструктивных идей, обсуждать которые «на ходу» невозможно. А кратко резюмировать надлежащее обсуждение можно было бы так: подход Фока, целиком порожденный планетной задачей, в прямолинейном понимании несомненно космологией. Однако его идеи допускают обобщение, пригодное и полезное в общем случае ОТО, хотя сам Фок никогда не гово-

¹⁵ АРАН. Ф. 1034. Оп. 3. Д. 160. Л. 8—10.

рил об обобщении своего подхода и, видимо, не испытывал потребности в этом.

Как позицию Фока воспринимали коллеги? Представление об этом дает прямой оппонент Фока (и гораздо больший эйнштейнец, чем сам Эйнштейн) Л. Инфельд в том же сборнике: «Я не согласен с профессором Фоком, что следует добавить некоторые условия к теории относительности, условия, выделяющие гармоническую систему. Во время своего пребывания в Советском Союзе (1955) я, к своему великому удивлению, убедился, что профессор Фок в этом вопросе стоит особняком и что физики такого масштаба как Ландау, Тамм, Гинзбург отрицательно относятся к его позиции»¹⁶.

После того, как в середине 50-х годов Фок развернуто изложил свое понимание эйнштейновской теории тяготения, он фактически до конца жизни старался убедить коллег в правильности своих взглядов. Этому он посвятил около 30 публикаций и выступлений. В его академическом отчете за 1966 г. читаем: «В 1966 г. я посвящал много времени и сил разработке и популяризации правильных взглядов на теорию тяготения Эйнштейна. Еще в 1965 г. (26.11) я сделал на Эйнштейновском заседании Отделений Общей физики и Ядерной физики АН СССР доклад на тему «Основные принципы теории тяготения Эйнштейна». Резюмировав свою точку зрения в нескольких тезисах, он пожаловался: «Эти тезисы постепенно находят признание во всем мире, что, однако, проходит не без сопротивления; так, наш журнал «Успехи физических наук» даже отказался печатать мой доклад. Доклад был напечатан ... в несколько дополненном виде, под заглавием «Физические принципы теории тяготения Эйнштейна» в журнале «Вопросы философии»¹⁷.

ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ИСТОРИИ НАУКИ

Если читать письма Тамма и Фока, приведенные выше, зная в достаточной мере жизненные пути этих замечательных ученых и их взаимоотношения, легко избежать соблазна правосудия. Решить, кто из них был прав, можно лишь условно. Каждая из позиций честная, а их неустрашимое различие — результат неустрашимого различия двух этих личностей.

В такой ситуации, чтобы извлечь урок

из истории физики, историку полезно получить урок у самой физики XX в., и это можно сделать с помощью самого Фока. В 1971 г., давая гносеологическое резюме теории относительности и квантовой механике, их опыту обращения с неабсолютными истинами, Фок заключает: «Как показывает история развития науки, общие принципы, установленные для одной области знания, могут оказаться применимыми и в другой области. Думается, что таким общим характером обладает и принцип относительности к средствам наблюдения. В этом его философское значение»¹⁸.

Разумеется, в истории науки установить «систему отсчета», «средства наблюдения» выдающегося ученого гораздо сложнее, чем в специальной теории относительности (где достаточно зафиксировать четыре пространственно-временных вектора) или даже в квантовой механике (где надо зафиксировать счетную совокупность векторов в гильбертовом пространстве). И все же только установив «направляющие векторы» в мировосприятии ученого и связав их в букет (не безличной точкой начала координат, а его уникальной личностью), можно надеяться понять его жизненный путь.

Описанные выше весьма разнородные — «точечные» — события настало время связать единой линией — линией судьбы Владимира Александровича Фока. Для этого, как уже сказано, прежде всего нужно описать его систему отсчета — совокупность направляющих векторов.

И начать надо с векторов, характеризующих позицию в науке. Для каждого подлинного ученого это — главные векторы, а для Фока в особенности. П. Л. Капица и Д. С. Рождественский, очень близко его знавшие, говорили о нем (в весьма разных ситуациях): «Это совсем оторванный от жизни человек благодаря своей почти полной глухоте. Вся его жизнь в упорной работе над научными проблемами»¹⁹; «Фок мыслит математическими образами и вникнуть в психику экспериментатора или среднего человека ему трудно, несмотря на всегашнюю готовность помочь всякому, кто обратился к нему»²⁰.

Если бы надо было в двух словах охарактеризовать основу фоксовской системы отсчета, то это, вероятно, — математичность

¹⁶ Эйнштейн и современная физика. М., 1956.

¹⁷ АРАН. Ф. 411. Оп. 14. Д. 127. Л. 136.

¹⁸ Фок В. А. Принцип относительности к средствам наблюдения в современной физике // Вестн. АН СССР. 1971. № 4. С. 12.

¹⁹ Капица П. Л. Письма о науке. М., 1989. С. 124.

²⁰ Физики о физиках. Л., 1990. С. 165.

и трезвость. Ключевыми выглядят такие его слова: «Правильная математическая постановка физической задачи всегда должна обеспечивать единственность решения»²¹. Математичность сама по себе не исключает романтического отношения к физике (пример чему — Г. Вейль), но Фок антиромантичен.

Если не учитывать этого, то несколько комичной будет выглядеть его критика промежуточных рассуждений Эйнштейна, приведших к гениальной теории тяготения. При этом Фок «невольно вспоминает» признание Эйнштейна в недостаточности сильной математической интуиции. А физик, скорее, вспомнил бы другие слова Эйнштейна: «Если не согрешить против логики, то вообще нельзя ни к чему прийти. Иначе говоря, нельзя построить ни дом, ни мост, не используя при этом леса, которые не являются частью всей конструкции»²².

Фок располагал «средствами наблюдения», чтобы оценить гениальность результата, полученного Эйнштейном, и он не мог не признать (умом), что пришел к этому результату Эйнштейн, пользуясь «неправильными» понятиями и соображениями, но пройти мысленно по этому неправильному пути было для Фока выше его математических сил.

Фоку было совершенно ясно, что в римановой геометрии случай нулевой кривизны имеет наибольшую симметрию и что поэтому никакой большей относительности, чем имеется в ОТО, быть не может. Ему было ясно, что принцип эквивалентности внутри ОТО невозможно даже сформулировать, потому что для произвольно искривленного пространства-времени нет определения равномерно ускоренной системы отсчета, а гравитационное поле, описываемое кривизной, невозможно устранить, не устраняя геометрию.

Фок мог бы сказать: когда математические структуры хорошо определены и внутренне непротиворечивы, для чего нужны логически уязвимые, не имеющие точного математического смысла конструкции, какими бы ни были их исторические заслуги? Или, по эйнштейновской метафоре, когда дом построен, почему бы не убрать леса и забыть о них?

Это относится и к принципу эквивалентности и к общей относительности, сыгравшим огромную роль в создании ОТО и растворившихся в ее математическом аппарате. Это же относится к операциональ-

ному анализу определений, с помощью которого Мандельштам в своих лекциях подвинул к ОТО. Для математика в последнем случае вполне достаточно описать пространство Минковского. Но для физика, даже если не говорить о педагогических преимуществах, этого мало.

Эйнштейн моделировал физику схемой:

$$E \rightarrow A \rightarrow S \rightarrow E,$$

где E — данные чувственного опыта; A — аксиомы, психологически основанные на E ; S — частные утверждения, логически выводимые из A .

Математическая физика (которую представлял Фок) царствует на участке $A \rightarrow S$, а физика теоретическая — на участках $E \rightarrow A$ и $S \rightarrow E$.

Быть может, особенно показательно отношение Фока к космологии, не очень подобающее человеку, на глазах, можно сказать, которого рождалась нестатическая космология. Главные причины можно усмотреть в его «математической трезвости», и в давлении собственного научного опыта.

Трудно без улыбки читать, как Фок в докладе, вошедшем в упомянутый сборник, разъясняет коллегам, что «во всякой теории поля, формулируемой при помощи дифференциальных уравнений в частных производных, предельные условия (или условия, их заменяющие) столь же важны, как и самые уравнения; без них поле не может быть определено», — ведь это студенческий вопрос. Важность для математической однозначности не совпадает с важностью для истории физики. Но для Фока, уверенного в единственности математически правильной постановки задачи, безграничная и не единственная экстраполяция космологических условий не могла заменить предельных условий островной изолированной системы.

Теоретическая необходимость релятивистского обобщения небесной механики покоилась на многовековом и солидном фундаменте, а за космологией стояли только «безответственные» спекуляции.

Такое умонастроение должно было укрепляться научным успехом Фока в решении островной задачи. Обобщение уравнений движения и законов сохранения на гравитирующую островную систему ставило результаты Фока на солидную историко-научную основу (в которую Фок включал и теорию Коперника), что побуждало Фока «онтологизировать» и средство решения задачи — гармоническую систему координат.

Однако прямо встроить фоковский ана-

²¹ Эйнштейн и современная физика. М., 1956. С. 160.

²² Эйнштейн А. Собр. научн. тр. Т. 4. М., 1967. С. 572.

лиз островной системы, и в частности гармонические координаты, в космологическую постановку задачи невозможно: евклидовость на бесконечности не совместима с космологией. «Тем хуже для космологии», — думал, возможно, Фок.

ЧТО ФОКУ «ДИАМАТ»?

Обрисовав научную часть фоковской «системы отсчета», перейдем к социально-идеологической. На эту часть он оставлял, в сущности, не так уж много времени.

Из текстов Фока, из рассказов о нем хорошо знавших его людей (Е. Л. Фейнберга, С. М. Рытова) возникает облик ученого, который был человеком честным, знающим себе цену и бесстрашным, ответственным и несколько схематичным, или, лучше сказать, математичным даже вне науки.

Как человек науки может освоить вне-научную сферу, в частности и в особенности такую, какой она была в нашем отечестве в 20—50-е годы? Ведь на эти годы пришла активная часть жизни Фока.

Если человек принадлежит науке умом и сердцем, то кажется вероятным, что в социальной сфере он опирается на свою профессиональную методологию.

Нет сомнений, что Фок в 30-е годы был уже искренне привержен к диалектическому материализму (к тому, что он так называл). Судя по всему, он считал себя лояльным к государственной идеологии и к государственной власти. Эти констатации, однако, требуют уточнений из-за их шаблонной неопределенности.

Что понимал Фок под диалектическим материализмом? Весьма скупые (на фоне эпохи) цитаты в его философских статьях и прямое признание в книге 1955 г. говорят, что, по существу, единственным образцом диалектического материализма он считал книгу Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». Эта книга произвела на него сильное впечатление, несмотря на полицейские меры по внедрению ее в науку, на половодье сочинений, туго напичканных цитатами из этой книги, несмотря на все грубости ее стиля, совершенно чуждые Фоку, и анахронизмы. В таком отношении к книге и к диалектическому материализму, о которых сейчас слова доброго не услышишь, Фок был не одинок. Достаточно упомянуть таких его коллег, как М. А. Марков и Д. И. Блохинцев. Еще важнее, быть может, что такое отношение разделяли и те, кто не высказывал своих взглядов открыто по причинам, скорее, этического характера. В приложении к дан-

ной статье приведен соответствующий фрагмент из интервью Е. Л. Фейнберга (следует иметь в виду, что Фок критиковал школу Л. И. Мандельштама, к которой принадлежит Е. Л. Фейнберг, за элементы позитивизма и операционализма).

Надо, впрочем, уточнить, что речь идет о физиках, внутренне склонных к философскому взгляду на мир. Были, разумеется, и другие. Такие, например, как Я. И. Френкель и Л. Д. Ландау, которые, несмотря на свою «красность», и принявшие «исторического материализма», считали диамат вредной схоластикой. И такие, кто в разных философских системах видели здоровые идеи, не допускающие абсолютизации. Такие, кто подобно Эйнштейну, полагали, что физик имеет право (и даже обязанность) на философский оппортунизм, занимая, в зависимости от ситуации, позиции реалиста, идеалиста, позитивиста или платоника.

Если же говорить именно о Фоке, то за его диалектическим материализмом можно, при желании, разглядеть платоновский идеализм, провозглашенный два с лишним тысячелетия назад и растворенный с тех пор в математическом взгляде на мир. Ведь Фок верил в существование единственно правильной философии как максимально общего конспекта, или квинтэссенции единственно реализуемой истории научного знания.

Нильсу Бору Фок казался похожим на Пьера Безухова, и, думается, не только внешностью. Вспомнив о европейских корнях Фока, быть может, к честности, бесстрашию и углубленности героя Толстого следует прибавить каким-то образом законопослушность, упорядоченность и настойчивость лесковского немца.

Похуже, что Фока устраивали теоретические постулаты советской власти, а о соответствии красивых схем социальной практике судить ему было еще труднее, чем коллегам, большинство которых сохраняли социальные иллюзии очень долго. Можно было бы предположить, что помимо упоминавшейся «оторванности от жизни» и глухоты, на Фока могли повлиять факты его биографии — ведь его дважды арестовывали и дважды сразу же отпускали, словно справедливость «торжествовала». Но такое предположение по отношению к Фоку выглядит вульгарно-материалистическим.

К сталинскому террору (об истинных масштабах которого почти никто не догадывался) Фок, видимо, относился как к стихий-

ному, природному бедствию, раз говорил, что «трусость не влияет на вероятность отсидки»²³. Тем бесстрашнее он помогал тем, кто попал под смертоносную вероятность. Подписал письмо в защиту молодого астрофизика Д. И. Еропкина (с которым научно не был связан). Выступил в защиту только что вытесненного из тюрьмы Ландау²⁴. Был одним из очень немногих, кто не оставил П. Л. Капицу, когда тот оказался в глубокой опале.

Когда социально-идеологическая жизнь вторгалась (в обличье Максимова, например) в его науку, в те области, в которых он работал, Фок действовал решительно и, как можно видеть по его письму Тамму, политически обдуманно. Но за пределами своей науки реакции Фока были весьма схематичны. А схематичность, газетно-математическая логика некоторых его суждений общественно-политического характера прямо-таки поразительна.

Ограничившись этим в описании физико-математической и гуманитарной частей системы отсчета Фока, попытаемся из этой системы отсчета взглянуть на последние три десятилетия его жизни в гравитации.

Не жалея усилий, Фок неоднократно излагает свое понимание эйнштейновской теории тяготения, включая и некоторые математически несомненные разъяснения. А в ответ — либо молчание, либо уклончивые общие соображения, либо повторение старых слов, для него бессмысленных или неправильных, хотя и освященных авторитетом гениального физика. Когда в научной дискуссии исчерпываются аргументы научного, физико-математического характера, остается только искать аргументы за пределами науки. Направление поиска подсказывает социально-культурная атмосфера, окружающая ученого, и собственное его мировосприятие. В результате появилось такое умозаключение: «Возможно, что указанные различия в точках зрения обеих школ (эйнштейновской и фоковской. — Г. Г.) на данные конкретные вопросы не случайны, а связаны с различиями их общих философских установок»²⁵.

Что касается другой системы отсчета, назовем ее условно таммовской, то ее

обитатели были физиками, которые не могли абстрагироваться от связи лабораторно-ньютонковского опыта с римановскими построениями ОТО и не могли смотреть на мир изнутри риманова пространства-времени. Кроме того, эти физики не могли абстрагироваться от помоев, которые на их глазах в совсем недавние времена выливались на «реакционное эйнштейнианство».

Размышляя о некоторых «безрезультатных» дискуссиях с участием выдающихся ученых, приходишь к выводу, что, конечно же, говорить об их бесплодности не следует: очищение и уточнение противостоящих позиций способствует развитию знания. Но какова природа самой несовместимости позиций? В самых интересных случаях эта несовместимость коренится в глубине психологии личности — в том наборе «средств наблюдения», с помощью которых личность способна общаться с внешним миром.

Грубую параллель можно усмотреть в том, как воспринимают внешний мир и как живут в нем, например, незрячий и тугоухий (ослабление одного органа чувств, как известно, обостряет другой). И хотя договориться им бывает нелегко, каждый из них может открыть нечто в мире, недоступное другому.

Отсюда можно извлечь социально-научное следствие: разнообразие «средств наблюдения» — точек зрения — в научном сообществе не просто допустимо, а необходимо. Только тогда можно надеяться не упустить — разглядеть — новую научную истину.

Когда историк, обсуждая взаимонепонимание выдающихся ученых, видит причину в различии их систем отсчета, может возникнуть подозрение, что претендовать на это может только тот, кто смотрит на все системы отсчета свысока, раз он их видит и в то же время не допускает такой способности у самих ученых. В оправдание можно сказать (вспоминая еще раз статью Фока 1971 г.), что способность переходить от одной системы отсчета к другой находится, видимо, в дополнительном соотношении с физико-математическим творчеством, для которого необходимо очень крепко стоять на ногах в своей собственной системе отсчета, в надежности которой исследователь должен быть вполне уверен.

А в том, что система отсчета Фока привела его к выдающимся научным достижениям, сомнений нет.

²³ Александров А. Д. Владимир Александрович Фок // Александров А. Д. Проблемы науки и позиция ученого. Л., 1988. С. 489.

²⁴ Фок В. А. Письмо в редакцию ПЗМ по поводу рецензии Э. Кольмана (№ 2, 1940) на статью Л. Ландау в «Знание — сила» (№ 7—11. 1939), АРАН. Ф. 1515. Оп. 2. Д. 98.

²⁵ Фок В. А. Теория пространства, времени и тяготения. М., 1955. С. 472.

«Фок говорил то, что думал»

Из беседы с членом-корреспондентом РАН Е. Л. Фейнбергом

...НА СЦЕНЕ длинный стол, за ним сидят философы и кто-то от наших. Выступает Владимир Александрович Фок, долго, терпеливо объясняет. И они выступают. Наконец он теряет терпение и говорит: «Вот что, товарищи, мы с вами спорим 25 лет. За это время мы, физики, изучили диалектический материализм, знаем его, а вы, философы, так ничего и не поняли в физике». Вынул из ушей микрофоны своего слухового аппарата, положил все в портфель, защелкнул замочек, при гробовой тишине зала сошел с эстрады, твердыми шагами прошел до двери и закрыл ее за собой, как я записал потом у себя, «не слишком тихо». Это была замечательная сцена.

Для такого поведения тогда нужно было огромное чувство собственной независимости и правоты. Это же было страшное время — «дело врачей» и т. д. И хотя «дело врачей», казалось бы, к теории относительности не имеет отношения, вся эта борьба с космополитизмом... Вообще, даже дотронуться до этого, что-то сказать в пользу эйнштейновской теории относительности, для этого было необходимо огромное мужество, и Фок себя вел безупречно. Если он говорил, что не согласен с каким-то операционалистским определением, это была абсолютно честная его научная точка зрения. Можете быть уверены, это не потому, что он к чему-то приспособлялся. Это был мужественный человек с собственным мнением. Он был высокого мнения о себе, считал, что он имеет право говорить то, что думает.

— И в то же время любовь к диамату, которая, кажется, воспринималась довольно скептически...

— Да, она многими так воспринималась, но бездумно, потому что слова соответствовали тому, что талдычили громилы-философы. Его «любовь» к диамату, безусловно, искренняя.

Я вам скажу больше — можете меня презирать, но и я согласен с диаматом. Сам по себе он разумен. Моя книжка об искусстве¹ на самом деле диаматная. Наши ужасные диаматчики, которые учили в университете, в аспирантуре, «разоблачали», на самом деле привили презрение к диамату.

Но прошли годы, и я вижу, что диамат в естествознании — это антипозитивизм. В основе диамата — как я его понимаю — очень простая вещь, заключающаяся в том, чтобы смочь принять тезис о существовании объективного упорядоченного мира, больше ничего. Тезис, который нигде не следует (причем сами понятия «существовать», «вещь» принимаются как первичные, «недоказуемые»). Диаматчики, наши официальные философы, «доказывают» этот тезис, говорят, что «Энгельс и Ленин доказали» или кто-то еще «доказал»... А доказать это невозможно, это есть синтетическое, интуитивное суждение, которое принимается или отвергается, и этим различаются разные философские системы. В том, что Фок принял подлинно диаматную точку зрения, ничего странного нет, он просто принял то же, что и Эйнштейн в конце жизни, когда говорил, например: я не вижу никакого вреда в том, чтобы принять «вещь» за нечто объективно существующее. Можно, наоборот, принять мир за нечто, существующее в моем воображении, можно строить позитивистскую концепцию, принимая за основу только соотношения между переживаниями. Это дело свободного выбора, свободного убеждения.

Я нашел чудную цитату из Честертона (он ведь был и философом): «Многие из наших современных затруднений в духовной и иных областях возникают исключительно из того, что мы смешиваем слово «неоп-

ределимый» со словом «неясный». Вещь, которую нельзя определить, есть вещь первичная, первичный факт. Наши руки и ноги, наши горшки и сковороды — вот что неопределимо».

Это и отличает диамат от других философских систем. И с этим я согласен. Думаю, что и Фок в этом смысле согласен с диаматом, и Эйнштейн. Нет никакой опасности в том, чтобы принять понятие «существовать» и понятие «вещь» за первичные, неопределимые, хотя это противоречит позитивизму. Так что здесь я «любви» Фока к диамату не нужно усматривать чего-то нехорошего, он искренне так считал.

— Может быть, даже не сама любовь вызвала недоумение, а то, что было много признаний в любви!

— Это было время, когда у интеллигентных физиков, не занимавшихся философией, диамат вызывал отвращение. Преподавали его в вузах люди безграмотные, заботящиеся только о том, чтобы была правильная цитата и чтобы посильнее «ударить по идеализму». И это вызывало крайнее неуважение (и у меня сначала тоже). Поэтому никто не хотел и думать о нем всерьез, кроме тех, кто действительно интересовался теорией познания. Просто противно было. Те самые диаматчики за любое неправильное слово будут крыть, обвинять в идеологических ошибках, а идеологическая ошибка означает, что это враг народа, а врага народа надо уничтожать. Это все отталкивало. Они не могли объяснить, что такое диамат. В общем, об этом не стоит говорить особенно много.

— А Фок это игнорировал!

— Фок сам занялся. Я вам скажу больше. Книгу Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» не хотелось читать, во-первых, потому, что ее навязывали, а во-вторых, потому, что она написана ужасно ругательно. Как он поносит идеалистов-

¹ Фейнберг Е. Л. Кибернетика, логика, искусство. М., 1981.

врагов! Это отвращало от чтения. Грубость эта имеет объективное происхождение. Книга была написана в то время, когда провалилась первая русская революция 1905 г. и из партии большевиков начался отток, причем уходили самые интеллигентные, думающие, вроде Богданова. А между тем, я считаю, она написана дилетантом — он тогда не знал по-настоящему философию (он потом занялся философией, сидя в Швейцарии во время первой мировой войны) — но дилетантом гениальным. Он догадался до очень многого, до чего физики не догадывались. Например, шаблонная фраза, которую физики до сих пор произносят иронически, что электрон так же неисчерпаем, как атом. А вы подумайте серьезно, это же провидчески: оказывается, электрон

— это не просто электрон, не шарик, как думали физики, у него есть волновые качества, спин, он и точечный, и окружен полем. Это лептон, способный к слабым взаимодействиям и т. д. Действительно, неисчерпаем. Объективно, здесь Ленин выступил как гениальный дилетант.

Между прочим, во втором издании сочинений Ленина помещались обширные комментарии, в частности, помещались рецензии, которые писались на эту книгу. Была такая женщина-философ, социал-демократ, меньшевичка, Аксельрод-Ортодокс. Она в советское время была еще жива и, насколько позволяли, работала. Ее дореволюционная еще рецензия написана серьезно. Она обсуждает книгу, но пишет, что совершенно непонятно, почему в книге

такая грубость, почему таким раздражительным тоном все это написано, так, что не хочется читать. А в советское время интеллигенция связывала диамат только с провозглашением его как новой религии. Объяснить в вузах, что здесь хорошо, а что плохо, преподаватели не могли, они были сами невежественны и замордованы, сами боялись и охраняли себя потоками ругани. Они сами не понимали, что тут главное. А Фок взял, сел, изучил и увидел, что здесь есть очень существенные рациональные вещи.

Фок говорил то, что думал.

Интервью провели
Г. Е. Горелик и И. В. Дорман
28.2.1990 г.

В. А. Фок и квантовые доты

Л. А. Фальковский,

доктор физико-математических наук

Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау РАН Черноголовка

В СВОЕЙ АВТОБИОГРАФИИ¹ Владимир Александрович скупой писал: «С августа 1927 по август 1928 г. по рекомендации профессора Эрэнфеста я был зачислен членом Международной организации по образованию (International education board fellow) и провел это время в Геттингене, где тогда работали над проблемами только что возникшей квантовой механики профессор М. Борн и другие крупные физики»¹.

Следует добавить, что за время научной командировки в Геттинген Фок выполнил блестящие исследования в квантовой механике, поставившие его в ряд ведущих теоретиков мира. Но достойно особого внимания, что одной из этих работ, скромно им названной «Замечание о квантовании гармонического осциллятора в магнит-

ном поле»², суждено было испытать пик цитируемости спустя 60 лет.

Фок рассмотрел двумерный квантовый осциллятор в постоянном магнитном поле и нашел его уровни энергии. В статье ничего не сказано о возможном приложении. Недавно выяснилось, что была изучена наиболее простая модель квантового дота (от английского dot — точка; не надо связывать с аббревиатурой военного времени).

Квантовый дот — это физический объект, который часто приводят в качестве примера нуль-мерной, т. е. не имеющей протяженности, системы. Создают квантовые доты на поверхности полупроводника так, что движение электрона в нормальном к поверхности направлении ограничено преде-

лами инверсионного слоя. В тангенциальном направлении современная технология позволяет вырастить потенциальную яму размером, сравнимым с радиусом связанного состояния в ней — отсюда представление о нуль-мерности дота. Благодаря большой диэлектрической проницаемости полупроводника и малой эффективной массе носителей заряда размер ямы имеет макроскопический масштаб — порядка 100 Å.

Прикладывая постоянное магнитное поле, можно изменять энергию уровней в доте. Таким образом, получается резонатор с перестраиваемой частотой, что очень удобно для технических применений.

К сожалению, получить выражение для уровней в двумерной яме с бесконечно высокими стенками не удается (в отличие от одномерной ямы) даже в отсутствие магнитного поля. Задачу можно решить численно. Однако точный результат интересен сам по себе,

© Фальковский Л. А. В. А. Фок и квантовые доты.

¹ Физики о себе. Л., 1990. С. 158.

² Fock V. Bemerkung zur Quantelung des Harmonischen Oszillators im Magnetfeld // Zeitschrift für Physik. 1928. Bd. 47. N 5—8. S. 446—448.

а кроме того, необходим как промежуточный, например, для анализа влияния формы дота. Можно попытаться смоделировать двумерную яму посредством квадратичного потенциала с некоторой характерной частотой. Увеличение этой частоты качественно соответствует уменьшению размера ямы. Уровни в квадратичном потенциале — уровни осциллятора —

известны. Задача решается точно и при учете постоянного магнитного поля. Именно эту задачу рассмотрел Фок на заре квантовой механики. Можно лишь догадываться, почему он ею заинтересовался.

С этой работой связана в настоящее время достаточно широкая область физики твердого тела. Изучается поведение регулярных и нерегулярных ре-

шеток дотов. Созданы и системы антидотов, когда недоступное для электронов пространство представляет собой решетку изолированных пятен. Для построения соответствующей электродинамики и кинетики используются как представления зонной теории, так и сложная математика неупорядоченных систем.

Фок и Капица

Эпистолярная хроника

П. Е. Рубинин

Москва

КОГДА НАЧАЛАСЬ дружба В. А. Фока и П. Л. Капицы? Что связывало этих столь непохожих людей?

«Я ОЧЕНЬ СИЛЬНО ПЕРЕЖИВАЮ АРЕСТ ФОКА»

10 марта 1933 г. В. А. Фок посылает Капице в Кембридж свою заметку об одной неверной, на его взгляд, работе, опубликованной в «Proceeding of the Royal Society», и просит передать ее в этот журнал. В этом же письме он спрашивает, «как обстоят дела с возможностью напечатания» его книги (какой — не говорится) в Англии. Дело в том, что Капица, вместе с Р. Фаулером, был основателем и главным редактором Международной серии монографий по физике издательства «Кларендон пресс» при Оксфордском университете, и у него с Фоком, по-видимому, был на эту тему разговор во время пребывания Петра Леонидовича в Ленинграде в 1932 г.

Капица отвечает по-английски. Он — директор Мондовской лаборатории Королевского общества, у него — секретарь, мисс Стеббинг. Он ей диктует свои деловые письма, включая и письма в Москву, Ленинград и Харьков. Лишь очень близким друзьям и родным он пишет по-русски, от руки. В. А. Фок в число самых близких друзей тогда не входил... В своем ответном письме Капица сообщает, что передал заметку Фока П. Диразу, который, ознакомившись с ней, представит ее в журнал. Что касается книги, то Капица пишет, что ждет возвращения Фаулера из Америки, чтобы окончательно решить этот вопрос.

1937 год. Капица — директор только что построенного в Москве на Воробьевых горах Института физических проблем. В феврале он приезжает в Ленинград навестить свою мать. И здесь узнает об аресте В. А. Фока. 12 февраля он пишет В. И. Межлауку, заместителю председателя СНК СССР: «Меня тут в Ленинграде очень взволновало известие, что вчера арестовали физика В. А. Фока. Я его считаю нашим самым способным физиком-теоретиком, его работы по приближенным методам интегрирования волновых уравнений современной электродинамики считаются классическими, их знают сейчас всюду, они вошли в курсы...»

Капица пишет человеку, с которым у него, несмотря на очень порой острые споры и даже конфликты, установились хорошие деловые отношения. Межлаук, после того как Капице не разрешили в сентябре 1934 г. вернуться в Англию, осуществлял над ним в некотором роде «шефство», помогал ему строить институт и добывать для него научное оборудование.

«Я очень сильно переживаю арест Фока, — продолжал Капица. — Меня разбieraет страх, что это грубый, недостаточно продуманный акт. Он может принести большой вред нашей науке. Я так волнуюсь, что написал, правда, очень кратко, тов. Сталину об Фоке. Иначе я буду чувствовать, что я не сделал все, что могу, чтобы предотвратить, как мне кажется, большую ошибку. Сердитесь на меня, как хотите, но я иначе не мог поступить»¹.



П. Л. Капица и В. А. Фок. 60-е годы.

По-видимому, Межлаук, который хорошо знал Сталина, просил Капицу не делать таких вещей — от греха подальше...

Но Капица написал, и написал без всякой «дипломатии». Судите сами: «Такое обращение с Фоком,— говорится в письме,— вызывает как у нас, так и у западных ученых внутреннюю реакцию, подобную, например, [реакции] на изгнание Эйнштейна из Германии»².

Поставить на одну доску нашу «социалистическую» страну и фашистскую Германию — подобное и сейчас еще кое у кого вызывает содрогание и воспринимается чуть ли не как кощунство. Можно представить себе, как такое сравнение воспринималось в 37-м.

В письме к Сталину Петр Леонидович не побоялся прибегнуть к этому сравнению как к сильно действующему лекарству. Оно было проглочено. И подействовало, как ни странно, очень быстро. Фантастически быстро.

Фок был арестован 11 февраля 1937 г. А уже 15 февраля, в 16.30, был доставлен на Лубянку, где в огромном служебном кабинете его «принял» Н. И. Ежов.

«— Вы человек ученый,— сказал он Фоку,— кругом не смотрите, а вокруг вас всякая шпана. Так вы от нее подальше. И с иностранцами поосторожнее, особенно с немцами. Кто их знает: они приезжают как физики, а смотрят-то другое...

— Так вы меня освобождаете? — спросил Фок.

— Да. Вы завтра будете в Ленинграде.

— В самом деле? Вот спасибо вам! Значит, меня надежда не обманула и вы увидели, что я не виноват. А в Ленинграде мне следователь говорил, что моя вина будет бы доказана...

— Поторопились товарищи. Ошибка вышла...»³

Владимир Александрович был тут же освобожден. Он зашел к И. Е. Тамму, одолжил у него денег на билет и в Ленинград добирался уже без конвоя.

Проходит год, страшный год в жизни страны. И 28 апреля 1938 г. Капица вновь обращается к Сталину.

«Сегодня утром,— пишет он,— арестовали научного сотрудника Института Л. Д. Ландау. Несмотря на свои 29 лет, он,

³ Разговор приводится по записи, сделанной В. А. Фоком сразу после возвращения в Ленинград. Запись хранится в архиве семьи В. А. Фока.

² Там же.

вместе с Фоком, самые крупные физикотейоретики у нас в Союзе...»⁴.

На этот раз письмо к Сталину не «сработало», хотя Капица, конечно, имя Фока упомянул, чтобы напомнить вождю народов: посадили одного самого крупного советского физика-теоретика. Сорвалось. Теперь второго сажают?

Намека не поняли. Да и Межлаука не было. Он сам теперь сидел в тюрьме и 29 июля 1938 г. был расстрелян...

Капица, как известно, все-таки удалось вырвать Ландау из когтей НКВД, и случилось это ровно год спустя, день в день после того, как Лев Давидович был арестован. В самый, может быть, последний момент — Ландау погибал⁵. Он помнил об этом до последних дней...

Владимир Александрович Фок тоже никогда не мог забыть, что Капица спас ему жизнь... Думаю, что он как никто другой понимал, что пришлось пережить его младшему коллеге, выдающийся талант которого он ценил очень высоко.

«Ландау непременно нужно провести в члены-корреспонденты, и я надеюсь, что это удастся», — пишет он Капице 19 января 1941 г.⁶ К письму был приложен пространственный отзыв о научных трудах Ландау, написанный от руки, который Фок просил перепечатать и вернуть ему. Вот что там говорилось:

«Характерной особенностью научного творчества Л. Д. Ландау является его блестящая физическая интуиция, позволяющая ему при изучении каждого физического явления охватывать самые существенные факторы и создавать картину явления. В этом отношении можно поставить Л. Д. Ландау на первое место среди физиков-теоретиков Советского Союза (выделено мною. — П. Р.). Наряду с этим Л. Д. Ландау прекрасно владеет математикой и умеет пользоваться ею для формулировки и решения физических задач. При этом его интересует главным образом качественная, а не количественная сторона задачи».

Завершает свой отзыв Владимир Александрович такими словами: «...профессор Л. Д. Ландау является исключительно талантливым физиком-теоретиком, умеющим пролагать новые пути в науке. Он много дал советской, а тем самым мировой науке и еще больше обещает дать. Избрание его

в число членов-корреспондентов Академии наук СССР⁷ вполне соответствовало бы его научным заслугам и содействовало бы успеху ведущейся в Академии наук работы в области физики»⁸.

Под этим отзывом поставил свою подпись и Капица. Он подписал также и представление в Отделение физико-математических наук — вместе с Фоком.

Полтора года спустя имя Ландау вновь появляется в одном из писем Фока. На этот раз поводом послужила книга Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица «Статистическая физика», которая, видимо, его сильно огорчила. В самый разгар войны, в июле 1942 г. Фок пишет Капице:

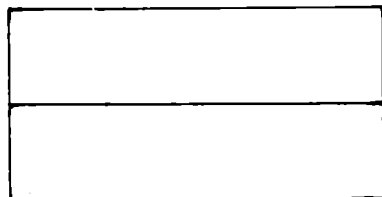
«Дорогой Петр Леонидович! Мне не хочется тратить свое время и силы (которых не так много, так как я чувствую себя плохо) на подробный разбор путаницы и ошибок в книге Ландау и Лифшица. Это очень неблагодарная задача и приведет только к еще большей обиде на меня Ландау. Но по поводу той задачи, которая Вас вчера заинтересовала, я написал подробную объяснительную записку, при сем прилагаемую. Мне показалось, что это стоит сделать в виду простоты задачи и легкости разобрать в ней до конца.

Под, ийте над ней минутку, и я уверен, что Вы со мной согласитесь!

Преданный Вам В. Фок».

К письму приложена «записка» на четырех рукописных страницах, выдержку из которой я приведу, для иллюстрации.

«Задача № 1



Ответ: Прямоугольник, разделенный пополам прямой, параллельной одной из сторон. Ответ по Ландау: Каранет ведет верблюда»⁹.

Не знаю, как «реагировал» Капица на жалобу Фока. Могу только сказать, что отношение самого Петра Леонидовича к математике было весьма своеобразным. «Математика есть метод мышления для

⁴ Капица П. Л. Письма о науке. С. 174.

⁵ См.: Горелик Г. Е. Моя антисоветская деятельность... (Один год из жизни Л. Д. Ландау) // Природа. 1991. № 11. С. 93—104.

⁶ Воспоминания о Ландау. М., 1988. С. 347.

⁷ Выборы в Академию наук СССР в 1941 г. не состоялись. Л. Д. Ландау был избран сразу действительным членом АН СССР 30 ноября 1946 г.

⁸ Физики о себе. Л., 1990. С. 416—417.

⁹ Личный архив П. Л. Капицы. Хранится в Институте физических проблем РАН.

умственно ограниченных людей, для людей без воображения», — записывает он в тетрадь «Для памяти» в 1966 г.¹⁰ «Кто сказал, что физики должны быть хорошими математиками? — задает он риторический вопрос на заседании оргкомитета физико-математической олимпиады школьников в 1965 г. — Почему у нас такая плохая физика? Поэтому что у нас отбирают физиков с математическим уклоном. Все великие физики были плохими математиками»¹¹.

И есть еще рисунок Анны Алексеевны Капицы со стихотворной подписью племянника Петра Леонидовича — Леонида Леонидовича Капицы. Посмотрите на этот рисунок, прочитайте подпись. В комментариях, я думаю, нужды не будет...

ФИЗИКА «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ» И «АКАДЕМИЧЕСКАЯ»

1944 год. И Фок, и Капица — в Москве. Капица — начальник Главного управления по кислородной промышленности при СНК СССР. Под его руководством в Балашихе завершается строительство кислородного завода. Дел у него на строительстве завода, в Главкислороде, в Институте физических проблем и в конструкторских бюро — невпроворот. Но есть дело, которое к кислороду прямого отношения вроде бы не имеет, но которое Капица всегда считал самым важным, жизненно важным. Речь идет о подготовке научных кадров, научной смены...

Ведущих физиков и математиков страны беспокоит положение, сложившееся на физическом факультете МГУ. Весной 1944-го группа академиков обращается к председателю Комитета по высшей школе С. В. Кафанову с письмом, полный текст которого приводится ниже. (К сожалению, копии этого письма, которые хранятся в архиве П. Л. Капицы, не датированы):

«Многоуважаемый Сергей Васильевич, Московский университет должен быть ведущей и образцовой школой для наших молодых ученых.

Состояние физического факультета этого университета вселяет в нас беспокойство. Основным условием правильного воспитания молодежи является подбор профессорских кадров. Несомненно, к работе Московского университета должны быть по возможности привлечены наиболее выдающиеся наши ученые.

Недавно нам стало известно, что на

конкурсе по кафедре теоретической физики стоял вопрос о выборе между проф. Власовым и чл.-корр. Академии наук СССР Таммом.

Тамм хорошо известен как ученый, ряд его работ имеет общее признание; им был воспитан также ряд наших молодых ученых, в том числе и Власов.

Что касается Власова, он проявил себя как способный начинающий ученый, не имеющий еще большого педагогического опыта.

Кафедру теоретической физики Московского университета надо рассматривать как ведущую в Советском Союзе и поэтому несомненно выбор ее руководителя должен быть произведен с большой ответственностью.

Московским университетом этот выбор сделан в пользу проф. Власова.

Просим Вас не отказать ознакомить нас с материалами и заключениями физико-математического факультета Московского университета, приведшими к выбору Власова на эту кафедру, а также обсудить этот вопрос с нами.

	Академики:	
Алиханов	Крылов	Соболев
Папалески	Капица	Христианович
Вавилов	Фрумкин	Бернштейн
Лебедев	Семенов	Курчатов» ¹² .
Фок	Мандельштам	

Результатом этого обращения 14 академиков стало назначение заведующим кафедрой теоретической физики МГУ В. А. Фока.

Проработав на этом посту два месяца, Владимир Александрович 5 июля 1944 г. направляет Капице большое письмо-ответ о положении дел на физическом факультете МГУ.

Это письмо, а главное, тот факт, что оно было адресовано Капице, наводит на мысль, что Петр Леонидович взял, по-видимому, на себя тогда функции организатора и координатора действий «академической» физики, направленных на «оздоровление» физики «университетской».

Подтверждением этого предположения могут служить и шаги, предпринятые Капицей после того, как он получил письмо Фока.

7 июля он направляет это письмо (первый экземпляр!) секретарю ЦК ВКП(б) Г. М. Маленкову, который в те годы отвечал в ЦК и в Совнарком за развитие новой техники и с которым у Петра Леони-

¹⁰ Там же.

¹¹ Из моей записной книжки. — П. Р.

¹² Личный архив П. Л. Капицы.

довича установились очень хорошие деловые отношения.

«Товарищ Маленков,— писал Капица в сопроводительном письме,— я думаю, что Вам будет интересно письмо ак. Фока об университете. Оно написано очень прямо. В нашу эпоху это правильно.

Мы живем в эпоху, когда жизнь состоит из света и теней. Полутона будут вписывать последующие поколения. Сейчас вопрос с Фоком, мне кажется, неразрывно связан с принципиальными вопросами единой организации науки и, следовательно, руководящим влиянием Акад. наук. Это очень важно.

Я согласен с мнением и выводами Фока и думаю, что другие академики-физики в основном разделяют эти взгляды.

Уважающий Вас

П. Капица

Р. С. Если Вам не нужен оригинал, то, пожалуйста, верните»¹³.

Оригинал письма В. А. Фока Маленков не вернул, но в архиве П. Л. Капицы хранится 2-й экземпляр, подписанный автором. Приводим полный текст письма В. А. Фока:

«Дорогой Петр Леонидович,

По Вашей просьбе пишу Вам о делах Московского университета.

Двухмесячное пребывание мое в должности заведующего кафедрой теоретической физики Московского университета позволило мне несколько ближе познакомиться с тем глубоко ненормальным положением, которое создалось на физическом факультете МГУ. Мне хочется сообщить Вам те выводы, к которым я пришел.

1. Несмотря на то, что в состав физического факультета входят отдельные крупные физики (Вы, акад. Л. И. Мандельштам, чл.-корр. АН проф. М. А. Леонтович, чл.-корр. АН проф. Д. В. Скобельцын и немногие другие), эти ученые фактически отстранены от руководства факультетом и никакого влияния на дела факультета не имеют; мало того, такой крупный физик-спектроскопист, как чл.-корр. АН проф. Г. С. Ландсберг вынужден был даже перейти на другой (математический) факультет. С мнением этих крупнейших физиков администрация университета абсолютно не считается и о них вспоминает только тогда, когда надо блеснуть чьим-нибудь именем.

2. Состав факультета засорен весьма многочисленной группой посредственных физиков, из которых некоторые давно

прекратили научную работу и в современной физике совершенно не разбираются. К этой группе принадлежат: декан, член-корр., проф. А. С. Предводителей, профессор: Ильин, Кастерин, Тимирязев, Корчагин, Теодорчик, Млодзеевский, Семенченко, Капцов, чл.-корр. АН проф. Аркадьев, проф. Глаголева-Аркадьева и многие другие, составляющие в общей сложности большинство (более 2/3 ученого совета факультета).

Особо выделяется своею агрессивностью член АН БССР проф. Н. С. Акулов, печатающий ошибочные (чтобы не сказать лженаучные) статьи по химической кинетике и применяющий совершенно недопустимые полемические приемы против своих научных противников.

3. Руководство факультетом находится в руках проф. А. С. Предводителя, который, хотя, по-своему, человек и добросовестный и посвящает своим обязанностям много времени, но объективно приносит большой вред университету тем, что занимает пост, абсолютно не соответствующий его слабой научной квалификации.

А. С. Предводитель имеет ряд ошибочных работ (неошибочные его работы мне не известны) и современной физики не знает и не понимает ее духа. Общее же направление его, как и ряда других влиятельных членов факультета, можно характеризовать стремлением опровергнуть существующие физические теории путем возвращения к старым идеям. Я не хочу сказать, что все существующие физические теории незыблемы, но естественный ход развития физики показал, что опровержение или радикальное изменение старой теории возможно только с высшей точки зрения, причем оно наступает само собой, когда старая теория оказывается пройденным этапом. А. С. Предводителем же и его единомышленниками поддерживается стремление к «опровержению» ради «опровержения»: сперва ставится задача что-то опровергнуть, а затем подыскиваются (при этом, разумеется, всегда неудачно) средства для этого.

Примерами поддержки таких опровергательных тенденций могут служить: а) выдвижение и защита лженаучной работы Кастерина, содержащей попытку получения уравнений электромагнитного поля гидродинамики (напечатана в отд. издании Академии наук в 1937 г.; уничтожающий критический разбор ее, написанный по поручению Академии, напечатан в Известиях физического отделения Ак. наук в 1938 или в 1939 г.); б) напечатание средствами МГУ

¹³ Там же.

нелепой книги Н. С. Акулова «Основы химической кинетики»; в) поддержка неверных идей профессора МГУ А. А. Власова.

Проф. А. А. Власов играет настолько активную роль на факультете, что о нем стоит сказать подробнее. Это молодой профессор, недавно сделавший хорошую работу по теории электронной плазмы и защитивший ее в качестве докторской диссертации. Он — способный человек, крайне самолюбивый и неуравновешенный. Он ученик А. С. Предводителя и И. Е. Тамма. В настоящее время он фанатически увлечен неверной идеей о том, что метод, примененный им к решению задачи о плазме, имеет будто бы универсальный характер. Он воображал, что ряд разнородных явлений, как-то: сверхтекучесть гелия, сверхпроводимость, флуктуации, упругость и пр. (явления, которые на самом деле едва ли между собою связаны) имеют общую причину — наличие «далеких взаимодействий». При этом он думает, что эта причина может быть учтена его формальным методом. Убедительных доводов в пользу своей идеи он привести не в состоянии, но он часто выступает с декларациями о том, что нужно «искать новых путей в науке» и т. п., причем выставляет себя новатором, а всех прочих (внеуниверситетских физиков) консерваторами. Убеденности, с которой он произносит свои декларации, и следует приписать, вероятно, то влияние, которым он пользуется в ВКВШ (Всесоюзный комитет по высшей школе.— П. Р.) и МГУ (об этом влиянии можно судить по тому, что мое несогласие на назначение Власова моим заместителем явилось, по-видимому, достаточной причиной для моего увольнения из МГУ*). А. С. Предводители всячески внушает А. А. Власову, что он гений, и этим, по-моему, губит его: из него мог бы выработаться настоящий ученый, а сейчас он стоит на прямом пути к тому, чтобы стать лжеученым.

4. Таким образом, личный состав физического факультета МГУ (в особенности же молодые сотрудники) не только лишен правильного научного руководства, но и испытывает настойчивое давление в сторону лженауки. Средства, которыми укрепляется существующее ненормальное положение вещей и при помощи которых оказывается давление, разнообразны: а) недопущение выдающихся советских физиков, особенно

из числа активно боровшихся с лженаукой (например, чл.-корр. АН СССР проф. И. Е. Тамма) к работе в МГУ; б) показное допущение (для «марки») отдельных настоящих ученых на факультет при фактическом устранении их от участия в делах факультета и при настойчивом противодействии их мероприятиям в пределах порученной им кафедры (например, моя попытка работать на кафедре теоретической физики); подбор личного состава из числа молодежи не по признаку талантливости, а по признаку поддержки существующего руководства или «непротивления» ему; г) выдвижение и представление ученых степеней, аспирантских, докторских и других стипендий, квартир, пайков и т. п. не талантливым, а «покорным» людям, в результате чего самостоятельно мыслящая талантливая молодежь бежит из университета, а способные молодые люди, кончающие среднюю школу и желающие стать научными работниками в области физики, вообще не идут в Московский университет; д) распространение ложных сведений о нежелательных руководству лицах (например, обо мне, будто я хочу уволить половину состава кафедры, в том числе проф. Блохинцева, которого я на самом деле не только не хотел уволить, но назначил своим заместителем; о И. Е. Тамме, будто бы он в свое время ушел из университета, хлопнув дверью, и т. п.; е) использование лозунга самобытности русской науки для поддержки лженауки.

5. В результате, группа физиков, играющая руководящую роль в МГУ, совершенно отгородилась от основной массы советских физиков и научных физических школ Советского Союза. Создалось такое положение, что работать в университете считается почти что неприличным. Это всеобщее мнение не лишено основания, так как на подчинение господствующему на факультете духу уважающий себя человек не пойдет. Вместе с тем, указанная группа университетских физиков позволяет себе выступать от имени русской физики в целом: так было, например, на конференции в МГУ 5—12 мая с. г., где доклады о русской физике делали лица, не имеющие ни одной хорошей научной работы, причем высказывали иногда полное незнание современной физики.

6. Принятое недавно Советом Московского университета постановление о замещении всех профессорских и доцентских должностей по конкурсу автоматически ведет к стабилизации существующего по-

* В данный момент я еще формально не уволен, но очевидно, что мое увольнение на днях состоится.

ложения на всех факультетах. Если эта стабилизация желательна и целесообразна на тех факультетах, где (как например, на математическом) положение удовлетворительно, то она крайне нежелательна на физическом факультете.

7. Председатель ВКВШ тов. С. В. Кафтанов не отдает себе, по-видимому, полного отчета в ненормальном положении на физическом факультете МГУ, а замечает только отдельные, более внешние его стороны, например, отчужденность университетских физиков от академических. Основных же линий раздела: талант — посредственность, наука — лженаука, он как бы не замечает. Мне кажется, что по мнению тов. Кафтanova существуют две приблизительно равноценные в научном отношении группы физиков: «университетская» и «академическая», и он одинаково терпимо относится к обеим группам. Идти против господствующего на физическом факультете течения он не хочет и, в частности, никакой поддержки моим попыткам улучшить положение, хотя бы в масштабе кафедры теоретической физики, он не оказал.

Делясь с Вами моими впечатлениями о положении на физическом факультете, я не затрагиваю здесь вопроса о том, что нужно сделать, чтобы исправить это положение. Мне кажется, однако, что нужно начать с того, чтобы: а) ходатайствовать перед Правительством о назначении авторитетной комиссии из числа академиков-физиков для обследования положения на факультете и б) добиться смены руководства факультетом, т. е. увольнения с должности декана проф. А. С. Предводителя и назначения деканом настоящего ученого, притом имеющего достаточный административный опыт. Если Вы предпримете в этом направлении шаги, я готов буду их поддержать.

Преданный Вам

В. А. Фок

5 июля 1944 г.»

Переправив письмо В. А. Фока Маленкову, Капица тут же перешел к следующему этапу тщательно, по-видимому, разработанной им наступательной операции. В архиве П. Л. Капицы сохранились черновые варианты и копии письма на имя заместителя председателя СНК СССР В. М. Молотова. Эти материалы с очевидностью свидетельствуют, что Капица был не только главным организатором всей этой операции, но и одним из основных авторов письма «наверх». Первоначально письмо Молотову

подписали академик-секретарь Отделения физико-математических наук и вице-президент АН СССР А. Ф. Иоффе и академики А. И. Алиханов, П. Л. Капица и А. Н. Крылов, тесть Петра Леонидовича, который жил тогда в Москве, в квартире при Институте физических проблем. (Судя по всему, в ИФП размещалась тогда штаб-квартира всей этой операции, и все письма, включая и письмо В. А. Фока от 5 июля, были напечатаны на одной машинке (выделено мною. — П. Р.) с характерным дефектом: буква «ф» была на машинке только в прописном варианте: Ф — проФ. такой-то, например...). Затем письмо Молотову подписали Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси... С. И. Вавилов и И. В. Курчатов выступили с отдельными письмами. На копии письма к Молотову рядом с их именами пометка «особ. м».

Академики направляют В. М. Молотову письмо В. А. Фока и в своем письме подчеркивают: «В этом письме правильно и четко формулируются основные недостатки факультета, и мы разделяем высказанные в нем взгляды». В «постановляющей части» письма они пишут:

«1. Как неотложную меру мы считаем необходимым снятие с руководства факультета профессора А. С. Предводителя, который, хотя и является членом-корреспондентом Академии наук СССР по техническим наукам, но не может рассматриваться как представитель передовой физики;

2. Руководителем факультета следует назначить одного из ведущих советских физиков. В качестве подходящих для этой цели лиц мы можем назвать проф. И. В. Обреимова, проф. М. А. Леонтовича (оба члены-корреспонденты Академии наук СССР), академика В. А. Фока;

3. Мы считали бы желательным привлечение Отделения физико-математических наук в целом к ответственному делу реорганизации преподавания на физическом факультете Московского государственного университета».

Наряду с этим письмом в архиве П. Л. Капицы сохранилась копия письма И. В. Курчатова от июля 1944 г. (число на копии не проставлено) на имя В. М. Молотова, его «особое мнение». Вот в чем оно заключалось:

«При создавшейся обстановке, — пишет Курчатов, — единственным решающим мероприятием, которое, на мой взгляд, могло бы изменить в корне положение вещей на факультете, является поручение руководства факультетом прославленному

русскому ученому академику Петру Леонидовичу КАПИЦЕ».

Никакого отклика на письмо академиков-физиков не последовало, и 7 сентября 1944 г. Капица пишет Молотову письмо, в котором упрекает его за молчание: «Вы сами ведь указывали на желательность борьбы с лженаукой! — выговаривает он заместителю председателя СНК СССР. — ...Если физическое отделение Академии наук неправильно судит о физике, то тогда ведь надо реформировать Академию наук. Ведь § 1 устава Академии наук гласит, что она является высшим научным учреждением СССР. Важно ее авторитет поддержать»¹⁴.

«ЗА ЧТО МЫ ЛЮБИМ ФОКА»

Атака академиков-физиков успехом не увенчалась. И тогда Капица, который никогда не сдавался и не опускал рук, все свои усилия направляет на создание физико-технического института, не зависящего от университетской физики. Вместе с С. А. Христиановичем и авиаконструктором А. С. Яковлевым он в январе 1946 г. обращается к Сталину с предложением создать в Москве Высшую физико-техническую школу. Это предложение было принято, и в сентябре 1947 г. начались занятия на новом, физико-техническом, факультете МГУ, преобразованном впоследствии в Московский физико-технический институт. Заведующим кафедрой общей физики на этом факультете был назначен П. Л. Капица, который, по очереди с Л. Д. Ландау, читал также курс общей физики — экспериментальную часть этого курса...

К тому времени это была его единственная должность, единственная «оплачиваемая» работа — бюрократический аппарат и лжеученые в мае 1946 г. перешли в контратаку на одного из главных своих противников, и 17 августа 1946 г. Сталин подписал секретное постановление Совета Министров СССР об освобождении Капицы от должностей начальника «Главкислорода» и директора Института физических проблем. Спустя месяц, 20 сентября, Капица «вторично», на этот раз «гласно», постановлением Президиума Академии наук был снят с поста директора созданного им института.

Владимир Александрович Фок, который, по-видимому, не знал о секретном постановлении Совета Министров СССР,



Пьеро смущен
И огорчен

Таким невиданным скандалом —
Так обращаться с интегралом!
Попирать нули и бесконечности!
Ах, где конец твоей беспечности!
О Коломбца, Коломбца,
Ну разве можно так резаться!

Шарж Анны Алексеевны Капицы. Стихи Леонида Леонидовича Капицы. 1953 г.

пишет 16 февраля 1947 г. Сталину письмо, чем-то очень напоминающее письмо, которое ровно десять лет назад Капица написал Сталину — о Фоке! (Очень близки, например, исторические аналогии: Эйнштейн в одном случае, Менделеев — в другом.)

Черновик письма В. А. Фока хранится в Петербургском Удлении Архива РАН. Копию его мне любезно передала Г. А. Савина.

Вот это письмо:

«Глубокоуважаемый И[осиф] В[иссарионович]!

Обращаюсь к Вам по делу, касающемуся Академии наук. Состоявшееся 20 сентября 1946 г. снятие академика П. Л. Капицы с поста директора созданного им Института физических проблем произвело на всех советских ученых крайне

¹⁴ Капица П. Л. Письма о науке. С. 217.



Зимой в Комарове. 1961 г.

тяжелое впечатление, не только потому, что П. Л. Капица является исключительно крупным ученым, каких мало во всем мире, но и потому, что П. Л. Капица — на редкость прямой и честный человек, горячо любящий свою Родину и посвящающий все свои силы на пользу советского государства. В истории Академии наук снятие П. Л. Капицы с поста директора останется печальным фактом, подобным факту забаллотирования Д. И. Менделеева в старую Академию.

Одного Вашего слова, сказанного президенту Академии наук, было бы достаточно, чтобы восстановить П. Л. Капицу на посту директора и дать ему возможность работать в своем любимом институте, и я от души надеюсь, что Вы скажете это слово.

Я обращаюсь к Вам с этим письмом потому, что, быть может, никто другой из академиков не знает так близко П. Л. Капицу как ученого и как человека, или не решится довести до Вашего сведения об общественном мнении кругов советских ученых и, с другой стороны, потому,

что это дело касается не только Академии, но является делом государственной важности.

С глубоким уважением

В. Фок
академик, лауреат
Сталинской премии».

Ответом на это письмо Владимир Александрович не получил, и трудно представить себе, чтобы Сталин хотя бы слово сказал С. И. Вавилову в защиту Капицы — ведь он сам снял его со всех постов, а Вавилов лишь выполнял «высочайшие» распоряжения. К тому же Капица, как мы знаем теперь, очень обидел главного соратника вождя — Л. П. Берия, который возглавлял тогда Специальный комитет по атомной бомбе. Капица, который был членом этого комитета, в своем письме Сталину от 25 ноября 1945 г. писал: «Товарищи Берия, Маленков, Вознесенский ведут себя в Особом Комитете как сверхчеловеки. В особенности тов. Берия. Правда, у него дирижерская палочка в руках. Это неплохо, но вслед за ним первую скрипку все же должен играть ученый. Ведь скрипка дает тон всему оркестру. У тов. Берия основная слабость в том, что дирижер должен не только махать палочкой, но и понимать партитуру. С этим у Берия слабо...»¹⁵

Для Капицы начались долгие, тревожные и очень опасные годы опалы. И все это время Владимир Александрович поддерживал его, приезжал к нему на Николину Гору. А в те годы немало было людей, которые успели раззнакомиться с опальным академиком...

Вот одно из писем Фока самого тяжелого, начального периода николюгорского затворничества.

«Дорогой Петр Леонидович! Я очень без Вас соскучился, но из-за сессии не дают за город машины и нет возможности к Вам попасть. А до сессии я ездил в Ивановскую область. Хочу Вас видеть непременно до своего возвращения в Ленинград — может быть, это удастся 3-го.

Преданный Вам В. Фок
28.X.47»¹⁶.

Вспомним, что это были за годы — конец 40-х — начало 50-х: волны арестов, одна за другой, зверское убийство Михоэлса, дикая злоба в газетах, страх в глазах людей — предсмертные судороги сталинского режима.

А теперь возьмем в руки **человеческий документ**, удивительное послание из

¹⁵ Там же. С. 243.

¹⁶ Личный архив П. Л. Капицы.

того страшного времени: поздравительный «адрес», написанный рукой Анны Алексеевны и переданный Владимиру Александровичу в день его 50-летнего юбилея.

«Николина Гора, 22/XII 1948 г.

За что мы любим Фока?

Мы любим его за его верность друзьям.

Мы любим его за его гражданское мужество.

Мы любим его за доброту его сердца. Мы знаем его прямоту и щедрость и мы ценим ту скрытую радость, которую ему доставляет искренняя благодарность.

Мы любим его за его упорство и упрямство, которые заставляют его добираться до сути дела и держаться своего мнения.

Мы любим его за его чуткость, за его детские хитрости и за его смешливость.

Мы любим его — да, мы просто любим его за то, что он Фок.

Вот этому дорожному Фоку мы желаем многие годы жизни, но не тихой и мирной, а жизни полной волнения исканий, творческого труда и гражданской доблести.

П. Капица
А. Капица».

В конце сороковых их дружба вновь, как и в 1944-м, когда они вместе пытались оживить физический факультет МГУ, приобретает черты сотрудничества, совместной работы. На этот раз в науке непосредственно, в родной физике...

Поскольку я не физик, говорить ничего об этой работе не буду, ограничусь лишь выдержкой из предисловия Капицы к его книге «Электроника больших мощностей»: «В своей начальной стадии эта работа... велась мною в тесном сотрудничестве с С. И. Филимоновым и С. П. Капицей. Незменный интерес к теоретическим вопросам проявлял В. А. Фок, давший ряд ценных советов. Я хочу поблагодарить моих друзей и сотрудников за то, что они в то время принимали участие в моей научной работе, несмотря на трудные условия, в которых она протекала в 1946—1952 гг.»¹⁷

Всего три имени названы Капицей — его ассистент, помощник, который работал с ними с 1936 г., сын и — Владимир Александрович Фок. Нетрудно представить себе, что значила для Капицы в те годы помощь Фока, непосредственное участие в исследованиях, которые проводились в «хате-лаборатории» на Николиной Горе!

В августе 1953 г., вскоре после ареста Бери, хата-лаборатория преобразовывается постановлением Президиума АН СССР в Физическую лабораторию АН СССР. Проходит еще год, и 5 августа 1954-го Капица отправляет Фоку следующее письмо:

«Дорогой Владимир Александрович, спешу послать Вам копию приказа. Как видите, теперь Вы сотрудник нашей лаборатории.

Привет.

Ваш П. Капица»¹⁸.

Проходит еще полгода, и Капица вновь директор Института физических проблем. И постепенно Физическая лаборатория перемещается в Москву, становится частью ИФП...

Долгие годы Владимир Александрович — старший научный сотрудник Института физических проблем, член Ученого совета Физической лаборатории. И когда он бывал в ИФП, он всегда обедал у Капицы...

Сидел по правую руку от Петра Леонидовича — не просто большой, а какой-то весь укрупненный, очень надежный и буквально излучающий порядочность и душевную чистоту.

Он был очень смешлив и смеялся как-то по-особенному, почти беззвучно, но очень выразительно — сотрясалась вся его могучая фигура, плечи, щеки, смеялись и радовались глаза.

Порой, однако, бывало и так, что Владимиру Александровичу не удавалось уловить смешное в некоторых шутках Капицы. А его недостаточная восприимчивость к острому и парадоксальному юмору, в котором озорной Капица был чемпионом и рекордсменом, подталкивала Петра Леонидовича иной раз к тому, чтобы сказануть в присутствии Фока такое, от чего Владимир Александрович вдруг запыхтит, покраснеет и поспешно покинет дом...

Они любили друг друга, это было видно, как говорится, невооруженным глазом...

Владимир Александрович скончался 27 декабря 1974 г. Весной 1975-го П. Л. Капица получил от его дочери текст некролога, подготовленный ленинградскими сотрудниками Фока. Некролог показался Капице суховатым, формальным, и он тут же заново переписал его. Сохранилась рукопись Капицы, несколько страниц, исписанных его стремительным почерком, разобрать который могла лишь одна Анна Алексеевна. В перепечатанный ею текст Петр Леонидович, а затем и М. А. Леонтович внесли кое-какие поправки. Некролог был еще раз

¹⁷ Капица П. Л. Электроника больших мощностей. М., 1962. С. 7.

¹⁸ Личный архив П. Л. Капицы.

перепечатан, подписан Капицей и Леонтовичем и отправлен в «Успехи физических наук».

Привожу из этой статьи отрывок, принадлежащий целиком руке П. Л. Капицы: «Основной особенностью таланта Владимира Александровича было виртуозное владение математическим аппаратом, который он с успехом применял в различных областях теоретической физики, создав ряд оригинальных методов анализа, которые останутся в науке, связанные с его именем. Еще в начале научной деятельности Фока, когда с ней ознакомился П. С. Эренфест, обыч-

но строгий и взыскательный критик, он со свойственной ему манерой выразил свое восхищение математическим талантом Фока; он сказал: «Fock kann einen Stifel ausrechnen» («Фок может вычислить и сапог»). В этой характерной для Павла Сигизмундовича форме выражения он давал наивысшую оценку таланту Фока, отмечая, что нет математической проблемы, с которой он не смог бы справиться. Эта характеристика так и утвердилась за Фоком навсегда...»¹⁹

¹⁹ Веселов М. Г., Капица П. Л., Леонтович М. А. Памяти Владимира Александровича Фока // Успехи физ. наук. 1975. Т. 117. Вып. 2. С. 375.

«Он был гораздо более доверчив, чем Петр Леонидович»

Беседа с А. А. Капицей

— Анна Алексеевна, была ли какая-то эволюция в отношении П. Л. Капицы к происходящему в стране? По сравнению, скажем, с началом 30-х годов!

— И 30-е годы были очень тяжелыми. Раскулачивание, деревня, это же не проходило мимо, это было самое тяжелое.

А физиков он всегда немедленно защищал. Он воспринимал это как безобразие нашего правительства, безобразие нашего строя. Он не скрывал это в своих письмах. То, что он написал Молотову, и то, что тот вернул ему письмо... Очевидно, Молотов был задет, потому что там была абсолютная правда. И просто не хотел слушать это от другого человека¹. Но Петр

Леонидович всегда, как только что-нибудь случалось с физиками, принимал участие. Он всегда считал, что его дело — защита науки, нельзя распыляться, нельзя заниматься всем.

— Особенно успешным такое участие оказалось в случае с Фоком. А вы можете найти какое-нибудь объяснение, почему так эффективно, почему так быстро это помогло!

— У нас никогда нельзя сказать — почему. Потому. С Межлауком у Петра Леонидовича были нормальные отношения. Межлаук часто обижался на него за его остроумие, за его озорство, а он был страшный озорник. Это, конечно, приводило в ужас всех — и Академию наук, и всех серьезных людей, он по-настоящему был озорник, с самого детства.

— А с Фоком Петр Леонидович был знаком до ареста!

— Да, он был очень большим другом моего отца (Алексея Николаевича Крылова.— Г. Г.), мы хорошо знали Фока, его семью. Потом он очень уважал Фока как замечательного теоретика и необыкновенного ученого. Фок всегда откликался

на все математические просьбы Петра Леонидовича. Когда Петр Леонидович просил его проверить какие-то математические выкладки, Фок это делал с удовольствием, но потом говорил: «Петр Леонидович, так с математикой не обращайтесь». То же самое говорил Петру Леонидовичу Алексей Николаевич. Петр Леонидович спрашивал: «Алексей Николаевич, вот вы проверили мою работу, разве это неправильно?» И Алексей Николаевич мрачно отвечал: «Нет, это все правильно, но очень некрасиво». Петр Леонидович говорил: «Для чего мне математика нужна? Чтобы она мне помогла». Но такой взгляд не разделяли ни Алексей Николаевич, ни Фок. Они всегда Петра Леонидовича всячески позорили за его математику. Но Петр Леонидович не обижался, он говорил: «Я обращаюсь с математикой так, как мне нужно».

— В этом смысле они были похожи с Ландау. Хотя он и теоретик, но отношение к математике похожее.

— С Ландау у Петра Леонидовича были необыкновенно хорошие отношения всю жизнь. Ландау был очень трудный человек, тоже озорник и любил подначивать людей, но с Петром Леонидовичем у них никогда не возникало недоразумений. Никогда! Петр Леонидович очень уважал Ландау как большого

¹ Речь идет о письме В. М. Молотову от 6 июля 1936 г. Оно было попыткой остановить начавшуюся было публичную травлю выдающегося математика академика Н. Н. Лузина. «Когда-то арестовали Лазарева, прогнали Сперанского, а теперь обрушились на Лузина. Немудрено, что от такого «нежного» обращения ученые, как Успенский, Чичибабин, Ипатьев и другие, бежали. Я по себе знаю, как безудушно вы можете обращаться с людьми», — писал Капица. Очень смелое и довольно откровенное письмо Петра Леонидовича касалось многих сторон взаимоотношения науки и власти. Сейчас автограф хранится в архиве П. Л. Капицы с резолюцией: «За ненужностью вернуть

гр-ну Капице. В. Молотов». (См.: Капица П. Л. Письма о науке. 1930—1980. М., 1989. С. 86—90.) — Прим. ред.

ученого и абсолютно не обращал внимания на его шуточки. Он говорил часто Ландау, что не к чему чересчур раздражать людей. Но это было просто в разговоре, это не были назидания.

— А вот Фок ведь совершенно другого типа человек. И с Ландау, при том, что Фок заступался за него, если надо было...

— Они не любили друг друга, нет. Может быть, ценили друг друга как ученые, но это были совершенно разные люди, и они не могли находить ничего общего в человеческих отношениях.

— А как вы воспринимали Фока!

— Как необыкновенно, глубоко порядочного человека. Такая интеллигентская черта порядочности, честности. Полное сознание того, что ты делаешь. Все это было у Фока.

— Его положение среди физиков было довольно изолированным!

— Во-первых, он был глухой. Это очень действует, в смысле контакта.

— В основном вызывало удивление, как я понимаю, что он очень высоко ставил диалектический материализм!

— Каждый человек имеет право на свое суждение. Я совершенно никогда не сомневалась в том, что тут все честно, аб-



солютно. Фок исключительно интересный человек, с большим чувством собственного достоинства, с характером. Фок — очень большая, своеобразная и интересная фигура. Очень! Особенно в нашей жизни. Потому что и стоит как-то обособленно.

— В некоторых его проявлениях усматривается какое-то чудачество, слишком теоретическое отношение к жизни!

— Наверное, это так. Фок мог, конечно, удивлять людей своими взглядами, но это

просто от непонимания его. Своеобразный человек — это не легкий человек. И он совсем не был легким человеком. Или всепрощающим. Ничего подобного. Фок иногда казался слишком доверчивым, это в его характере. У Петра Леонидовича и у меня не было такой доверчивости, мы всегда смотрели на все очень критически — так это на самом деле или не так. И все эти «процессы», и все такое для нас было совершенно ясно. Я не могу сказать, мог Фок верить или нет, но во всяком случае он был гораздо более доверчив, чем Петр Леонидович. Фок очень интересная и своеобразная фигура. И очень непростая.

— К сожалению, общественное мнение физиков принимает его упрощенно.

— Понимаете, физики-теоретики — бурно мыслящие люди. Такой человек, как Фок, который имеет какие-то свои точки зрения, может быть, даже никак не соответствующие точкам зрения других теоретиков, раздражает теоретиков гораздо больше, чем они — Фока. Фок на это смотрит более отвлеченно, а теоретики со своей необыкновенной возбудимостью и темпераментом, конечно, не могут переносить такого человека, который не реагирует на их шуточки.

Интервью провел Г. Е. Горелик
16.2.1990 г.

Воспоминания об отце

(отрывки)*

М. В. Фок

ОТЕЦ очень мало рассказывал о себе. Он был единственным мальчиком в семье, причем все его четыре сестры были старше. Жили они в Петербурге, одно время возле Александро-Невской лавры, недалеко от железной дороги. Вероятно, с тех пор он сохранил на всю жизнь любовь к «паровозникам», как он их называл.

Дома отца звали не Володей, а Одиком. Когда его внука назвали Владимиром, он, а за

ним и мы тоже стали называть его Одиком. Как-то среди старых бумаг нашлась записка: «Одик — 1 шоколадка, 1 мармеладка». Отец объяснил, что у них было заведено, если у кого-либо из детей болел живот, а всем выдавалось сладкое, то больному, чтобы не было обидно, выдавали записку и он мог получить сладкое после выздоровления.

В конце 1916 г. (или начале 1917), т. е. восемнадцати лет, отец ушел из университета в армию (кажется, тут какую-то роль сыграло начало потери слуха, затруднявшее слушание

© Фок М. В. Воспоминания об отце (отрывки).

* Полностью «Воспоминания» публикуются в журнале «Вопросы естествознания и техники», 1993, № 2—3.



Владимир Александрович Фок с супругой Александрой Владимировной Лермонтовой. Геттинген. 1927 г.

лекций). Он попал на Румынский фронт... Демобилизовался отец в 1917 или 1918 г., по-видимому, из-за потери слуха на почве отосклероза, начавшейся еще до ухода в армию. Я видел справку того времени: «Фок В. А. одержим отосклерозом». Теперь так не пишут.

Вернувшись в университет, отец продолжал учебу, но уже в совершенно других условиях — студентов было очень мало и общение с профессорами значительно облегчалось. От этого времени у него сохранились друзья на всю жизнь. Они были, конечно, между собой на «ты», но называли друг друга почему-то по имени-отчеству. Отец рассказывал, что его первая книга «Механика сплошных средин» написана на основе курса лекций, прочитанных им в качестве экзамена по теоретической механике вместо Ю. А. Круткова. «Он был большой сибарит», — добавил отец. Ю. А. Круткова он считал одним из своих учителей и был с ним дружен до самой его смерти. К Д. С. Рождественскому, пригласившему его в Оптический институт, отец относился с большим

уважением и говорил, что Рождественский спас его от голода.

В 1927 г. (или 1926) отец получил командировку в Геттинген, тогдашний центр теоретической физики. О тамошней жизни я знаю только со слов матери. Жили они (по-видимому, довольно скудно) в пансионе какой-то немки, которая кормила их супом то с вермишелью, то с «азбукой», но в супе с вермишелью попадалась «казбука» и наоборот. Однажды ночью отец громко произнес во сне: «Эти кванты совсем без навара». Когда утром мать спросила, что ему снилось, он ответил, что снился этот суп.

На научных семинарах отец, по-видимому, быстро завоевал авторитет. Мать рассказывала, например, что докладчики обычно косились в его сторону — если он беспокоился, значит, что-то неладно в рассуждениях. Вернулись отец и мать в 1928 г., незадолго до моего рождения.

Итак, мы живем в большой квартире (200 м²), с большими окнами и высокими потолками, на втором этаже двухэтажного дома, принадлежавшего моему деду со стороны матери (В. В. Лермантову). (Квартира, вероятно, считалась коммунальной с большим числом независимых съемщиков, но фактически там жили две семьи.) Папин кабинет, как, впрочем, и вся квартира, тесно забит мебелью. Папин письменный стол, большой, со львиными головами, крыт зеленым сукном и настолько завален бумагами, что сукна почти не видно. Папа сидит за ним в большом кожаном кресле, тоже со львиными головами, а за спиной у него — полки с книгами.

Днем я редко заходил в кабинет. Иное дело — вечером. Тогда в кабинете очень уютно — мама с папой сидят на диване, укрыв ноги старым пледом (у нас зимой всегда было холодновато). Возле них, тоже под пледом, сидит моя сестра Наташа, а я сижу в большом кожаном кресле и рисую орнамент. Мама читает нам вслух интересные книги, обычно — прямо с французского (но, конечно, по-русски). Это были сказки Ш. Перро, некоторые романы Ж. Верна и другие, так и не переведенные на русский язык интересные книги. Папа при этом читает свою книгу (он ведь не слышит, что читает мама). Иногда нам читал папа. Он, например, прочел «Мертвые души» по купленному им

роскошному изданию, громадного формата, с картинками на широких полях. Читал он так, что можно было ясно представить себе всех действующих лиц.

С 1935 г. наступили тревожные времена. Взрослые обсуждали убийство Кирова и говорили, что следы ведут куда-то очень высоко. Нашу дальнюю родственницу выслали в Караганду в 72 часа. Выслали и старого доктора Ниссена, который лечил меня и Наташу, и Наташиного учителя музыки. Я уже знал, что такое «черный ворон» и что есть какие-то вредители и враги народа. Начался обмен паспортов, но, как я слышал, новые паспорта давали не всем, а тем, кому не дали, бросались под трамвай. Взрослые иногда говорят друг другу: «Мне сказали, что такой-то ...» и многозначительно молчат. Мама встревоженно сказала: «Папу в журнале фашистом называют».

Однажды, когда мы уже спали, пришли какие-то люди, рылись в шифоньере с бельем. Утром я понял, что «тяжелая дверца» захлопнулась и за папой. Мама рассказала, что держались эти люди вежливо...

И вот, как мне кажется, месяца через два из Москвы пришла телеграмма, что он возвращается... Зайдя в университет, папа обнаружил, что в коридоре, где висят портреты профессоров, его портрета нет. Он спросил какое-то начальство, куда делся портрет, ему ответили: «Он в ремонте, рама попортилась». (Позже я узнал, что этот коридор с портретами называли «арестометр». По всей вероятности, отец зашел туда не случайно.)

После возвращения папы все пошло, как будто ничего и не случилось. Вскоре папу выбрали в академики. Незадолго до этого папе приснилось, что выбрали и его и нашего черного с белым кота, у которого фамилия Фог. И папа во сне размышлял: «Вот как неудобно — и фамилии похожи и адрес одинаковый, путать будут». Поэтому, когда пришло известие о выборах, папа пошел на кухню и пожал коту лапу. С тех пор кота звали «академик», и я уже не помню, как его звали раньше.

Работал отец тогда часов по десять в день (как он сам мне сказал) и выпускал около полутора десятков работ в год, почти всегда без соавторов. Темы работ были весьма разнообразны. Это не только квантовая механика и теория относительности, но и создание методов инженерных расчетов, например, расчет кабеля для Волховстроя, соз-

дание теории каротажа (электроразведки полезных ископаемых), расчет давления газов в канале ствола орудия. Последнюю тему предложил А. Н. Крылов. Он сказал, что в литературе по этому вопросу ничего интересного нет (трудность тут в том, что скорость снаряда сравнима со скоростью звука). Когда отец решил эту задачу и показал решение Алексею Николаевичу, тот снял с полки толстый том и сказал: «Здесь собраны основные работы по этому вопросу. Я не хотел их показывать, чтобы вы не пошли по ложному пути. И действительно, ваше решение, несмотря на его краткость, гораздо точнее всего, что здесь написано».

Война застала нас на даче. В августе, когда до нас пассажирские поезда уже не ходили, мы вернулись в Ленинград. Отец решил, не помню только когда, что ночевать нам следует на Васильевском острове, где было поспокойнее, и мы два или три раза ходили в Физический институт и ночевали там в лаборатории в полуподвале.

17 или 18 сентября отца вызвали в Смольный и сказали, что принято решение об эвакуации его с женой и детьми. «Это приказ и обсуждению не подлежит». Разрешается взять по чемодану на человека. Утром 19-го придет машина и отвезет на аэродром. Мы надели по два костюма, мама упаковала чемоданы, папа оставил в кабинете высокую стопку своих оттисков и написал сверху «Труды В. А. Фока».

Прилетев в Москву, мы отправились в Казань в плацкартном вагоне, почти как в мирное время, только белья и чая не было (кипяток, насколько я помню, был). С нами в одном вагоне ехал И. Е. Тамм. Я знал его раньше, он иногда заходил к нам в Ленинграде. Про поездку помню только, что он рассказывал разные смешные случаи и анекдоты. Доехали вполне благополучно и прибыли в Казани дня два-три...

В Елабугу плыли на пароходе, любовались высокими лесистыми берегами Камы.

Когда мне исполнилось 13 лет, папа подарил мне карманные часы и сказал, что его папа подарил ему карманные часы тоже, когда ему исполнилось 13 лет.

Весной мы, как и все филиальцы (сотрудники филиала ЛГУ), получили за городом участок под картошку (10 соток). Мы копали



Семейная встреча в Комарове.

Слева от Владимира Александровича его жена Александра Владимировна и дочь Наталья Владимировна. Справа — сын Михаил Александрович, жена сына Татьяна Николаевна Тананаева, племянница Татьяна Вячеславовна Молчанова и ее сын Александр Теодорович Дембо.

макушки от картошки всю зиму, так что у нас было, что сажать. Я не помню, принимал ли папа участие в «сельхозработах» (кажется, осенью он носил выкопанную картошку домой), зато помню, как я ходил с ним в лес заготавливать дрова.

Зимой 1942/43 г. папа, В. И. Смирнов и еще человека два из филиала ездили в Свердловск на сессию Академии наук. Это было трудное путешествие — более 70 км пешком и на санях до станции Кизнер, где надо было садиться на проходящий поезд. Сессию мама назвала «промтоварной», потому что все привезли оттуда кое-какие промтовары. В частности, папа привез новые галоши (и еще что-то, что не запомнилось).

С некоторого времени папа работал по теории радиолокации для Института № 108 в Москве. Работа была закрытая, и про этот институт я узнал много позже. Осенью же 1943 г. папа уехал в Москву и вернулся в

Елабугу в сопровождении молодого, подтянутого, даже несколько щеголеватого морского офицера, которому было поручено помочь папе переехать в Москву.

В декабре папа получил квартиру в новом доме, который был построен еще до войны, но внутри его оборудовали только в это время и чем придется. Папа устроился в меньшей комнате, поставил туда кушетку и канцелярский стол. В большой комнате разместились мы трое. По углам стояли кровати, а посередине — накрытый скатертью стол, за которым мы ели. Даже если кто-нибудь ел не со всеми, он сидел не на кухне, а за этим столом.

Работал папа в это время очень много. Я его и запомнил сидящим за письменным столом. Дверь в свою комнату он обычно не закрывал, и, проходя мимо, можно было видеть его фигуру, со спины и несколько сбоку. Хотя с тех пор прошло почти полвека, эта картина и сейчас без труда возникает перед моим внутренним взором.

После прорыва блокады Ленинграда, как только стало возможно, отец поехал туда и прислал нам телеграмму: «Родной Ленинград по-прежнему прекрасен».



С внуком Одиком.

В последующие годы отец, как выразился И. Е. Тамм, «из двух половин времени большую проводил в Ленинграде». В это время отец продолжал заниматься теорией дифракции, под его руководством в институте работало несколько человек. Однажды зимой (кажется, 45/46 г.) он с некоторой досадой сказал, что ему записали выполнение плана на 36 %, видимо потому, что он решил всего одну задачу — общую — вместо запланированных трех частных, решение которых вытекает из этой общей. Вскоре после войны ему удалось напечатать часть своих работ по дифракции. В дальнейшем он получил за них Сталинскую премию.

Летом 1946 и 1947 гг. мы все вчетвером ездили в дома отдыха. В 46-м отдыхали в Ялте, тогда еще полуразрушенной. Вместе ходили к морю, ездили на экскурсии. Однажды ходили в домик Чехова. Так как отец не слышал объяснений экскурсовода, я попытался громко пересказать ему хотя бы отдельные слова. Заметив недовольство экскурсовода, отец сказал ему, что дома у него был «культ» Чехова и потому ему очень

приятно находиться там, где он жил. На этом инцидент и закончился.

В 1947 г. ездили на Рижское взморье в Дзинтари. Несмотря на довольно холодную погоду, отец купался и здесь. Раз он взял лодку на реке Лиелупе (она здесь очень близко от моря) и катал нас по реке. На следующий день мы поехали навестить знакомых в Кемери. Когда мы предложили отцу побольше погулять в парке, он ответил, что вчера греб и устал. «Но ты греб руками, а ноги-то не устали.» — «Я греб и сердцем».

Через год отец получил дачу в Комарове (Келломяках). Он уже тогда жаловался, что у него «голова мутная», и считал, что это от плохого воздуха. Поэтому кабинет свой он устроил в комнате, наиболее (по диагонали) удаленной от кухни, а спальню — в соседней с ним комнате.

По вечерам после ужина пасьянс был обычным ритуалом и в городе и особенно на даче. Папа говорил, что он помогает отвлекаться от мыслей о работе, которые мешают заснуть. Он любил пасьянсы, допускающие много комбинаций, исход которых зависит от умения раскладывающего, а не только от его внимательности. Если пасьянс безнадежно не сходилась, он любил «поджудить», т. е. временно убрать одну (толь-

ко одну!) карту или переложить ее из-под низу в другое, «законное» место так, чтобы затруднения сразу исчезли и пасьянс сошелся. Когда я упрекнул его в этом, он ответил: «В других случаях ведь нельзя жульничать, а хоть где-нибудь обязательно нужно». В заключение обычно раскладывался пасьянс «косынка», самый сонный.

На даче за стол садились в рубашках, даже майки не допускались. Отец, как правило, ходил в костюме и даже с жилетом. В очень теплую погоду он носил белый легкий костюм без жилета и только когда было очень жарко, ходил без пиджака, в белой русской рубашке. Ели мы, конечно, на белой скатерти, что вызывало у молодежи некоторые затруднения, особенно при наложении варенья в манную кашу, поглощаемую в большом количестве. Так как отец плохо слышал, то за столом он мало участвовал в общей беседе. (Позже, когда он достал хороший слуховой аппарат, он как-то включил его за обедом, но вскоре выключил, сказав со смехом: «Боже, сколько же вы глупостей говорите». Правда, потом он его иногда все же включал.) За грибами он никогда не ходил и не любил их ни в каком виде. На велосипеде ездил без нас и очень редко, но довольно часто ходил к морю (вместе с мамой) и иногда купался. Музыку отец любил и иногда слушал музыкальные передачи, включив приемник на полную громкость (иначе он не слышал). Слуховым аппаратом отец при этом не пользовался, говоря, что он очень искажает музыку (вероятно, из-за узкого диапазона частот). Потом он купил проигрыватель и постепенно собрал много пластинок с записью классической музыки.

В Келломяках папа много занимался фотографией, снимал и киноаппаратом. Проявлять и печатать он отдавал обычно кому-то в университете, но иногда проявлял и сам.

Начиная с 50-х гг. отец часто бывал за границей. Возвращаясь домой, он обычно привозил много фотографий, однако рассказывал о поездке примерно так: «Это — вид из окна гостиницы, а это — если пойти направо» и т. д., но иногда рассказывал и что-нибудь более интересное. Одной из первых была поездка в Польшу...

В Польше отец встречался с сотрудником Эйнштейна Л. Инфельдом и спорил с

ним о принципе эквивалентности тяготения и ускорения в общей теории относительности. Инфельд вслед за Эйнштейном придавал этому принципу чрезмерно большое значение, не замечая, что он имеет лишь локальный, а не общий характер. Убедить Инфельда не удалось. А вот с Бором получилось иначе. Когда отец приехал к нему в Копенгаген и попытался сообщить ему свои замечания устно, то разговора не получилось, потому что Бор привык «вещать» (как сказал отец). Тогда отец написал свои замечания в виде тезисов (они касались некоторых формулировок Бора, которые можно было истолковать в позитивистско-идеалистическом духе). После этого подробного разговора, кажется, не было, но отец заметил, что Бор стал высказываться в этом плане четче, избегая подобных формулировок.

Первой из внуков родилась (в 1960 г.) моя дочь Катя. Когда ей было около месяца, мы приехали в Комарово. Папа встретил нас словами: «Екатерина Михайловна и сопровождающие ее лица прибыли в Комарово». Когда Катя была в том возрасте, в котором малыши швыряют игрушки, папа заметил: «Мы с Катей занимаемся одним и тем же делом — изучаем пространство». Он пояснил, что, по его мнению, малыши швыряют потому, что им кажется удивительным — был предмет большим (большие угловые размеры) и вдруг уменьшился, а когда его подняли — снова стал большим. Так они приучаются понимать, что при изменении расстояния угловые размеры меняются, а сам предмет — нет.

С моим сыном Петей был забавный эпизод. Года в четыре на даче он вдруг спросил своего дедушку: «Почему есть папоротник, а нет маморотника?» Папа не задумываясь ответил: «Но зато есть мамонт, а нет папонта». Петя этим удовлетворился, хотя вряд ли он до этого слышал слово «мамонт».

В 1964 г. родился последний внук — мой племянник Володя. Ему папа уделял больше внимания, в частности и потому, что жил в Москве вместе с ним. Одно время он даже занимался с ним французским. Не знаю, когда папа сам выучил французский, но читал он свободно и научную, и художественную литературу, лишь изредка пользуясь для справок толковым словарем Ларусса. Чаще всего он пользовался им при решении помещаемых в газете «Юманите»

маленьких кроссвордов, которые считал полезными для совершенствования в языке.

Летом 1964 г. умерла моя мама. Похоронили маму на Комаровском кладбище. Не помню, в то же лето или в следующее отец сказал мне, что хочет, чтобы его похоронили рядом с мамой, а еще через год или два написал завещание (оговорившись, впрочем, что помирать он еще не собирается).

Осенью в Ленинграде была международная конференция по люминесценции, в которой участвовал и я. Жил я в Комарове и, естественно, рассказывал отцу про конференцию и, в частности, что ее труды предполагается издать по-русски и по-английски. Отец спросил, как я написал свою фамилию в английском тексте: «Fok» или «Fock». Я сказал «Fok». Тогда он очень рассердился и потребовал, чтобы я на следующий же день исправил на «Fock», как писал и его отец. «А то нас и за родственников не признают». Спорить было бесполезно, дело могло дойти до разрыва. Пришлось переделать, как он хотел. Почему-то отец придавал очень большое значение латинской транскрипции своей фамилии. В одну из последних своих поездок за границу — в ГДР — он потребовал, чтобы переписали врученный ему диплом, так как там было написано «Fok», а не «Fock»¹.

В последние годы отец стал заметно слабеть. В Комарове я часто заставал его дремлющим сидя на диване. Тем не менее

сотрудники теоретического отдела физфака уговорили его подготовить второе издание книги «Начала квантовой механики», вышедшей еще в 1932 г. Он просмотрел ее всю, и оказалось, что в ней все верно и не устарело, только ряд формулировок философского характера надо уточнить. Отец внес эти уточнения и добавил много материала из работ, вышедших после книги. В августе 1974 г. отец заболел воспалением легких, но его удалось спасти. После этого он еще работал (но часа по 2—3 в день), сначала в Комарове, потом в Ленинграде и даже в больнице Академии наук. По-видимому, он чувствовал приближение смерти. В начале декабря, когда я приехал к нему в больницу, он вставлял формулы в рукопись книги и сказал мне: «Успеть бы». На зимние каникулы мы, как всегда, собирались приехать в Комарово, и он огорчился, что это будет только 31-го, а не раньше. Кому-то из навестивших его друзей он сказал: «Я смерти не боюсь. Боюсь только принести горе близким». Утром 27 декабря он не проснулся. В его записной книжке мы нашли такую запись от 26 декабря: «Сегодня никто не приходил. Работал часа два с половиной».

Похоронили отца только в январе из-за страшной волокиты, устроенной чиновниками из Сестрорецка, потому что похороны должны были состояться не в Ленинграде, где он умер, а в Комарове. Но в конце концов все удалось уладить и сделать, как он хотел.

Получение изображений в медицинской диагностике: от Рентгена до наших дней*

Д. В. Таунсенд

Клиника Женевского университета

ПЕРВАЯ Нобелевская премия по физике была присуждена В. Рентгену в 1901 г. за открытие в 1895 г. X-лучей. Эта и самая последняя Нобелевская премия по физике, которой был в прошлом году удостоен Ж. Шарпак¹ за его вклад в развитие детекторов, охватывают несколько поколений прикладной науки.

Открытие Рентгена, способствуя развитию атомной физики, положило также начало медицинской радиологии — науке, использующей лучи различных типов для получения изображений, которые нельзя увидеть никакими другими способами. С тех пор физики и радиологи работали рука об руку, чтобы улучшить технику получения изображений и расширить диапазон их использования в медицине.

После открытия рентгеновских лучей было приложено немало усилий для того, чтобы научиться получать изображение внутренних органов человеческого тела для как можно более раннего выявления признаков заболеваний.

Энергия излучения, используемого в этих целях, должна быть такой, чтобы оно проникло сквозь ткани тела, не поглощаясь по пути к исследуемому органу. Тогда его внутренняя структура становится видимой благодаря полученным картинам поглощения.

На рентгеновских снимках легко отличить кости от окружающих их мягких тканей. Интерпретацией тонких радиографических эффектов занимаются медики-радиологи. Однако даже экспертам иногда трудно разобраться в снимках, так как все ткани между источником и фотопленкой проецируются на одну плоскость. Кроме того, такие изо-

бражения являются чисто анатомическими и несут мало информации о функционировании внутренних органов.

В конце 40-х годов появилась новая диагностическая методика, в которой радиоактивное вещество вводилось через пищевод или внутривенно, и по излучению можно было судить о его распределении в теле пациента. Преимущество этого метода по сравнению с обычной радиографией очевидно: он дает возможность и пометить определенный орган, и изучить его поведение. Со временем этот способ получения изображений развился в одну из областей радиомедицины со своими экспертами, интерпретирующими снимки.

Наиболее часто используемый в этой области медицины радионуклид — изотоп технеция, ^{99m}Tc , излучающий фотоны с энергией 140 кэВ и имеющий период полураспада 6 ч. Высокоэффективным детектором таких фотонов служит кристалл иодистого натрия (NaI). С середины 50-х годов стандартным прибором в радиомедицине стала γ -камера — большой кристалл NaI с фотоумножителем, изобретенная Х. Энгери из Беркли (США).

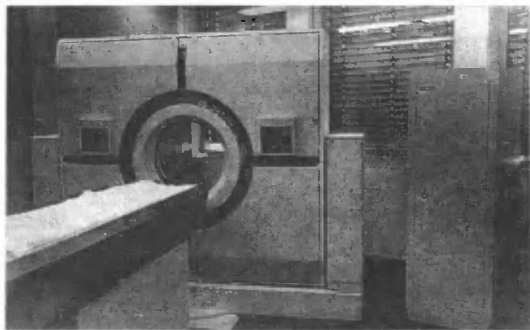
Для получения изображения между источником излучения и кристаллом прежде всего должен быть помещен коллиматор — толстая свинцовая пластина со многими тысячами мелких отверстий для устранения наклонно падающих лучей. Теоретически отверстия пропускают только лучи, перпендикулярные пластине, хотя реально невозможно полностью предотвратить пропускание некоторого количества наклонных лучей. Коллиматор сильно уменьшает эффективную чувствительность кристалла NaI, и на практике только 0,02 % излучения от пациента дает вклад в формирование изображения.

Как и в обычной фотографии, изображения в радиомедицине представляют собой проекции трехмерных распределений на плоскость. Интерпретация этих изображений требует специальных знаний, так как, наряду с потерей информации по глубине, ткани, окружающие обследуемый орган, часто искажают его изображение.

© Таунсенд Д. В. Получение изображений в медицинской диагностике: от Рентгена до наших дней.

* Статья была опубликована в журнале «ЦЕРН курьер» (апрель 1993 г.), который редакции «Природы» любезно предоставляет информационной службой Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН, Женева). См.: Townsend D. W. Physics instrumentation for medical imaging // CERN Courier. 1993. V. 33. N 3. P. 1—8.

¹ Лучков Б. И. Лауреаты Нобелевской премии 1992 г. По физике Ж. Шарпак // Природа. 1993. № 1. С. 100—102.



Позитронный сканер, собранный в ЦЕРНе и работающий последние два года в клинике Женевского университета. За это время были обследованы около 200 пациентов.

Эта проблема была решена в 1972 г. с созданием компьютерного сканирующего томографа (КСТ), детища Г. Хаунсфилда из физической лаборатории фирмы EMI, который разделил Нобелевскую премию по физиологии и медицине за 1979 г. с А. Кормаком². КСТ дает послойное изображение исследуемой области тела поперек оси, перпендикулярной плоскости изображений в обычной рентгенографии. Эта область, обычно толщиной в несколько миллиметров, просвечивается многократно, каждый раз с разных направлений. Рентгеновский источник, коллимированный таким образом, что пучок лучей расходится веером, вращается вокруг пациента, а рассеянные лучи фиксируются ксеноновыми детекторами, расположенными по дуге на противоположной от источника стороне. Одномерные проекции профилей реконструируются с помощью компьютера в двумерное изображение.

Через некоторое время томографические методы стали применяться в радиомедицине. С помощью γ -камеры, вращающейся вокруг пациента, получают серию двумерных проекций с различных направлений. Внутреннее распределение радиоактивной метки может быть восстановлено для параллельных двумерных поперечных сечений с помощью компьютерной томографии. Эта методика, названная томографией однофотонной эмиссии (SPECT — Single Photon Emission Computed Tomography) особенно полезна для трехмерного изображения распределений определенных меток в области мозга и сердца.

Наиболее часто используемый в радиомедицине изотоп ^{99m}Tc с энергией фотонов 140 кэВ — отнюдь не единственно возможный. Изотопы с фотонами более низких энергий, такие как ^{201}Tl (80 кэВ) и ^{187}Ta (55—65 кэВ), удобны для снимков сердца, ^{201}Tl — для получения изображений опухоли и ^{133}Xe (80 кэВ) для изучения легких. Для регистрации фотонов более низких энергий могут применяться другие детекторы, например многопроволочные пропорциональные счетчики. Так, для получения изображений сердца группа Т. Лейси в Хьюстоне (штат Техас, США) использовала проволочную камеру, наполненную ксеноном под высоким давлением, для детектирования фотонов от источника ^{178}Ta .

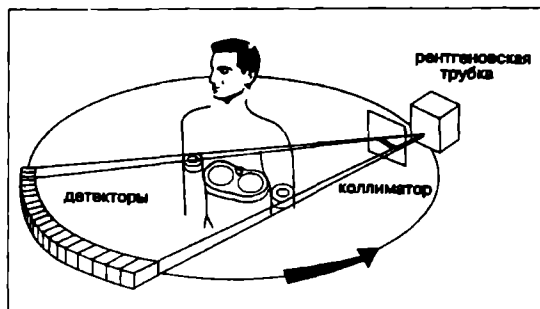
Группа Л. И. Шехтмана из Института ядерной физики СО РАН изучала возможность замены фотопленки в обычной рентгенографии проволочными камерами. Преимущество такого подхода — в более низких дозах облучения и в получении снимков с высоким разрешением в огромном динамическом диапазоне. Поскольку проволочные камеры более эффективны для регистрации заряженных частиц, Ж. Содино и Ж. Шарпак в конце 70-х попытались использовать пучки протонов вместо рентгеновских лучей. Результаты низкодозовой протонной радиографии были интересными, однако из-за нехватки протонных пучков с энергией 500—1000 МэВ применение этого метода пока ограничено.

Некоторые радионуклиды, используемые в радиомедицине, излучают фотоны с энергией большей, чем 140 кэВ, например ^{123}I (160 кэВ), ^{131}I (360 кэВ), ^{51}Cr (323 кэВ), ^{111}In (250 кэВ). В принципе, излучение с энергиями от нескольких сотен килоэлектронвольт может быть использовано для съемки человеческого тела. Однако при высоких энергиях коллиматор рр-камеры должен быть достаточно толстым, что уменьшает эффективность и пространственное разрешение.

Наибольшая энергия излучения, используемая в настоящее время для получения изображений в медицине, — 511 кэВ. Такие фотоны рождаются при аннигиляции позитрона и электрона. В начале 50-х годов исследователи из Бостона выяснили, что изотопы с дефицитом нейтронов, испускающие позитроны вместо одиночных фотонов, представляют особенно интересные возможности для медицинской диагностики.

Рождающиеся в процессе аннигиляции позитрона и электрона два фотона с энергией 511 кэВ разлетаются в противоположных направлениях. Детектируя эти фотоны, можно определить направление, в котором

² Власов П. В., Свиридов Н. К. Лауреаты Нобелевской премии 1979 года. По медицине — Г. Н. Хаунсфилд и А. М. Кормак // Природа. 1980. № 1. С. 91—93.



Компьютерный сканирующий томограф дает изображение слоя ткани поперек оси, перпендикулярной плоскости обычного рентгеновского снимка. Этот слой толщиной несколько миллиметров облучается с разных направлений.

произошло событие, немедленно, без коллиматора (который при 511 кэВ был бы слишком толстым). В этом случае могут быть зарегистрированы фотоны под всеми углами, что увеличивает чувствительность по сравнению с методом SPECT в 20 и более раз.

Среди основных химических элементов, определяющих жизнедеятельность организма, только водород не имеет подходящего изотопа, излучающего позитроны. Изотопы кислорода, азота и углерода, излучающие позитроны и применяемые для получения изображений, имеют маленькие полупериоды распада — 2, 10 и 20 мин соответственно.

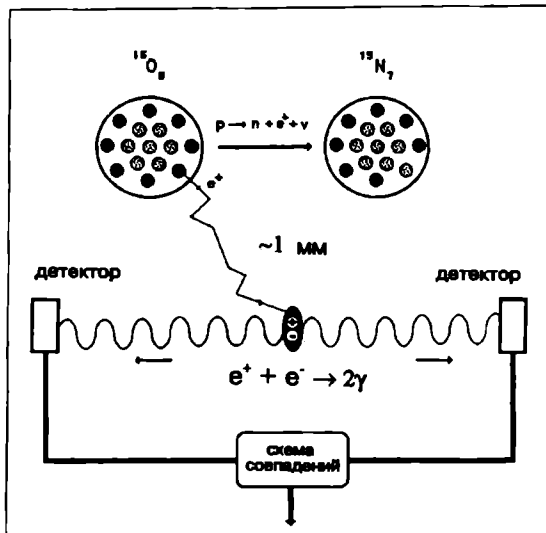
Поэтому, несмотря на все преимущества позитронной томографии, прошло почти 30 лет, прежде чем появился коммерческий сканер, созданный фирмой EC&G ORTEC (США) на основе работ М. Феллса и Э. Хофмана из Лос-Аламоса и М. Тер-Погосяна из Сент-Луиса. Причины этого были исключительно технологические: проблемы с использованием кристаллов NaI для регистрации фотонов с энергией 511 кэВ, трудности восстановления распределения меток из аннигиляционных данных и необходимость наличия близкорасположенного циклотрона для производства короткоживущих изотопов. За те 40 лет, которые прошли с тех пор, как была предложена идея позитронной томографии, первые две проблемы были в значительной степени решены. Что касается циклотрона, то необходимость в нем остается по-прежнему неизменным условием. Достоинства излучающих позитроны изотопов стимулировали работы по созданию детекторов, для регистрации фотонов с энергией 511 кэВ. И здесь вновь свою роль сыграли многопроволочные ионизационные камеры, дав тол-

чок, после пионерской работы В. Перес-Мендеса из Беркли, появлению большой группы дешевых детекторов с высоким пространственным разрешением.

Задача состоит в том, чтобы сделать детекторы чувствительными к фотонам с энергией 511 кэВ и локализовать падающие фотоны в пределах 1—2 мм. Предложенные решения для пропорциональных счетчиков высокого давления предполагали повышение давления газа в камере и размещение конвертеров, состоящих из множества свинцовых пластин, стопки свинца с просверленными отверстиями или из трубок плавляемого свинцового стекла. Однако, несмотря на достигнутое хорошее пространственное разрешение, такие многопроволочные камеры не решали проблемы получения качественных для клинических целей изображений, так как они не обладали соответствующей чувствительностью.

Широко используемые кристаллы иодистого натрия далеки от того, чтобы быть идеальными детекторами высокоэнергетического излучения. В первых попытках разработать сканер для позитронной томографии использовались два подхода: круговое гексагональное расположение маленьких кристаллов NaI, предложенное Л. Эриксоном (Стокгольм) и М. Тер-Погосяном с сотрудниками (Сент-Луис), и две неколлимированные pp-камеры, работающие в схеме совпадений, предложенные Г. Мехলেখнером с сотрудниками (Чикаго). Затем, в конце 70-х, в Канаде был разработан первый позитронный сканер на основе кристалла германата висмута (BGO). С тех пор почти все коммерческие сканеры, использующие многокольцевую конфигурацию BGO-кристаллов, изготавливаются фирмами CTI Inc. в Ноксвилле (штат Теннесси, США) и GE в Упсале (Швеция).

Кристаллы BGO имеют более высокую плотность потерь, чем NaI, однако проигрывают им в энергетическом разрешении. Другие кристаллы, например быстрые сцинтилляторы BaF₂ и Cs₂F, предложенные Р. Аллеманом с сотрудниками из LETI в Гренобле и М. Тер-Погосяном, интересны тем, что с их помощью можно измерить временную задержку между прилетом двух фотонов, хотя они менее эффективны, чем BGO, в задержке излучения с энергией 511 кэВ. Поиск идеального материала для детектора — быстрого, с тяжелыми ядрами (большими Z), с высоким световыходом — был проведен С. Деренцо из Беркли в последние несколько лет, и к вышеупомянутым материалам добавились фторид церия, карбонат свинца и ортосиликат лития.



В позитронной томографии рождаются два фотона с энергиями 511 кэВ в процессе аннигиляции позитрона и электрона. Фотоны разлетаются в противоположных направлениях; детектируя их, можно сразу определять направление, в котором произошло событие.

Были предложены также жидкие сцинтилляторы. В конце 80-х годов появилась идея, оживившая возможность использования многопроволочных камер для позитронной томографии. Осознав, что быстрые кристаллы с большими атомными номерами обладают наибольшей эффективностью, Шарпак в ЦЕРНе и Бэйтман в Резерфордской лаборатории поместили кристалл BaF_2 внутрь многопроволочной камеры, стремясь получить одновременно хорошее пространственное разрешение и высокую эффективность, при разумной стоимости и сложности конструкции.

За прошедшие несколько лет позитронная томография стала важным исследовательским и диагностическим средством. Несмотря на высокую стоимость и сложность существующей технологии, она хороша не только в медицинских исследованиях, но и для более широких приложений. Способность определить одновременно поток крови и метаболизм во внутренних органах, пометить химические посредники в мозге, проследить за движением противораковых лекарств, локализовать опухоли, точно указать эпилептические центры в мозге — это только некоторые направления, заставляющие прилагать усилия, чтобы уменьшить стоимость и упростить технологии.

Более дешевый позитронный сканер, на основе ВГО, созданный в сотрудничестве

с фирмами «Siemens» и СТИ и собранный в ЦЕРНе М. Венсвином (при финансовой помощи Швейцарской комиссии по поддержке научных исследований в Берне), в течение двух последних лет работал в Кантональном госпитале в Женеве. Этот опыт позволяет надеяться, что клинические исследования с помощью позитронной томографии будут доступны более широкой медицинской общественности.

Несколько групп используют позитронную томографию для изучения нормальной работы мозга. Понять, как функционирует человеческий мозг в норме и патологии, — одна из серьезнейших задач, с которой столкнулось человечество. С помощью позитронной томографии могут быть замечены тонкие изменения в потоке крови и выявлены области, которые соответствуют определенным возбуждениям. Центры, ответственные за речь, зрение, движение, определение цвета, память и даже боль, были идентифицированы в ряде лабораторий Европы и США. Такие карты были ранее составлены только для животных с использованием обычных хирургических методов.

Прежде чем использовать новые радиоактивные методы исследований на людях, необходимо точно определить их действие на животных и построить соответствующую биологическую модель. Обычная процедура — автораддиография, когда та или иная радиоактивная метка вводится в организм животного и затем в определенный момент его умерщвляют, замораживают и рассекают на части. Каждая часть затем помещается на фотопластинку и экспонируется часто в течение многих дней. В результате получается снимок биораспределения метки с высоким разрешением, но для получения более полной картины процесс должен быть повторен (на разных животных).

В последнее время газовые детекторы существенно модифицировали автораддиографическую методику. Два прибора — система на основе ионизационной камеры, разработанная А. Дживонсом из Оксфорда, и лавинный счетчик с оптическим считыванием, разработанный Ж. Шарпаком в Женеве, — способны дать цифровые изображения хорошего качества за часы, а не за дни и недели (такие приборы также успешно используются для получения изображения структуры ДНК и пластин электрофореза).

Последние технологические достижения в позитронной томографии также оказали влияние на обычную автораддиографию. Две группы, одна под руководством Т. Джонса, работающего на циклотроне Медицинского исследовательского совета в Лондоне,

и другая — под руководством С. Таренье Свободный университет в Брюсселе, разрабатывали мелкомасштабные сканеры для животных на основе соответственно маленького кольца ВГО-кристаллов и пары гибридных BaF_2 -ионизационных детекторов. Их успех в достижении высокого пространственного разрешения позволил прижизненно устанавливать распределение новых радиоактивных меток в организме мелких животных.

Фотоны с энергиями 80—100 кэВ используют для рентгеновских снимков, тогда как для получения изображений с помощью радиоизотопов обычны несколько более высокие энергии (140—200 кэВ). Аннигиляционное излучение позитронной томографии устанавливает верхний предел в 511 кэВ, ниже нескольких десятков кэВ, при приближении к области видимого света, человеческое тело становится все более непрозрачным.

Лучи из ИК- и микроволнового диапазона могут проникнуть в ткани человека только на малые расстояния, и получение изображений в ИК-лучах структур с низкой плотностью, таких как грудь, является областью современных исследований. Здесь, правда, открывается другая удивительная возможность — магнитный резонанс, использующий очень низкие энергии неионизирующего излучения (10^{-10} кэВ). Эта методика остается в центре внимания с начала 80-х годов после первых разработок П. Лаутербурга из Стони Брук (США), П. Мэнсфилда из Ноттингема (Великобритания) и других.

Сначала внешнее магнитное поле выстраивает определенным образом спины ядер водорода внутри тела. Затем для воздействия на них используются радиоволны. Когда ядра возвращаются в свое первоначальное состояние, они излучают радиовол-

ны, которые регистрируются антенной, расположенной вблизи пациента. Чтобы восстановить пространственное распределение водорода (воды) внутри тела, используется переменное в пространстве магнитное поле.

Так как в резонансе большинство ядер излучают одновременно (в фазе), сигнал регистрируется, несмотря на то, что энергия отдельного фотона — 10^{-7} эВ. В случае водорода ядерная плотность такова ($\sim 10^{23}$ см $^{-3}$), что сигнал можно получить от малого объема. Из формы кривой сигнала ядерного магнитного резонанса получают дополнительную информацию о химическом состоянии тканей человека.

Высококачественные изображения, полученные без ионизирующего излучения, подтверждают важную роль магнитного резонанса для клинического использования. Недавно Дж. Белливо с коллегами из Массачусетского госпиталя и Гарвардского университета применили высокочастотные зондирующие импульсы к ядрам мозга и распространили этот метод на исследование его возбуждений, некогда исключительную сферу позитронной томографии. И в этом случае магнитный резонанс дает лучшее временное и пространственное разрешение, чем позитронная томография.

Сейчас с помощью описанных здесь методов стало возможно, например, непосредственно наблюдать изменения в мозге пациента, который подвергается различным зрительным раздражениям. Прикладная наука прошла долгий путь, с тех пор как Рентген в 1895 г. впервые просветил свою руку.

Перевод с английского
А. Н. Грицука

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в Российской Федерации: май — июнь 1993 г.

Космическими службами России с космодромов Плесецк и Байконур в мае—июне 1993 г. было запущено 17 спутников, 13 из них — серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства.

Автоматический грузовой корабль «Прогресс М-18» доставил на орбитальный научно-исследовательский комплекс «Мир» топливо для объединенной двигательной установки, воду и другие расходные материалы, аппаратуру и оборудование, а также почту.

Очередной спутник связи «Молния-1» предназначен для обеспечения эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, а также для передачи программ телевидения из Москвы на пункты сети «Орбита».

На очередных спутниках серии «Ресурс-Ф» установлена аппаратура для проведения разномасштабной многозональной

и спектральной фотосъемки с целью продолжения исследований природных ресурсов Земли и решения экологических задач в интересах различных отраслей народного хозяйства, науки и международного сотрудничества.

Перечисленные выше спутники были запущены ракетами-носителями «Космос», «Союз», «Молния», «Циклон».

Астрофизика

Открыт самый яркий двойной квазар

Хотя астрономия — наука точная, случайность иногда играет в ней важную роль. Недавнее открытие двойного квазара — самого яркого из всех известных — во время обычных наблюдений едва ли было возможно без некоторой степени везения. То, что начиналось как обыденная проверка фотопластинок, полученных на одном из телескопов Европейской южной обсерватории (ЕЮО), закончилось идентификацией уникального небесного объекта группой европейских астроно-

мов под руководством Д. Реймерса (D. Reimers)¹.

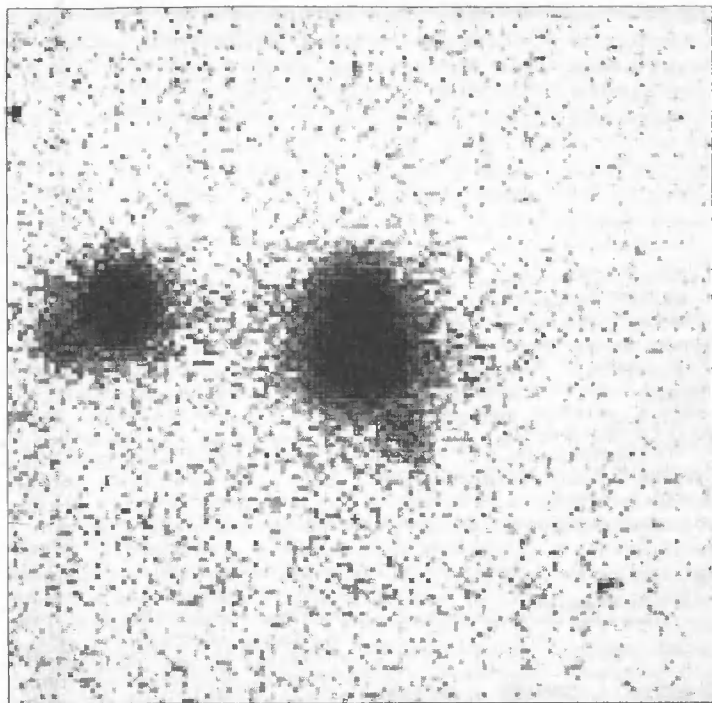
В марте 1993 г. Л. Висоцкий и Т. Кёлер (L. Wisotzki, T. Köhler; Гамбургская обсерватория) проводили спектроскопическое исследование новых «кандидатов» в квазары на 3,6-метровом телескопе ЕЮО. Наблюдения велись на спектрографе с узкой щелью, в которую одновременно попадал свет от квазара и маленькой области окружающего неба (если вычесть фоновую засветку, можно получить чистый спектр квазара). Направив телескоп на один из наиболее ярких «кандидатов», астрономы зарегистрировали на пластинке спектр одиночного объекта и перешли к наблюдению других квазаров. И только несколькими неделями позже — при математической обработке полученных результатов — они обнаружили, что записанный спектр является двойным: наряду с сильными линиями квазара виден более слабый спектр, аналогичный спектру квазара. Это неожиданное открытие произошло благодаря той случайной обстоятельству, что через узкую щель спектрографа записался рядом со спектром яркой компоненты А спектр от неизвестной до сих пор компоненты В. Расстояние между А и В равно 3"; именно из-за такой близости к более яркому объекту слабый свет второго объекта никогда не был виден прежде ни в телескоп, ни на фотопластинках.

Для понимания природы этого объекта, названного HE 1104—1805 AB, были проведены 10—12 мая 1993 г. эксперименты с использованием 3,5-метрового телескопа, которые подтвердили и его двойную природу, и расстояние между компонентами, а также позволили получить намного более

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-2245—2250»*	11.V	1401	1440	83	114,3
«Ресурс-Ф»	21.V	194	285	82,6	88,9
«Прогресс М-18»	22.V	194	258	51,6	88,7
«Молния-1»	26.V	454	40 883	62,7	732
«Космос-2251»	16.VI	783	821	74	100,8
«Космос-2252—2257»*	24.VI	1419	1439	83	114,2
«Ресурс-Ф»	25.VI	187	271	82,6	88,8

* Спутники «Космос-2245—2250» и «Космос-2252—2257» запущены одной ракетой-носителем «Циклон».

¹ ESO Press Release, 1993. 3 June.



Двойной квазар HE 1104—1805 АВ 16-й звездной величины (в центре снимка, полученного группой Д. Реймерса на Европейской южной обсерватории 11 мая 1993 г.). Яркий объект слева — вероятно, звезда Галактики; размытый слабый объект справа внизу — удаленный квазар 21-й звездной величины.

детальные спектроскопические и фотометрические данные.

В этом двойном квазаре его компоненты, из которых А в пять раз ярче В, имеют почти идентичные спектры. Красные смещения этой пары ($z=2,303$) также фактически равны. Численная величина z показывает, что квазар удаляется от нас со скоростью 250 тыс. км/с. Это означает, что мы видим его в ту эпоху, когда Вселенная была в пять раз моложе. Считая, что возраст Вселенной 20 млрд. лет, получаем, что квазар находится от нас на расстоянии 16 млрд. св. лет.

Идентичность спектров А и В указывала, что это могут быть два изображения одного и того же удаленного квазара, просто его световые лучи изги-

баются небесными телами, находящимися между квазаром и наблюдателем. Это явление, предсказанное А. Эйнштейном в 30-х годах и открытое в конце 70-х годов, называют гравитационной линзой. Однако при детальном рассмотрении обнаруживается небольшая разница между спектрами А и В. Если это различие исчезнет через несколько лет, значит, мы имеем дело с эффектом гравитационной линзы; если же нет, то объект HE 1104—1805 АВ — подлинная пара квазаров, расположенных рядом. Они могут даже вращаться один вокруг другого в двойной системе. Большинство астрономов склоняются к первому варианту.

Если окажется, что объект HE 1104—1805 АВ является гравитационной линзой, его можно будет использовать для измерения временной задержки между изменениями яркости двух компонент. Это измерение, легко осуществимое для объекта такой яркости, даст независимое определение постоянной Хаббла H_0 .

В спектрах квазара HE 1104—1805 АВ видны не-

сколько сильных линий поглощения, которые показывают, что лучи проходят через богатое металлом межгалактическое облако. Оно на 1 млрд. св. лет ближе к нам, чем к квазару. Наиболее интересно, что часть этих линий поглощения облака видна в спектре А, но их нет в спектре В. Это позволяет оценить размер галактического облака в 60 тыс. св. лет.

В дальнейшем предполагается изучить рентгеновское излучение объекта HE 1104—1805 АВ, а также наблюдать его в ультрафиолетовом диапазоне.

© А. Н. Грицуц
Москва

Астрономия

Катастрофа «отменяется»

Во второй половине 1992 г. была вторично «открыта» комета Свифта—Туттла, причем предварительные расчеты показывали: 14 августа 2126 г. она появится вновь и — с некоторой степенью вероятности — «лоб в лоб» столкнется с Землей. Последствия такого катастрофического события трудно даже себе представить.

Все имевшиеся сведения об этом небесном теле проанализировала группа сотрудников Гарвардско-Смитсоновского астрофизического центра, находящегося в Кембридже (штат Массачусетс, США), возглавляемая Б. Марсденом (B. Marsden). Первое, к чему пришел этот крупнейший в мире авторитет по малым планетам, состояло в предположении: комету Свифта—Туттла на Земле уже наблюдали по крайней мере дважды — в 68 г. до н. э. и в 188 г. н. э. В исторических документах того времени имеются соответствующие свидетельства, что это была именно она.

Расчеты, проведенные Марсденом и его коллегами, показали ошибочность предположения о грядущем столкновении. Оказалось, что момент наибольшего сближения кометы

Сифта—Туттла с Солнцем состоится 11 июля 2126 г. Затем она направится в сторону земной орбиты, которую пересечет 31 июля. А наша планета окажется в этой точке лишь 15 сутками позднее. Так что грозное «свидание» не состоится — нас разделит примерно две недели.

Продолжая расчеты, ученые пришли к еще более успокоительному выводу: существует весьма малая вероятность столкновения этой кометы с Землей в течение всего предстоящего тысячелетия. Конечно, Марсден призвал коллег-астрономов продолжать наблюдения, чтобы уточнить дальнейшие намерения опасного «небесного соседа».

New Scientist. 1992. V. 136. N 1851. P. 11 (Великобритания).

Физика

Поиск тяжелого нейтрино

Роль нейтрино в современной картине мира исключительно велика¹, при этом одним из важнейших аспектов является вопрос о массе нейтрино, чему посвящено достаточно много работ.

В 1985 г. было высказано предположение², что 2—4 % нейтрино, излучаемых при β -распаде трития, имеют массу 17 кэВ. Начиная с этого времени для проверки этого предположения было выполнено несколько экспериментов по измерению формы энергетических спектров β -электронов, при этом оценка вклада состояния с большой массой ν_{H} соответствует параметру смешивания $|U_{\text{eH}}|^2 = 0,01 \pm 0,03$. Эти результаты получены с помощью полупроводниковых детекторов на изотопах ^3H , ^{14}C , ^{35}S , ^{71}Ge , тогда как эксперименты, выполненные на ^{35}S и ^{63}Ni с помощью магнитных спектрометров, дают для массы $m=17$ кэВ меньшее значение

параметра смешивания $|U_{\text{eH}}|^2 < 0,005$.

Неопределенность полученных результатов оставляет открытым вопрос о существовании тяжелого нейтрино. Поэтому представляет интерес рассмотрение других возможных проявлений нейтрино с $m=17$ кэВ.

С этой точки зрения были рассмотрены результаты реакторного эксперимента на Ровенской АЭС³, в котором измерялось сечение реакции $\nu_e + p \rightarrow n + e^+$.

Параметр смешивания в этом эксперименте можно определить из наблюдаемой интенсивности потока нейтрино, который должен уменьшаться из-за явления нейтринных осцилляций $\nu_e \rightarrow \nu_{\mu}$ (к которым приводит наличие массы у нейтрино и несохранение лептонного заряда). На основании измерений на реакторе Ровенской АЭС было получено ограничение на параметр смешивания для тяжелого нейтрино $|U_{\text{eH}}|^2 < 0,02$. Это значение сужает диапазон полученных ранее результатов, а также показывает, что чувствительность реакторного эксперимента достигла уровня, достаточного для поисков тяжелого нейтрино.

Ученые надеются, что новые прецизионные методики и более надежные расчетные данные позволят увеличить точность экспериментов с реакторными нейтрино и приблизиться к решению вопроса об их массе.

Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 55. С. 421.

Микробиология

Антивирусный препарат из мидий

Сотрудники Научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии им. Пастера (Санкт-Петербург) создали новый антивирусный препарат — продукт кислотного гидролиза мяса мидий. В опытах *in vitro* вируснейтрализующая активность мидийного гидролизата (МИГИ) колебалась в зави-

симости от исходного сырья, способа и времени гидролиза. Тем не менее установлено, что МИГИ может ингибировать вирусы двух штаммов гриппа А и одного — В. Авторы предполагают (и уже получили первые положительные результаты), что этот препарат обладает антивирусной активностью в отношении других РНК- и ДНК-содержащих вирусов и даже ВИЧ.

Клинические испытания МИГИ на здоровых добровольцах выявили не только абсолютную безвредность препарата, но и его иммуностимулирующие свойства. Под влиянием МИГИ активизировалась В-система иммунитета, что выразилось в усилении секреции трех классов иммуноглобулинов: А, G и М, а также повышалась неспецифическая устойчивость организма за счет увеличения секреции пероксида, продуцируемого макрофагами и нейтрофилами. Сейчас препарат проходит регистрацию под названием «вирамид».

Тезисы докладов конференции «Актуальные проблемы инфекционной патологии». 1993. Ч. 1. С. 107.

Медицина

Еще один препарат для лечения СПИДа

В Австрии и США получено разрешение на выпуск препарата зальцитабина, известного как дидезоксицитозин (ддЦ). Это третий лицензированный препарат для лечения СПИДа после зидовудина (ретровир, азидотимидин) и диданозина (видекс, ддИ). Новый препарат выпускается фирмой «Hoffmann La Roche» (Нью-Джерси, США) под названием «Hivid».

Правительство Австрии разрешает использовать зальцитабин как в комбинации с зидовудином, так и отдельно для лечения больных, не реагирующих на зидовудин или не переносящих его. В США же для лечения больных с выраженной ВИЧ-инфекцией рекомендуют применять эти препараты только в комбинации.

По предварительным данным, полученным при проведении нескольких клинических ис-

¹ Подробнее см.: Микаэлян Л. А. Нейтрино // Природа. 1979. № 6. С. 20—29.

² Simpson J. J. // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 54. P. 1891.

³ Кувшинников А. А., Микаэлян Л. А. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1991. Т. 54. С. 259.

питаний, в результате применения комбинации зальцитабин + зидовудин число лимфоцитов CD4+ увеличилось. Однако в этих испытаниях участвовали больные, ранее не получавшие зидовудина, тогда как применять новый препарат разрешено лишь тем, кто прошел такое лечение. В настоящее время в США и Европе проводятся клинические испытания зальцитабина на больных, ранее лечившихся зидовудином.

Global AIDS News. 1992. N 3. P. 7 (Швейцария).

Зоология

Морской слон «беседует» со спутником

Биологи во главе с М. Федяком (М. Fedak; Кембриджский университет, Великобритания), не покидая своей лаборатории, исследуют поведение южных морских слонов (*Mirounga leonina*) в морях, омывающих Антарктиду.

Для этого на затылке животного прикрепляется коробка весом 1,5 кг (масса взрослой особи превышает 500 кг, так что это ей не помеха), в которую вмонтированы приборы, фиксирующие каждое ныряние, его глубину, направление и скорость передвижения животного. В другой половине контейнера находится записывающее и компактно хранящее всю эту информацию устройство, а также миниатюрный передатчик, выходящий на связь каждые 40 с.

Сигналы передатчика принимаются поочередно двумя искусственными спутниками Земли, принадлежащими Управлению по изучению океана и атмосферы США, поэтому из зоны радиовидения животные почти никогда не выходят. Спутники передают данные наземным приемным станциям, а те — на ретранслятор, находящийся в Тулузе (Франция), откуда они, наконец, поступают к биологам в Кембридж. Прежде чем «оснастить» этими приборами морских слонов, аппаратура была успешно испытана на пяти других крупных морских млекопи-

тающих, в том числе на нарвалах (*Monodon monoceros*) и на белухах (*Delphinapterus leucas*).

Эти исследования позволяют внести ясность в поведение недостаточно изученного, очень подвижного животного, населяющего наиболее труднодоступную акваторию нашей планеты, а также разработать стратегию охраны морских слонов, находящихся под угрозой исчезновения.

В результате наблюдений за морскими слонами выяснилось, что вначале, первые 70 суток, животные проплывают значительное расстояние (около 2650 км) от о. Южная Георгия до континентального шельфа, опоясывающего Антарктиду, с небольшими остановками для кормежки. Затем следуют многократные ныряния в поисках наиболее подходящих для кормежки мест. И наконец, животные проводят многие часы в избранной им точке, питаясь тем, что найдут на морском дне.

Ученые, продолжая собирать новую информацию, одновременно сопоставляют уже имеющиеся данные с результатами океанологических измерений, характеризующих температуру воды, наличие ледяного покрова, прилива, с тем чтобы установить влияние этих физических факторов на поведение морских слонов.

New Scientist. 1992. V. 136. N 1842. P. 9 (Великобритания).

Вулканология

«Дитя» Кракатау продолжает неистовствовать

7 ноября 1992 г. в проливе Сунда (Индонезия; 6,10° ю. ш., 105,42° в. д.) началось извержение молодого вулкана, образовавшегося на месте горы Кракатау, катастрофический взрыв которой в 1883 г. буквально потряс Землю. Вулкан начал расти еще в 1927 г. в центре провала, оставленного предшественником. Жители Явы дали этому новому вулкану имя Анак Кракатау («анак» по-индонезийски означает «дитя»).

Через неделю после начала своего нынешнего изверже-

ния Анак стал выбрасывать каменные раскаленные бомбы, вылетавшие за сотни метров от кратера. Эти взрывы сопровождались слабыми землетрясениями, зато их число достигало иной раз 5 тыс. за сутки. Затем началось излияние лавы. За короткое время она покрыла участок земли площадью 20 млн. м², объем свежей лавы составил несколько миллионов кубических метров. Быстро пройдя на север 1 км, лавовый язык достиг берега моря и постепенно образовал новый мыс длиной около 100 м.

Выбрасываемые из жерла раскаленные камни ярко светились по ночам. Столб пепла вздымался на высоту 100—400 м над вершиной Анака. В иные сутки пргходило до 4 тыс. отдельных извержений, выбросы которых можно было наблюдать с о. Ява, находящегося в 45 км от места событий. Туристам запрещалось находиться ближе чем в 3 км от вулкана.

Извержение продолжалось и в начале 1993 г. Специалисты из Вулканологического управления Индонезии в Бандунге продолжают неустанно следить за грозным поведением вулкана.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1992. V. 17. N 11. P. 4; 1993. V. 18. N 1. P. 3 (Великобритания).

Организация науки

Американские исследования в Антарктиде

План Антарктической экспедиции США на период южного лета 1992/93 г. включает расширение недавно созданного на станции Мак-Мердо Центра науки и техники им. А. Крэри. В частности, в целях всестороннего изучения Эребуса — самого активного из немногочисленных вулканов Антарктиды — здесь оборудуется новая вулканологическая обсерватория; ей придается специальный сейсмологический вычислительный центр, разработанный

Геологической службой США, который будет регистрировать все происходящие сейсмические события. Обсерватория связана с шестью автоматическими сейсмостанциями, расположенными у вершины и на склонах Эребуса; одна из них фиксирует события в лавовом озере, частично заполняющем внутренний кратер вулкана.

Другое подразделение — Антарктический центр метеорологических исследований — предназначен как для фундаментальных теоретических целей, так и для оперативного синоптического прогноза погоды. Сюда поступают данные наземных метеонаблюдений и материалы со спутников для последующего анализа. Группа сотрудников Университета штата Висконсин (Мэдисон, США) монтирует компьютерную систему для обработки и оценки данных о состоянии воздушной среды.

Продолжается геофизическая съемка зоны разлома Росса на Земле Мэри Берд. Группа из 21 специалиста ведет радиолокационную альтиметрическую аэросъемку поверхности и сопоставляет ее со спутниковыми данными; осуществляет гравитационные и магнитные измерения в узком коридоре вдоль подледного бассейна Росса, с тем чтобы прояснить тектоническую структуру западноантарктической системы рифтов, получить характеристику осадочных бассейнов, вулканических пород, динамики границ ледников.

С борта ледокольного судна в водах, омывающих Антарктический п-ов, ведутся гидрологические исследования.

Весьма обширны биологические и экологические работы.

Новые возможности открылись в Антарктиде для астрономов и астрофизиков, которые могут вести здесь наблюдения в инфракрасной, субмиллиметровой и миллиметровой частях спектра, чему способствует весьма низкая влажность атмосферы над центральным антарктическим плато. На станции Амундсен-Скотт (Южный полюс) начал работать Центр астрофизических исследований в Антарктиде, созданный усилиями

Чикагского и Принстонского университетов совместно с Лабораторией им. А. Г. Белла компании АТТ.

Озонометрические работы осуществляются на всех трех американских южнополярных станциях. На станции Мак-Мердо предстоит запуск двух висотных наполненных гелием баллонов объемом 81,2 тыс. м³. Они несут приборы для измерения космического γ -излучения; тем самым будет опробовано оборудование, предназначенное для возможного совместного русско-американского запуска космического аппарата к Марсу.

Всего в экспедиции участвует около 500 чел.

Antarctic Journal of the United States. 1992. V. XXVIII. N 3. P. 2 (США).

Палеогеография

В ледниковую эпоху над Антарктидой преобладали ветры из Патагонии

Французско-американская группа геохимиков во главе с Ф. Груссе (F. Grousset; Геологическая обсерватория им. Ламонта и Доэрти при Колумбийском университете, Палисейдс, штат Нью-Йорк, США) провели исследования, которые, возможно, прольют новый свет на ряд проблем палеоклиматологии, гляциологии и метеорологии.

Изучались образцы пыли, частиц почвы и осадочных пород, взятые в нескольких пунктах на четырех континентах: в Фаулерс-Гэп и Большой Песчаной пустыне (Австралия), в Калахари и Намибии (Южная Африка), в Патагонии (юг Аргентины) и ряде мест Антарктиды, в том числе на российской станции «Восток» и французской станции «Терр-Адель». В каждом из образцов определялось соотношение изотопов $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (именно эти соотношения отражают тип и геологический возраст исследуемых пород). Как и следовало ожидать, образцы с разных континентов характеризуются индивидуальными соотношениями данных изотопов. Затем образцы сопоставили с 2 мг пыли,

заключенной в ледяном керне, полученном при бурении ледника на станции «Купол С» в Восточной Антарктиде. Установлено, что соотношение изотопов в образце из керна, возраст которого 16—18 тыс. лет, совпадает с таковым в образцах лесса, взятых в Патагонии. При этом химический анализ не подтвердил предположения, что антарктические частицы — это принесенный с субантарктических Южных Сандвичевых о-вов вулканический пепел.

Введенные в ЭВМ результаты анализа четко показали, что в последнюю ледниковую эпоху пылевые частицы приносились в Антарктиду из Южной Америки, а не из Австралии (как полагало большинство специалистов до сих пор) и не переотлагались, поступая из других локальных антарктических источников.

Все это свидетельствует о весьма сильных регулярных ветрах, которые пересекали в то время весь крайний юг Америки и, не ослабевая, достигали удаленных районов Западной Антарктиды, о чем палеоклиматологи и метеорологи пока не подозревали. Количество пылевых частиц, осевших на ледниках, в 20 раз превышало их нынешний уровень. Мощные ветры переносили продукты эрозии почвы, вызывавшейся наступлением Андского оледенения, причем более крупнозернистый материал осаждался в Патагонии, образуя наблюдаемый и ныне слой лесса, а более мелкий достигал Антарктиды, свидетельства чему изобилуют в слоях керна, полученных с глубины почти 600 м.

Помимо сотрудников Геологической обсерватории им. Ламонта и Доэрти (США) в работах принимали участие М. Ревель (M. Revel; Бордоский университет), Р. Пти (R. Petit, Лаборатория гляциологии и геофизики окружающей среды в Гренобле), С. Жуссом и Ж. Жузель (S. Joussame, J. Jouzel; Лаборатория моделирования климата и природной среды в Жив-сюр-Иветт (Франция), а также К. Пай (K. Pye; Ридингский университет, Великобритания).

Lamont-Doherty Geological Observatory Newsletter. 1992. V. 28. P. 4, 7 (США)

Палеогеография

Океаны и континенты пол-миллиарда лет назад

Распределение суши и моря по лику Земли в середине мезозойской эры, 180 млн. лет назад, изучено сравнительно неплохо. В ту пору еще продолжал существовать гигантский материк Пангея, который был «собран по частям» в конце палеозоя (примерно 250 млн. лет назад) из предшествовавших ему участков суши. В процессе объединения континентов в Пангею палеозойская океаническая кора была уничтожена при ее погружении в мантию Земли. Поэтому ученые не имеют свидетельств, запечатленных в строении морского дна, которые говорили бы о движениях материков в палеозое. Об их конфигурации в то время можно судить лишь по сведениям, собранным на суше, однако они весьма обрывочны.

Для воссоздания палеогеографии эпохи палеозоя необходимы данные о строении древних горных хребтов, об ископаемых палеонтологических остатках, климатических изменениях, зафиксированных в осадочных породах, а также материалы палеомагнитных исследований.

Первые свидетельства существования конкретных палеозойских океанов, которые «захлопнулись» в процессе формирования Пангеи, были получены при изучении ископаемых остатков организмов и вмещающих их пород, которые отнесены к началу этой эпохи. Выяснилось, что ископаемые остатки восточной части Ньюфаундленда и юга Британских о-вов сходны между собой, но решительно отличаются от тех, что найдены на территории Шотландии и большей части Северной Америки.

Было выяснено, что Аппалачско-Каледонский горный пояс — это своего рода шов, возникший при столкновении двух континентов. Этот шов — свидетель существования в палеозое океанического бассейна, которому присвоили название

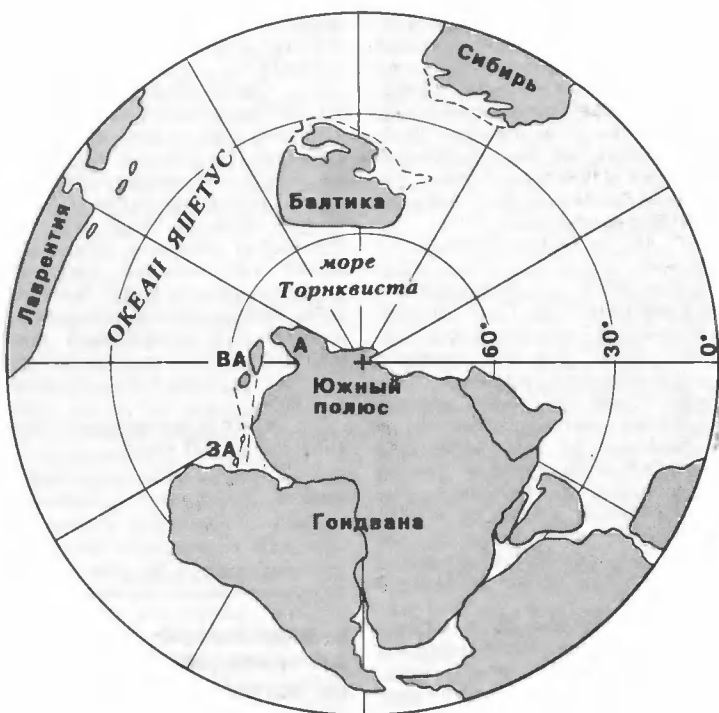


Схема конфигурации континентов в раннем ордовике — 500 млн. лет назад. Буквами обозначены малые участки суши: А — Арморика (часть южной Европы), ВА — восточная Авалония, включая юг Британии, ЗА — западная Авалония, включая часть Ньюфаундленда, Новую Шотландию и Новую Англию (северо-восток США).

Протоатлантики или океана Япетус. Долгое время полагали, что этот древнейший океан отделял палеозойскую Европу (в которую тогда входила и восточная часть о. Ньюфаундленд) от палеозойской Северной Америки (включая Шотландию). Однако интерпретация новых палеомагнитных и палеонтологических материалов подорвала эту гипотезу. Теперь признается, что «двухконтинентальная» модель излишне упрощает реальность.

Очевидно, океан Япетус разделял по меньшей мере три материка: Гондвану, Лаврентию (включавшую Северную Америку, Гренландию и Шотландию) и Балтику (т. е. Северную Европу). Кроме того, в пределах Япетуса должны были существовать несколько микроконтинен-

тов и еще более мелких участков суши.

По мнению Ч. Мак-Кейба (С. McCabe; Университет штата Луизиана, Батон-Руж, США), несколько сравнительно небольших материковых блоков, в том числе восточная часть Ньюфаундленда и юг Британии, в раннем палеозое были в составе Гондваны, а не Балтики (Европы). В конце ордовика эти микроконтиненты откололись от Гондваны и, вероятно, стали «независимыми». Сегодня их «обломки» можно найти на северо-востоке Северной Америки (Авалония), а также в южных районах Европы.

Помимо основных материков и континентальных обломков ныне идентифицированы малые участки суши, которые могли быть островами в океане Япетус. Их можно различить в границах так называемого Центрального подвижного пояса, расположенного между Авалонией и стабильной сушей Северной Америки, а также в соответствующих им районах южной Шотландии.

Примерно 440—410 млн.

лет назад (конец ордовика — силур) океан Япетус «захлопнулся»; происходило это по мере того, как Балтика и порожденные Гондваной обломки суши смещались в сторону Лаврентии. Именно столкновение этих материковых элементов и образование между ними швов 400 млн. лет назад породило так называемый Древний красный континент, Япетус же в ходе этого процесса полностью исчез. И лишь позже, уже, вероятно, в девоне, Гондвана, переместившись к северу, столкнулась с Древним красным континентом и образовала ядро Пангеи. Автор признает, что подобный сценарий еще требует немалых уточнений: необходимо прежде всего определить роли различных образованных Гондваной блоков суши, а также детальнее выяснить расположение Гондваны в силуре и девоне.

Eos. Transactions of the American Geophysical Union. 1992. V. 73. N 2. P. 22 (США).

Палеогеография

Следы древнего цунами

Американские геофизики и геологи установили в 1989 г., что около 105 тыс. лет назад у берегов о. Гавайи на дне океана произошел гигантский оползень. Столь крупное мгновенное перемещение донных пород вызвало волну цунами высотой до 375 м, обрушившуюся на лежащие окрест острова. Ныне Б. Янг и Т. Брайант (B. Young, T. Bryant; Вуллонгонгский университет, штат Новый Южный Уэльс, Австралия) пришли к выводу, что подобная катастрофа не могла пройти бесследно и для тихоокеанских берегов Австралии. Поиски свидетельств этого далекого события оказались успешными. Более того, они, возможно, позволят разрешить один из неясных вопросов местной топографии и геологии.

Почти все побережье юго-восточной Австралии окаймлено сплошной полосой дюн, относящихся к последнему межледниковому периоду (130—120 тыс. лет назад). Исключение

составляет отрезок берега к югу от Ньюкасла (Новый Южный Уэльс) — здесь дюны встречаются лишь у западных оконечностей вдающихся в море мысов. Янг и Брайант предположили, что первоначально кайма дюн была сплошной и лишь затем местами она была прорвана и смыта мощным цунами, пришедшим от Гавайев. По всей вероятности, величайшая коралловая постройка Земли — Большой Барьерный риф, лежащий вдоль северо-восточных берегов Австралии, а также находящиеся на пути цунами о-ва Новые Гебриды, Фиджи и Новая Каледония прикрыли, как щитом, Австралию от ярости стихии. Однако в ряде мест волна, все еще обладавшая достаточной энергией и высотой от 20 до 50 м, смогла нанести мощный удар по юго-восточному побережью Австралии. Наиболее убедительные факты такого хода событий обнаружены при изучении скалистых платформ на мысах Нового Южного Уэльса.

Обычно такие платформы перекрыты слоем дюнного песка, возраст которого превышает 100 тыс. лет. Однако если высота таких прибрежных скал менее 40 м, песок отсутствует, а они покрыты выветрелыми каменными породами. В одном месте на каменистой платформе обнаружены угловатые блоки массой по меньшей мере 20 т каждый, буквально вырванные «с корнем» из окружающих пород. На платформе отмечены глубокие желоба, остроконечные зубцы, расщелины. Подобный рельеф образуется ныне лишь там, где поверхность на время была перекрыта быстро несущимися мощными (глубиной не менее 10 м) потоками воды, например, в долине после прорыва большой плотины.

До сих пор странный «бездюнный» рельеф этого района объясняли воздействием штормов или рек; но теперь исследователи склоняются к мнению, что даже наиболее сильный шторм с волнами высотой 7 м не в состоянии так изменить топографию местных каменистых платформ; кроме того, сам характер осадочных пород на этих скалах не отвечает штормовому происхождению. Реки тоже не подходят здесь

в качестве рельефообразующего фактора: размытые дюнные барьеры расположены у выходов сравнительно малых рек, а сохранившиеся, напротив, около более крупных.

Авторы не отрицают возможности того, что цунами могло быть вызвано не подводным оползнем, а, например, мощным землетрясением или падением в океан крупного метеорита, но считают это менее вероятным. В районах активного вулканизма, к которым принадлежат и Гавайские о-ва, дно океана нестабильно; гигантские оползни случаются здесь примерно раз в 100 тыс. лет, причем в некоторых из них бывают «задействованы» колоссальные массы пород (объемом 2500 км³).

Geology. 1992. V. 20. N 3. P. 199 (США); New Scientist. 1992. V. 136. N 1843. P. 17 (Великобритания).

Палеоклиматология

По следам былых Эль-Ниньо

Обычно явление Эль-Ниньо, выражающееся, в частности, в нерегулярных подтоках повышенно теплых вод к берегам Перу в Рождественские дни (в декабре), начинается формироваться при возмущениях поля атмосферного давления над южной частью Тихого океана, что существенно нарушает сложившиеся типы атмосферной циркуляции всей Земли и приводит к серьезным климатическим последствиям, часто катастрофического характера, для весьма отдаленных областей земного шара.

Интересно, происходил ли подобный процесс в далеком прошлом?

Группа французских и бразильских специалистов открыла в Южной Америке следы воздействия таких климатических процессов на протяжении последних 7 тыс. лет, которые довольно близко напоминают картину Эль-Ниньо. Однако, имея продолжительность от 10 до 100 лет, они не могут полностью быть сравнимы с проявлениями современного Эль-Ниньо, продолжительность

которого не превышает нескольких месяцев. Вместе с тем отмечено много общего в характере оставленных ими следов. Так, нарушения в залежании прибрежных осадков у берегов океана, а также рек и озер позволяют говорить о существенных изменениях волнового и ветрового режимов. Похожие нарушения отмечены были после Эль-Ниньо в Бразилии и Сальвадоре в 1983 г.

На основе подобных аналогий предполагается дать хронологию Эль-Ниньо за 5 тыс. лет. В этой хронологии выделяются периоды со значительными нарушениями в режиме осадков, сходными с наблюдавшимися в 1983 г. Например, сильные засухи, отмеченные в тот год на юге Перу, в Бразилии и в бассейне Амазонки, позволяют провести параллель с периодами, когда уровень воды в оз. Титикака был очень низким, а в восточной Амазонии — по результатам анализа растительной пыльцы и грунта — отмечались засухи и лесные пожары. Дожди, обрушившиеся на север Перу в 1983 г., вынесли в реки массу песка, образовавшего наносы в устьях рек Пьра и Чире, что соотносится с избыточно влажными климатическими периодами.

Открытие в климате прошлого продолжительных периодов типа Эль-Ниньо позволяет значительно лучше понять климатические колебания даже в удаленных от Южной Америки областях.

Этот долго «надоедавший» климатологам «ужасный младенец»¹ теперь стал «надоедать» и палеоклиматологам. La Recherche. 1992. V. 23. N 266. P. 967 (Франция).

Палеонтология

Динозавры в Антарктиде

Американские полярники, возглавляемые палеонтологом

У. Хаммером (W. Hammer; Колледж св. Августина, Рок-Айленд, штат Иллинойс), обнаружили в горах Трансантарктического хребта, в 500 км от Южного полюса, ископаемые остатки крупного растительного динозавра из группы завропод, птерозавра, нескольких мелких труподных, а также совершенно неизвестного до сих пор крупного хищного динозавра, «снабженного» рогами и гребнем.

У нескольких хищных динозавров, правда, раньше такое «украшение» находили, но они никогда не достигали значительных размеров; рогатые же динозавры обычно были растительноядными и использовали свое «оружие», вероятно, для обороны. Находка представляет собой один из древнейших примеров крупных хищных ископаемых ящеров. Аналогией ей может служить лишь найденный в Южной Америке скелетный остаток довольно крупной особи, но у находки отсутствовал череп.

Антарктические хищные динозавры жили в середине юрского периода, около 175 млн. лет назад, и достигали 8—9 м в длину. В те времена эта местность лежала около 65° ю. ш., т. е. всего в 1000 км от южной оконечности Америки — мыса Горн. Раньше уже находили остатки динозавров даже еще ближе к Южному полюсу, чем последняя находка, но крупные хищные динозавры среди них отсутствовали. Тот факт, что в Антарктиде обнаруживается подобное разнообразие ископаемых ящеров, а среди них даже первый «высокоширотный» птерозавр, еще раз подтверждает, что в середине юрского периода климат здесь был теплее, чем ныне.

New Scientist. 1992. V. 137. N 1860. P. 16 (Великобритания).

Метеорология. Экология

Засуха в Испании

В конце 1992 — начале 1993 г. Испанию поразила засуха, подобная которой случилась лишь один раз за всю историю страны. На половине ее территории пришлось строго контролировать потреб-

ление воды; наиболее напряженной обстановка оказалась на юге, в Севилье, где водоснабжение обеспечивается лишь 17 час. в сутки. В сотнях населенных пунктов качество питьевой воды официально признано низким. Под угрозой гибели посевы на миллионах гектаров угодий.

Среди пострадавших районов — национальный парк Доньяна, один из крупнейших в Европе заповедников, на заболоченных территориях которого гнездится множество птиц. По сообщениям директора этого парка, перелетные птицы из Северной Европы и Америки в 1993 г. «воздерживаются» от остановок в Доньяне из-за безводности местности.

Ассоциация частного водоснабжения утверждает, что водоносный слой Пиренейского п-ова содержит достаточно влаги, чтобы удовлетворить нужды всех больших городов страны. Президент этой ассоциации гидролог Х.-М. Гальвес-Каньеро (J.-m. Galvez-Cañero) указывает на то, что под Мадридом находится фактически еще не тронутый слой воды на площади 600 км², по объему превышающий количество влаги во всех водохранилищах Испании, вместе взятых.

Министерство общественных работ, отвечающее за водоснабжение, подчеркивает между тем, что бурение стоило бы слишком дорого, а восстановление выкачанных запасов воды заняло бы весьма длительное время. Уже сейчас из подземного водосного слоя извлекается ежегодно на 1 км³ воды больше, чем в него поступает.

Правительство разработало проект переброски рек с севера страны по системе каналов на страдающий от засухи юг. В районе Пиренейских гор водохранилища почти заполнены, а на юге — исчерпаны. Этот проект стоимостью в 26 млрд. долл. может быть осуществлен к 2000 г.; как часть проекта стоимостью 87 млн. долл. уже приняты временные меры: срочная доставка воды по каналам с севера на центральные и южные равнины (включая Мадрид).

New Scientist. 1993. V. 137. N 1859. P. 9 (Великобритания).

¹ «Эль-Ниньо» в переводе с испанского означает «младенец». См.: Федоров К. Н. Этот капризный младенец — Эль-Ниньо // Природа. 1984. № 8. С. 65—74.

Вопрос, конечно, интересный

Просветление Луны

В колонке «Daedalus» журнала «Nature» была предложена блестящая (на первый взгляд) идея: увеличить яркость Луны, рассеивая пыль оксида магния на ее видимой поверхности. Идея преобразования Луны достаточно старая. В начале 50-х годов, когда стало ясно, что запуск спутника Земли не за горами, один известный советский теоретик написал научно-фантастический роман, где обыгрывалась именно эта идея. Фабула его была такова: Советы планируют массовый запуск ракет к Луне, поверхность которой должна быть преобразована направленными взрывами — на ней будет отчеканен портрет Сталина. Импералисты узнают о проекте и срочно готовят свой контрпроект: американская ракета должна выбить Сталина из глаз.

Но рассмотрим все по порядку. Вот перевод статьи из «Nature».

Недавно российский спутник осветил Землю отраженными лучами Солнца, искусственно создав подобие лунного света. Теперь Дедал предлагает исправить нечто настоящее. Он обращает ваше внимание, что Луна отражает всего только 5 % солнечного света — чуть больше, чем сажа. Если бы Луна рассеивала свет, как оксид магния (95 %), то она была бы раз в двадцать ярче.

Сначала Дедал представил себе ситуацию почти безнадёжной, как нечто подобное проекту «Аполлон»: ракеты доставляют оксид магния на Луну, а астронавты разравнивают его бульдозерами. Но теперь идея стала более четкой. Ракетный двигатель, сжигающий магний в кислороде, может извергать струю оксида магния со скоростью более 5 км/с. В космическом вакууме такой ракетный

выхлоп будет распространяться по баллистическим траекториям. Он может быть нацелен на Луну с большого расстояния, и равномерно распределенная пыль упадет на лунную поверхность. Дым оксида магния настолько мелкодисперсный, что достаточно всего 10 млн. т, чтобы покрыть видимую поверхность Луны ослепительно блестящим отражающим слоем.

Очевидна возможная технология этой работы: высокоскоростная пушка, разработанная для запуска снарядов в космос по канадскому проекту «Нагр», может быть установлена в Гималаях (возможно, на горе Эверест), чтобы свести к минимуму сопротивление атмосферы. Далее, уже в космосе снаряд следует направить к Луне ракетным двигателем. При сближении включается устройство для сжигания порошка магния в перхлорате лития. Эта смесь

сгорает, образуя оксид магния и хлорид лития (тоже очень белый порошок). Блок ориентации должен направить сильную струю так, чтобы она столкнулась с лунной поверхностью. Пушки настолько дешевле космических ракет, что тяжелый обстрел Луны можно поддерживать в течение многих лет, пока вся ее поверхность не будет равномерно запылена оксидом магния.

Жизнь на Земле изменилась бы. Ослепительно яркий лунный свет сэкономит миллионы на уличном освещении. Влюбленные начнут недовольно щуриться от такого неромантического сияния, а ночные разбойники и конспираторы будут тщетно пытаться уйти от лунного прожектора. Сибирь и север Канады, освобожденные от темных зим, достигнут невиданного процветания. Цветущие растения могут быть слегка

обескуражены от кажущегося бесконечным дневного света, однако месячный период новой Луны должен дать им адекватный ключ к правильному опре-

делению времени года. Стоимость проекта многократно окупится. Но чтобы финансировать его на ранней стадии, первые белые строки на темной лун-

ной поверхности, возможно, должны принять форму рекламных призывов.

Jones D. Waxing Moon // Nature. 1993. V. 363. N 6428. P. 404.

Идея, конечно, интересная. Экономические и экологические последствия такого проекта могли бы стать предметом жарких споров. При этом надо иметь в виду, что усредненное отношение потоков света от Луны и от Солнца равно $A[R/2d]^2$, где A , R и d есть соответственно альбедо, радиус Луны и ее расстояние от Земли. При увеличении альбедо в 20 раз это отношение возросло бы от примерно 10^{-7} до $2 \cdot 10^{-6}$ — всего лишь! Это по меньшей мере означает, что никаких климатических последствий от «просветления» Луны не произойдет. Однако ночная вегетация растений принципиально могла бы измениться даже от столь малого светового потока. Другой источник затруднений — возможное загрязнение околоземного пространства вследствие того, что частички пыли могут приобрести электрический заряд и отклониться от баллистической траектории.

Однако нет необходимости детально обсуждать эти опасения. Проект Дедала имеет один большой физический недостаток: предложенный способ «припудривания» Луны неосуществим. Пыль оксида магния извергается ракетой со скоростью несколько километров в секунду. Кроме того, за счет лунной гравитации скорость столкновения с Луной пылевых частиц всегда больше чем $v=2,4$ км/с. Поскольку эта величина того же порядка, что и скорость звука в лунном реголите, то каждая частичка пыли при ударе сформирует микрократер. Отношение объема кратера к объему частички может быть приближенно выражено как qv^2/S , где q — плотность, а S — напряжение разрушения горных пород лунной поверхности. Это отношение равно по меньшей мере 10^3 , что означает, что практически весь оксид магния окажется захороненным под лунной пылью, выброшенной из кратеров.

Перевод и комментарий А. В. Бялко

Над номером работали
Ответственный секретарь
Л. П. БЕЛЯНОВА

Заместитель ответственного
секретаря
В. И. ЕГУДИН

Научные редакторы
И. Н. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
А. Н. ГРИЦУК
М. Ю. ЗУБРЕВА
Г. М. КАРАСЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
Л. Д. МАЙОРОВА
Н. В. УСПЕНСКАЯ
О. И. ШУТОВА

Литературный редактор
Г. В. ЧУБА

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

Заведующая редакцией
С. С. ПЕРЕПЕЛКИНА

Корректоры
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА
Т. Н. МОРОЗОВА

В художественном оформлении
номера принимала участие
В. С. КРЫЛОВА

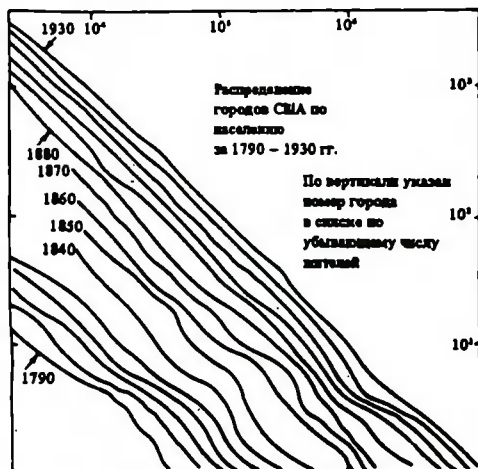


Ордена Трудового Красного
Знамени Всероссийское
объединение «Наука»

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароховский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 27.08.93
Подписано в печать 28.10.93
Формат 70×100¹/₁₆
Бумага офсетная № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 646,8 тыс.
Уч.-изд. л. 15,1
Тираж 24 160 экз.
Зак. 1437
Цена 50 р.

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
Министерства печати
и информации
Российской Федерации
142300, г. Чехов
Московской области



Многочисленные примеры из разных научных дисциплин демонстрируют удивительную общность: там, где есть развитые конкурентные отношения типа «хищник — жертва», распределение объектов по их величинам оказывается универсальным.

КОНКУРЕНЦИЯ В ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ
Трубников Б. А. ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОВ

Бялко А. В. КОНСТРУКТИВНОСТЬ ЗАКОНА КОНКУРЕНЦИИ

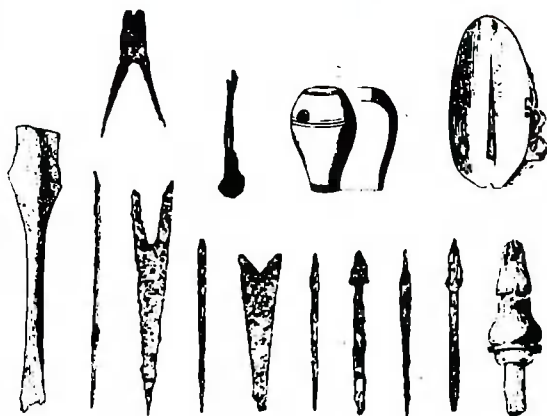


На северо-востоке Тувы обнаружены причудливой формы конкреции, которые легко принять за какие-то предметы, изготовленные древним человеком.

Белостоцкий И. И. ФИГУРНЫЕ КАМНИ — «КОСТЫРМА»

ПРИРОДА

11⁹³



Анализ предметов, принадлежащих погибшей у берегов Таймыра экспедиции XVII в., а также некоторые забытые ныне документы позволяют уточнить дату открытия русскими реки Лены.

Свердлов Л. М. ДАЛЬНИЙ ПУТЬ ДО ЛЕНЫ-РЕКИ

Созданная в конце 80-х годов экологическая карта СССР, на которую положены ареалы экологических ситуаций различной остроты и происхождения, со временем уточняется и детализируется. Одна из последних ее модификаций — карта экологической напряженности России.

Кочуров Б. И. ГЕОГРАФИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ

