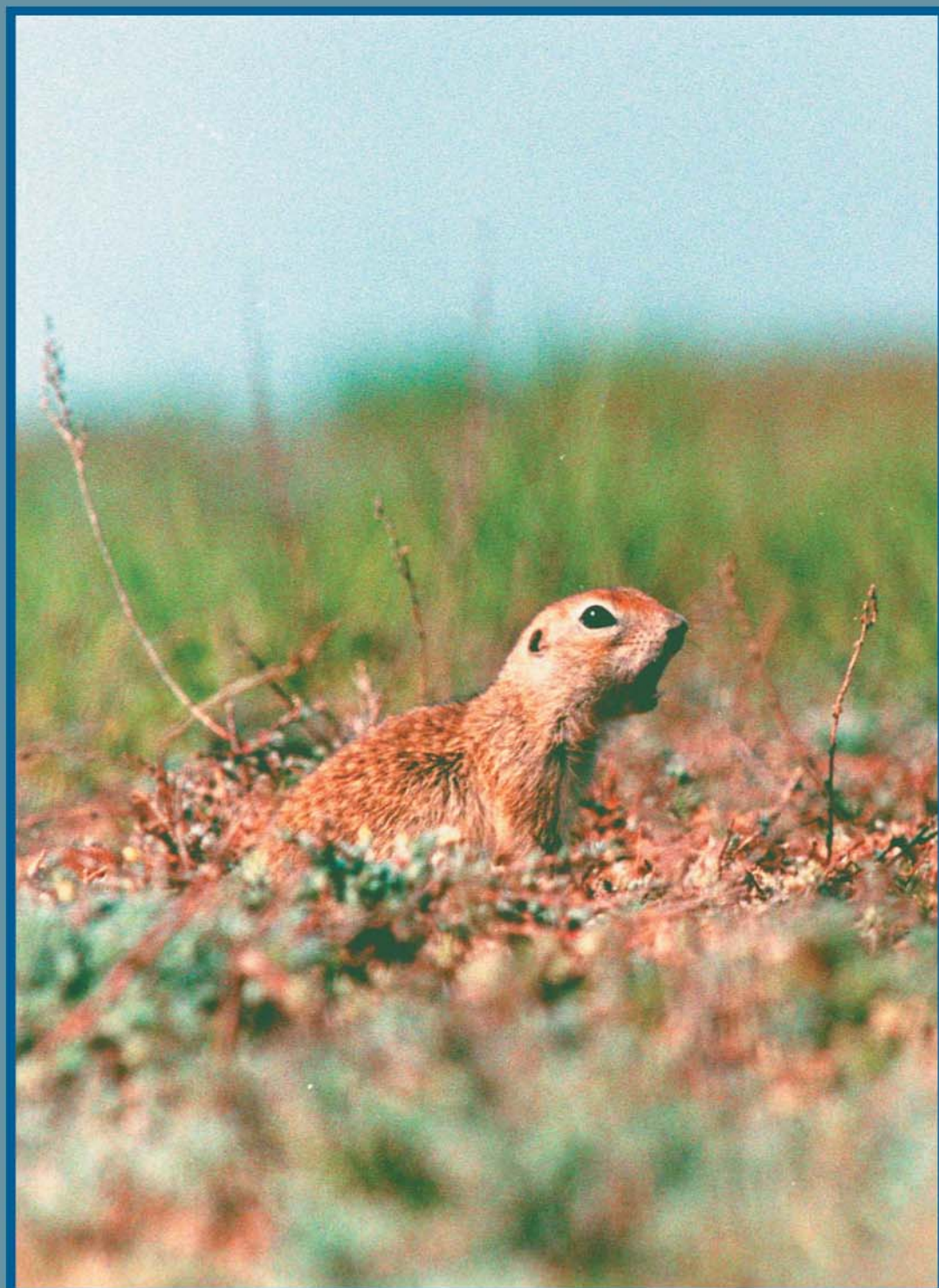


# ПРИРОДА

11 02



**В НОМЕРЕ:****3 Клюев Н.Н.**  
**Экологическая безопасность России: внешние угрозы**

Для нашей страны в целом характерна относительная природно-географическая изоляция. Несмотря на это, у нее тесные экологические связи с соседями, обусловленные огромными размерами территории и близостью к крупнейшим ареалам экономической деятельности за рубежом.

**11 Комар А.А.**  
**Регистрация нарушения CP-четности в распадах  $V^0$ -мезонов**

Через 37 лет после того, как было впервые обнаружено нарушение CP-четности в распаде  $K_L^0$ -мезона, удалось зарегистрировать то же явление в других слабых распадах.

**18**  
**Погода на Земле****21 Тарасова О.С., Мартыанов А.А., Родионов И.М.**  
**Роль медиаторов в регуляции артериального давления**

Открытие сосуществования нескольких медиаторов в одном синапсе — важное достижение физиологии конца XX в. Зачем нервной клетке нужны разные медиаторы? В некоторых случаях «разделение труда» между ними уже выяснено, однако в основном на этот вопрос пока нет ответа.

**Научные сообщения****28 Несис К.Н.**  
**Трилобиты изобрели «бактериальный огород»?****Гиляров А.М.****Виды сосуществуют в одной экологической нише (71)****Калейдоскоп**

**30** Органическая жизнь на Марсе? Вряд ли... (30). Сеть магнитных обсерваторий (30). Палеонтологическое Эльдorado (30). Создается дом гриба (31). Спутники следят за объектами Мирового наследия (31).

**32 ГРИБЫ РЯДОМ С НАМИ****Марфенина О.Е.****Опасные плесени в окружающей среде (33)****Щеглов А.И., Цветнова О.Б.****Грибы — биоиндикаторы техногенного загрязнения (39)****47 Холодов В.Н.****О природе грязевых вулканов**

На нашей планете насчитывается более 1700 надводных и подводных грязевых вулканов. Их развитие характеризуется постоянным чередованием периодов извержения и относительного покоя.

**Заметки и наблюдения****59 Булавинцев В.И.****Джаныбек — граница и еще раз граница****Резонанс****63 Сарма Амардео****Туринская плащаница****Левицкий М.М.****Периодическая система элементов: стройность и предсказательная сила (90)****Лекторий****75 Абелев Г.И.****История клонально-селекционной теории****Новости науки****81**

Найден источник космических лучей? (81). Недавняя катастрофа в поясе астероидов (82). Зафиксирован электрофонный звук болидов. **Вибс Д.З.** (82). Гонка за создание магнитной оперативной памяти (83). Зайцы-лесорубы (83). У яванских носорогов прибавление (84). Уникальный лес погибает (84). Когда возникла земная кора? (84). Исследование древней океанической коры (85). Древнейшее травянистое растение (86). Откуда пошло скотоводство (86). **Коротко** (74)

**Рецензии****87 Нечипуренко Ю.Д.****Творческое долголетие****Новые книги****89****Встречи с забытым****93 Белых Г.В.****Имя в истории аграрной науки**

**CONTENTS:****3 Klyuev N.N.**  
**Russia's Environmental Safety:  
External Threats**

*Our country is generally characterized by a relative natural and geographic isolation. Still, it has close environmental links with its neighbors, due to its enormous territory and proximity to the major areas of economic activity outside its borders.*

**11 Komar A.A.**  
**Observation of CP Violation  
in B<sup>0</sup> Meson Decays**

*37 years after the first observation of CP violation in K<sub>s</sub><sup>0</sup> meson decay, this phenomenon has been found in other weak decays.*

**18**  
**Weather on Earth****21 Tarasova O.S., Martyanov A.A.,  
and Rodionov I.M.**  
**The Role of Neurotransmitters  
in Regulating Arterial Blood Pressure**

*The discovery of several neurotransmitters coexisting in one sympathetic nerve is a major finding of late 20th century physiology. Why does the nerve cell need different neurotransmitters? Although the division of labor between them has already been elucidated in some cases, this question remains largely open.*

**Scientific Communications****28 Nesis K.N.**  
**Trilobites Have Invented  
a «Bacterial Kitchen Garden»?****Gilyarov A.M.****Species Coexist in One Ecological  
Niche (71)****Kaleidoscope****30**  
Organic Life on Mars? Hardly Likely... (30). A Network of Geomagnetic Observatories (30). A Paleontological El Dorado (30). Mushroom House under Construction (31). Satellites Keeping Watch over the World Heritage Sites (31).**32 FUNGI NEXT TO US****Marfenina O.E.****Dangerous Molds in the Environment  
(33)****Shcheglov A.I. and Tsvetnova O.B.****Fungi: Bioindicators of Anthropogenic  
Pollution (39)****47 Kholodov V.N.****On the Origin of Mud Volcanos**

*Our planet has more than 1700 subaerial and submarine mud volcanos. Their evolution is characterized by an alternation of eruptive and relatively quiescent periods.*

**Notes and Observations****59 Bulavintsev V.I.****Dzhanybek: The Border again  
and again****Response****63 Sarma Amardeo****The Shroud of Turin****Levitsky M.M.****The Periodic System of Elements:  
Harmony and Predictive Power (90)****Lectures****75 Abelev G.I.****History of the Clonal Selection Theory****Science News****81**

The Source of Cosmic Rays Is Found? (81). A Recent Catastrophe in the Asteroid Belt (82). Electrophonic Sound of Bolides Recorded. **Wiebe D.Z.** (82). The Race to Create Magnetic RAM (83). Hares the Woodcutters (83). An Increase in the Number of Java Rhinoceroses (84). A Unique Forest Is Dying (84). When Did the Earth's Crust Come into Being? (84). Research on Ancient Oceanic Crust (85). An Ancient Herbaceous Plant (86). Where Cattle Breeding Originated (86).  
In Brief (74)

**Book Reviews****87 Nechipurenko Yu.D.****The Researcher's Longevity****New Books****89****Encounters with the Forgotten****93 Belykh G.V.****A Major Figure in the History  
of Agricultural Science**

# Экологическая безопасность России: внешние угрозы

Н.Н.Клюев

Несколько непривычная для географических обобщений терминология в заголовке статьи оправдана тем, что в современном мире обеспечить экологическую безопасность страны так же важно, как и военную, и политическую, и экономическую. Обычно, характеризуя экологическое положение, обращают внимание на природу внутри страны, выделяя ареалы разных ее состояний. Однако известно, что антропогенные изменения, возникнув в одном месте, распространяются вглубь и вширь, не ведая никаких границ, включая государственные. Вот почему я попытался проанализировать именно внешние угрозы экологической безопасности [1].

Для нашей страны в целом характерна относительная природно-географическая изоляция. Основная часть береговой линии, около 50 тыс. км, значительно удалена от других государств. Из них 28 тыс. км приходится на моря Северного Ледовитого и 18 тыс. км — Тихого океанов. Только 8% береговой линии России — это побережья внутриматериковых морей, хорошо освоенных также нашими западными и юго-западными соседями. Высока (95%) доля собственного (местного) стока



*Николай Николаевич Клюев, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института географии РАН. Специалист в области социально-экономической географии, охраны окружающей среды, природопользования.*

в водных ресурсах. Юго-восточные рубежи нашей страны «охраняют» орографические барьеры — Алтай, Саяны и многие другие хребты вплоть до гор Камчатки, Курил и Сахалина.

Несмотря на это, у России тесные экологические связи с соседями (табл.1). Они обусловлены огромными размерами нашей территории, близостью к крупнейшим ареалам экономической деятельности (Западной Европе, Китаю, Японии, США). К тому же наши государственные границы не совпадают с границами водосборных бассейнов. В средних широтах Северного полушария преобладает западный перенос воздушных масс, с которым загрязнения поступают к нам из Западной Европы.

## Связи с соседями

Более чем на половине своей сухопутной границы Россия соседствует с бывшими советскими республиками, которые, как и она, находятся в социально-экономическом кризисе; причем он выражен у них более рельефно. Мои расчеты, сделанные по данным международных организаций [2], показывают, что ВВП на душу населения в Белоруссии составляет 85% российского, в Литве — 81, на Украине — 66, а в Азербайджане — лишь 20%. Таким образом, между западноевропейскими странами, отличающимися чрезвычайно развитой индустрией, высокоинтенсивным сельским хозяйством и стремящимися сде-

© Н.Н.Клюев

Таблица 1

## Экологические взаимосвязи России и сопредельных стран\*

Трансграничное загрязнение воздуха (для европейской части страны), тыс. т:	Из России	В Россию
выпадения окисленной серы	76	775
выпадения окисленного азота	31	292
выпадения аммонийного азота	24	104
<b>Межгосударственные речные бассейны:</b>	<b>В пределах России</b>	<b>За рубежом</b>
площадь (тыс. км <sup>2</sup> )	1253	2140
население (млн чел.)	14	78
<b>Валовый внутренний продукт, созданный в промышленности и сельском хозяйстве (млрд долл./год)</b>	<b>В пределах России</b>	<b>За рубежом</b>
	67	147

\* По данным [1].

лать производство более чистым, и Россией ныне сформировался пояс стран с переходной экономикой, которая характеризуется падением производственного потенциала и сокращением антропогенной нагрузки. В настоящее время наличие этого пояса благоприятно сказывается на эколого-географическом положении России.

Однако социально-экономическая политика наших ближайших соседей — стран СНГ и Прибалтики — вынужденно носит антиэкологический характер. Бедные страны не могут себе позволить заботиться о чистоте окружающей среды, и это не менее опасно, чем расточительное западное потребление. Практически повсеместно сворачиваются строительство и реконструкция природоохранных сооружений.

После провозглашения независимости Украины принято решение о моратории на строительство АЭС, однако сейчас он отменен. Остановленная Метцаморская АЭС в Армении вновь введена в эксплуатацию. (Кстати, вследствие шестилетней консервации этой станции были вырублены на дрова зеленые насаждения в городах республики, опасно снизился уровень воды в оз.Севан из-за возрастания выработки электроэнергии на Разданской ГЭС. Другими словами, взамен потенциальных опасностей от АЭС страна

столкнулась с реальными.) Пока не ясна картина со строительством нового блока на АЭС в Литве и проектированием новой атомной электростанции в Казахстане.

Единое экологическое пространство СССР ныне раздроблено на 15 частей. Координация усилий стран СНГ при этом сильно затруднена. Так, например, обострились противоречия России и других прикаспийских государств при освоении нефтяных месторождений, что может быть чревато негативными экологическими последствиями.

Усиление экономического неравенства между Западной Европой, с одной стороны, и Центральной и Восточной — с другой, становится основой для транспортировки с Запада на Восток токсичных отходов, перемещения экологически опасных производств и других процессов, определяемых как экологический колониализм.

Примером может служить применение опасных методов добычи золота и серебра на румыно-австралийском предприятии в г.Бая Маре (Румыния). В начале 2000 г. там произошла экологическая катастрофа из-за выброса 100 тыс. м<sup>3</sup> цианистых солей в р.Сомеш — приток Тисы. Причиной загрязнения был прорыв плотины резервуара-отстойника после выпадения обильных дождей. Интен-

сивность наводнений в предгорьях Карпат, по всей видимости, возросла из-за активной вырубки лесов на склонах этих гор в Румынии и на Украине, где вследствие безработицы активно занимаются лесозаготовками.

Приток речных вод на территорию России в три раза превосходит их отток (табл.2). Основные поставщики — Китай, Финляндия и Монголия, а Белоруссия, Украина и Казахстан потребляют основную долю загрязненных сточных вод, «экспортируемых» реками России. К сожалению, мы не располагаем данными о загрязненных сточных водах из стран дальнего зарубежья, а их, особенно из Китая, думается, поступает немало.

Почти треть наших сухопутных рубежей проходит по рекам и озерам, не пересекая их. При этом больше половины речного пограничья приходится на Амур, разделяющий Россию и Китай. Пограничные водотоки и водоемы интересны для нас как объекты совместного, межгосударственного природопользования, качество воды в которых зависит от специфики хозяйственного использования территории на водосборных площадях по обе стороны границы.

По моим расчетам, площадь водосборных (а значит, и грязесборных) бассейнов, где формируется «импортируемый» Россией речной сток, составляет более 2 млн км<sup>2</sup> (это примерно площадь Мексики). В таких бассейнах за рубежом проживает 78 млн человек (чуть меньше населения Германии). Российские части международных речных бассейнов менее освоены по сравнению с зарубежными. Например, производственная нагрузка на территории межгосударственных речных бассейнов в Китае в шесть раз выше, чем в России, а демографическое давление на эти бассейны в Китае превышает российское в 17 раз.

К почти девственным российским дальневосточным рубежам примыкает сплошной ареал высокоосвоенной китайской, а также северо-корейской территории. В настоящее время Китай — не только демографическая держава первого ранга, но и страна высочайших темпов экономического роста. Однако в отличие от высокоразвитых стран, здесь интенсивный экономический рост не сопровождается экологизацией хозяйства. Из-за высокой (80%) доли угля в топливном балансе по объему выбросов парниковых газов и соединений серы в атмосферу Китай занимает второе (после США) место в мире. Пять китайских городов, включая относительно близкий к России Шэньян, за годы реформ вошли в десятку самых загрязненных городов мира. Судя по высоким темпам роста жизненного уровня, Китай в ближайшее время может стать массовой автомобильной страной,

Таблица 2

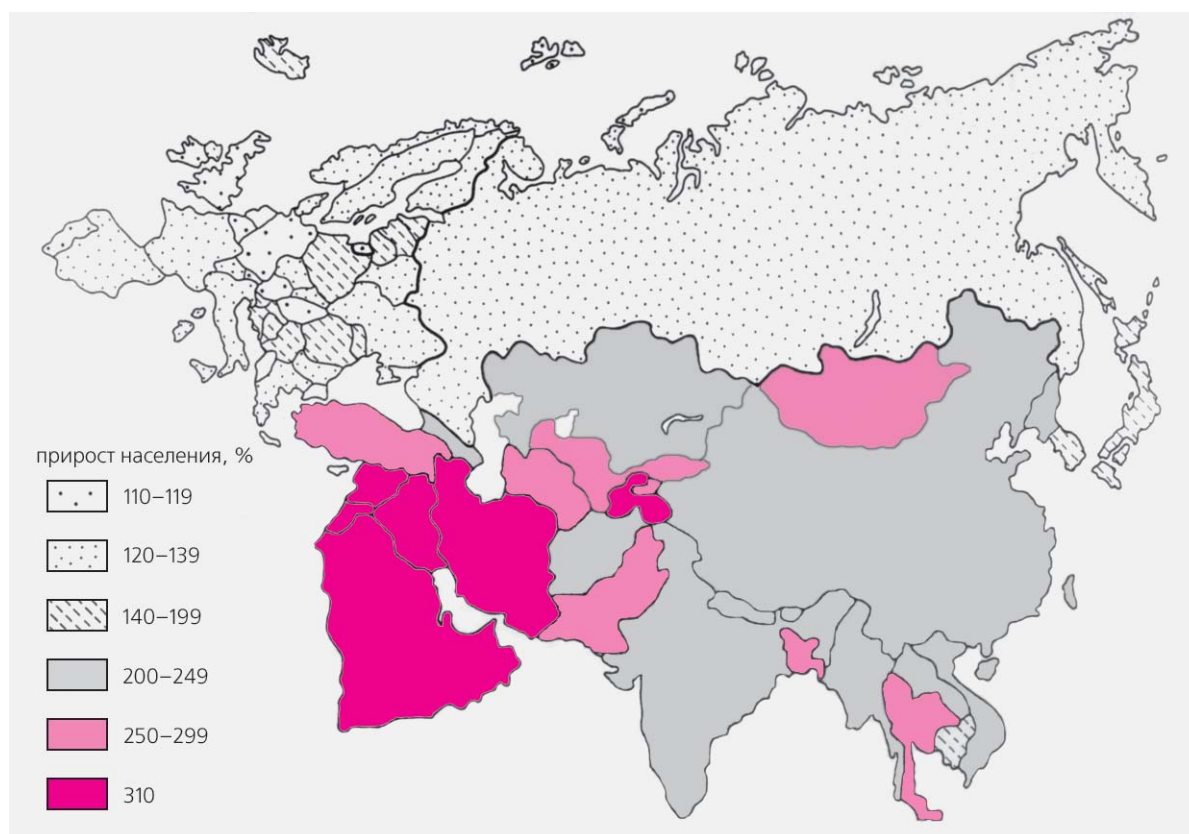
## Трансграничные потоки речного стока и загрязненных сточных вод\*

Страны	Речной сток, км <sup>3</sup> /год		Загрязненные сточные воды, млн м <sup>3</sup> /год	
	приток в Россию	отток из России	приток в Россию	отток из России
Финляндия	27.98	-	...	-
Эстония	-	2.21	-	10
Литва	0.82	-	5	-
Польша	1.59	-	...	-
Белоруссия	0.52	15.36	10	147
Украина	4.96	11.12	450	308
Грузия	3.05	-	0.0	-
Азербайджан	-	2.18	-	0.0
Казахстан	31.9	10.26	140	407
Монголия	24.87	20.6	...	0.0
Китай	95.55	-	...	-
Всего	191.24	62.45	...	...

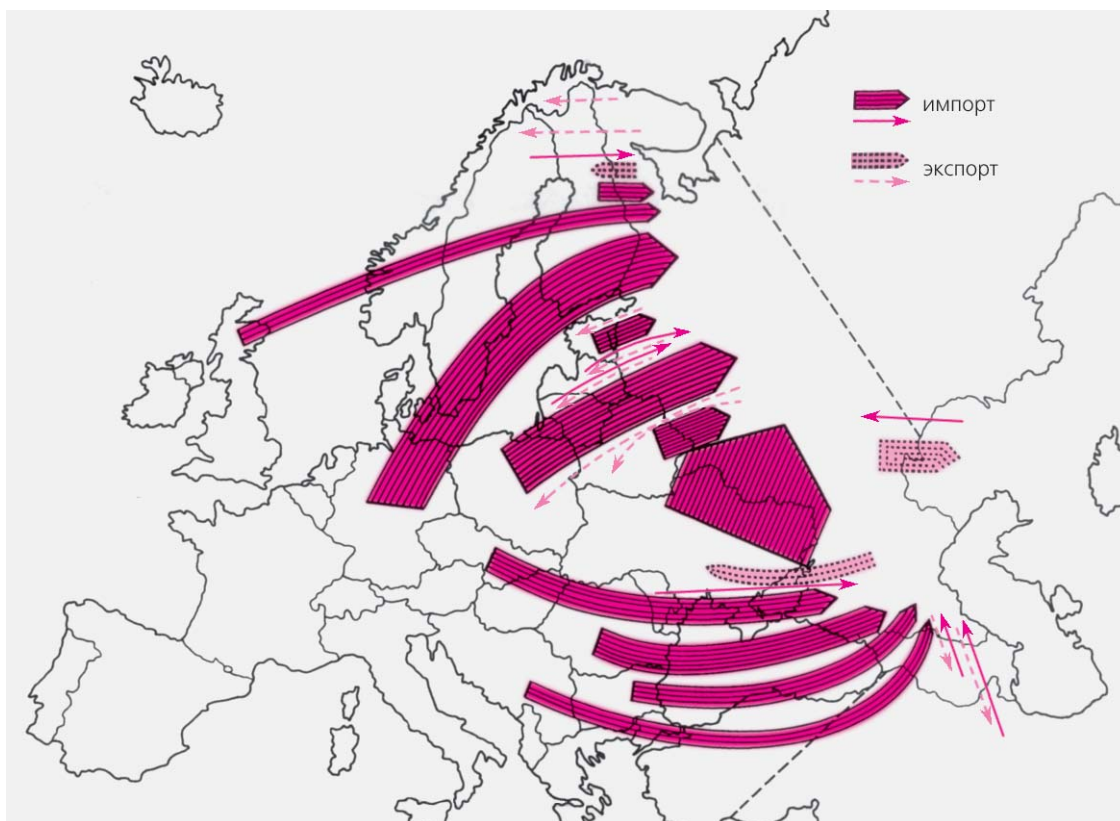
\* По данным [1]; многоточие — нет данных, прочерк — нет оттока и притока.

что также повлечет за собой серьезные негативные экологические последствия. В связи с реформой земледелия расширяется эрозия, загрязнение почв

и водоемов, аридизация. По мнению китайских специалистов [3], переход страны к экологически чистому производству будет происходить очень медленно.



Динамика численности населения за 1950–1990 гг.



Осредненная картина трансграничных потоков серы, выброшенной в атмосферу на начало 90-х годов.

У южных границ России сосредоточены государства, отличающиеся высокими темпами демографического роста и, следовательно, давления на среду. Так, за 1950–1990 гг. прирост населения в азиатских государствах составил не менее 200% (кроме Грузии, Японии, Камбоджи и Афганистана). Причем 148% в Японии — это

почти 40 млн человек (больше, чем современное население Польши или Испании), а «скромный» 208%-й рост населения Китая (Иран — 345%, Ирак — 350, Саудовская Аравия — 465% !) обернулся почти 600 млн человек, что сопоставимо с современной численностью населения всей Европы [2]. Почти все российские сосе-

ди (за исключением Украины) за указанный период имели больший, чем наша страна, прирост населения. В последующие годы, как известно, в России вообще наблюдалась депопуляция. Таким образом, по показателям демографического давления на среду, эколого-географическое положение нашей страны за послевоенный период заметно ухудшилось. Особенно важные последствия для внешнеэкологической безопасности России имеет демографический взрыв в республиках Средней Азии и Казахстане. Близкое соседство наименее освоенной и наиболее уязвимой российской территории со странами огромного демографического потенциала и высочайших темпов экономического роста формирует потенциальную политико-экологическую напряженность на Дальнем Востоке.

**Таблица 3**

**Радиоактивное загрязнение морей\***

Акватории	<sup>137</sup> Cs, нКи/м <sup>3</sup> , в поверхностном слое воды	<sup>137</sup> Cs, нКи/кг, в мышцах рыб	<sup>239</sup> Pu, <sup>240</sup> Pu, нКи/м <sup>3</sup> , в поверхностном слое воды
Балтийское море	6.8	800	...
Атлантический океан	1.6	20	...
Баренцево море	0.2	20	<0.027
Карское море	1.6	...	...
Ирландское море	...	800	0.27
Северное море	...	30	0.007

\* По данным [4].

Российский вклад в использование и трансформацию бассейнов внутриматериковых межгосударственных морей существен лишь для Каспийского и Азовского морей, доля нашей страны здесь ориентировочно составляет от 60 до 80%, а в нагрузке на другие бассейны, омывающие ее территорию, не превышает 10%.

Основной путь распространения экологического риска в сторону России — Норвежско-Нордкапское течение, выносящее загрязнители из Северного и Норвежского морей в Баренцево. Северное море уже свыше 150 лет используется как крупномасштабная свалка отходов. В послевоенные годы сюда сбрасывали радиоактивные отходы Франция и Великобритания (последняя, правда, в Ирландское море); сюда же поступали стоки с морских нефтегазопромыслов. Благодаря Гольфстриму широкий спектр загрязнений — от бытовых отходов до радионуклидов — проследживается до Карского моря.

Западные политики и СМИ проявляют повышенную обеспокоенность ядерной и радиационной опасностью на Кольском п-ове и в Баренцевом море. Здесь действительно сконцентрированы опасные объекты: АЭС, базы ледокольного и подводного атомных флотов, завод по производству атомных субмарин, судоремонтные заводы, стоянки выведенных из эксплуатации атомных кораблей, хранилища отработанного ядерного топлива, установки по очистке радиоактивных отходов и морской могильник для них, Новоземельский ядерный полигон. В то же время российско-норвежская экспедиция установила, что фоновое радиоактивное загрязнение Баренцева и Карского морей [4] значительно (на порядок) ниже, чем Ирландского и Балтийского (табл.3). Со сбросами двух радиохимических заводов, расположенных в Шотландии и на побережье Ла-Манша, в Карское

море попадает около 30% загрязнения стронцием-90 и 60% — цезием-137 [5]. Таким образом, в этом районе отечественные потенциальные экологические опасности сочетаются с «импортируемыми».

Из-за открытости российских границ к западу и западного переноса воздушных масс зона наших атмосферно-экологических интересов простирается вплоть до Пиренейского п-ова. Главные «экспортеры» в Россию атмосферных загрязнений — Украина, Германия, Польша, Великобритания, но очаги концентрации внешних угроз экологической безопасности обрамляют ее со всех сторон.

### Очаги концентрации загрязнений и уязвимые районы

На Дальнем Востоке выделяется Китайское Приамурье — провинция Хэйлунцзян и большая часть провинции Гирич, где на квадратном километре живет до 300 человек (не считая городов, в России столь плотно населены лишь районы Московской обл.). Регион специализируется на «грязных» отраслях тяжелой индустрии, опирающихся на местную сырьевую и топливную базу (добычу угля, цветных металлов, нефти, тепереработку, электроэнергетику, химическую промышленность). Здесь находится двухмиллионный Харбин и полумиллионный Чанчунь. (На приведенной карте этот очаг обозначен буквой А.)

Казахстанское Прииртышье — Павлодар-Экибастузский и Усть-Каменогорский промышленные районы специализируются на угледобыче, электроэнергетике, цветной металлургии. В регионе локализуются Ульбинский металлургический комбинат, производящий топливо для АЭС, четыре крупных водохранилища на Иртыше, Семипалатинский ядерный полигон (на карте — Б).

Украинская часть бассейна Северского Донца — Харьковская агломерация и украинский Донбасс представляют собой высокоурбанизированный регион (плотность населения свыше 100 чел./км<sup>2</sup>), специализирующийся на угледобыче, металлургии, химической и нефтехимической промышленности (на карте — В).

Район Чернобыльской АЭС — зона реального радиоактивного загрязнения с потенциально опасным «саркофагом» (на карте — Г).

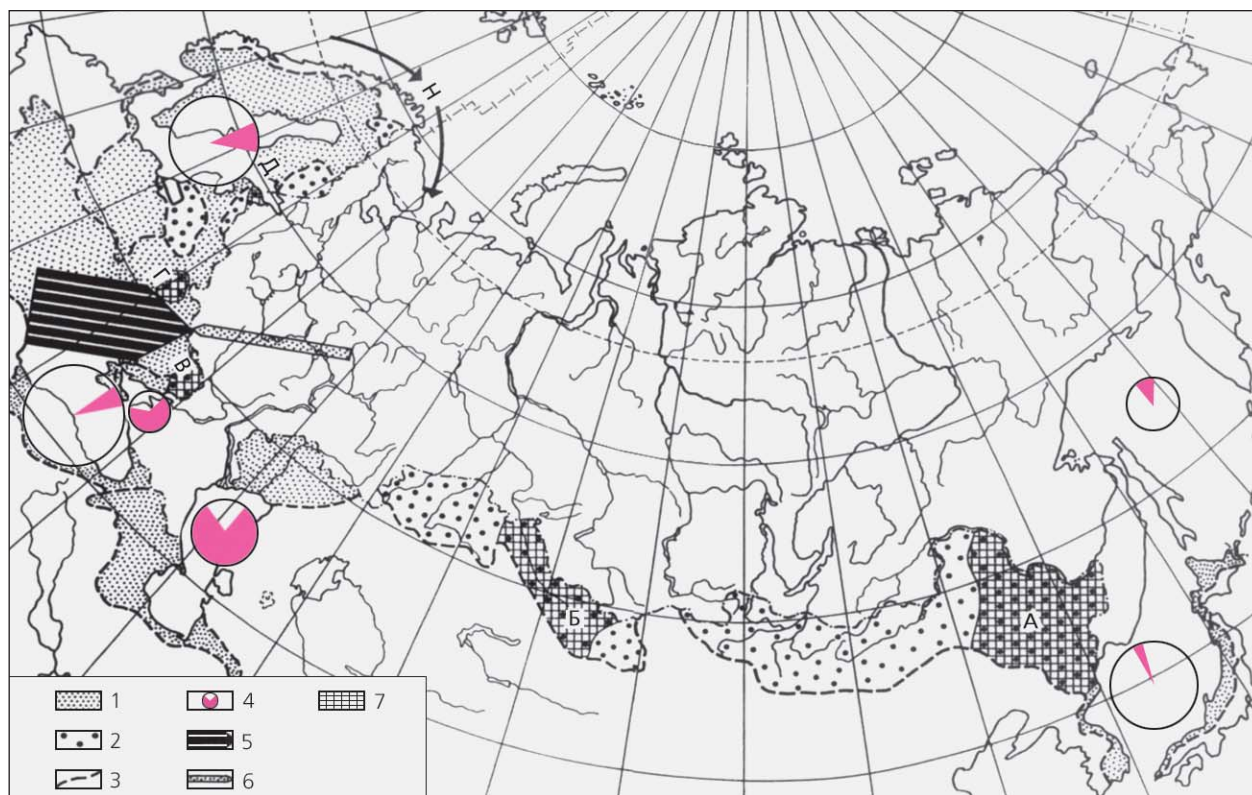
В промышленных узлах Северо-Восточной Эстонии добывают и перерабатывают сланцы, развита химическая индустрия, электроэнергетика (на карте — Д).

Естественно, Россия заинтересована в контроле за соблюдением современных природоохранных норм в этих зонах. Но нередко предприятия, экологическое влияние которых распространяется и на российскую территорию, передаются фирмам третьих стран. Так, в Казахстане в управление или собственность иностранных фирм попали производства алюминия, полиметаллов, крупнейшие электростанции в Экибастузе и Ермаке.

Внутри страны тоже можно выделить уязвимые регионы, наиболее подверженные внешним экологическим угрозам. Так, Калининградский анклав — настоящий форпост на пути воздушных загрязнений из Западной Европы, хотя эта российская область удалена на 500 км от очагов максимальной концентрации производственного потенциала (Германия, Бельгия, Нидерланды).

Побережья Мурманской и Архангельской областей также подвержены влиянию западноевропейских источников экологической опасности из-за выноса загрязнителей из Северного и Норвежского морей в Баренцево — крупнейший шельфовый водоем нашей страны, превосходящий по рыбопродук-





Положение России относительно внешних экологических угроз. На карте показаны водосборные бассейны вне территории России: морские (1) и речные (2); границы морских и речных бассейнов (3); доля России в производственной нагрузке на бассейны межгосударственных морей, величина круга пропорциональна ВВП, созданному в промышленности и сельском хозяйстве в пределах морских бассейнов (4); трансграничные потоки соединений серы: на европейскую часть России (5), с европейской части России (6), толщина стрелок соответствует величине потоков; очаги концентраций внешних угроз (7) обозначены буквами А, Б, В, Г, Д (пояснение в тексте). Буквой Н обозначено Норвежско-Нордкапское течение.

тивности Балтийское, Белое, Черное, Азовское и Каспийское моря вместе взяты.

Западные районы Ленинградской и Псковской областей находятся под непосредственным влиянием северозападного очага загрязнения атмосферы, который сопоставим с петербургским, — атмосферные потоки направлены преимущественно в сторону России.

С подветренной стороны, в 100 км от Смоленской обл., расположена крупная (2400 МВт) Новолукомльская ГРЭС в Белоруссии. Однако самый мощный очаг атмосферных выбросов (крупнейший в бывшем СССР) локализуется в Донецко-Приднепровском регионе Украины. Рас-

положенный в непосредственной близости от российской территории, со стороны господствующих ветров, он угрожает прежде всего Ростовской обл.

Потенциальному влиянию чернобыльского очага подвержены прежде всего Смоленская, Брянская, Калужская, Курская и Орловская области.

Экологическую угрозу для России представляет атмосферный вынос солей из Средней Азии, усилившийся из-за усыхания Арала. Еще в 80-х годах было установлено, что перенос аэрозолей и пыли направлен от центра аридной зоны к его периферии [6]. Следовательно, ухудшения эколого-геохимической обстановки можно ожидать прежде всего на Южном

Урале и в южной части Западной Сибири.

Речной сток и вместе с ним водные загрязнения «импортируют» из Казахстана Омская, а также Курганская и Тюменская области.

Значительное влияние атмосферных загрязнителей, расположенных в Казахском Прииртышье, испытывают Омская, Новосибирская области и Алтайский край.

Юго-восток российской территории (от Республики Алтай до Амурской обл.) окаймлен горами и горными хребтами широтного простирания, препятствующими свободному распространению воздушных загрязнителей из-за рубежа. Климатической преградой является так-

же локализуемая здесь область устойчивого преобладания зимой антициклонических условий. Однако Алтай, Саян и других орографических барьеров может оказаться недостаточно, чтобы преградить путь потенциальным опасностям, исходящим от ядерного полигона Лобнор в северо-западной части Китая, который удален на 1000 км от российских границ.

Весь юг Дальнего Востока (Амурская обл., Хабаровский и Приморский края) — зона влияния китайских источников экологической опасности. Эти регионы импортируют из Китая речной сток с водными загрязнениями, а также атмосферные поллютанты.

Цусимское течение выносит воды из Желтого и отчасти и из северной части Восточно-Китайского морей и создает угрозу Приморью от китайских, корейских и японских источников экологического риска. Крупномасштабной ядерной энергетикой, ориентирующейся к тому же на использование плутония, отличается Япония (третье место в мире после США и Франции по общей мощности ядерных установок). Если в европейских государствах программа развития ядерной энергетики в послечернобыльский период в значительной степени была приостановлена, то в Японии, а также в Республике Корея строятся и проектируются новые станции.

Отметим, кстати, что АЭС далеко не полностью отражают риск ядерной энергетики. Значительная опасность возникает на других стадиях ядерного топливного цикла (добыче сырья, производстве топлива, транспортировке, хранении и захоронении отходов), а также на производстве ядерных вооружений, которые исторически, технологически, а иногда и пространственно сопрягаются с «мирным атомом».

Отечественные предприятия начальных и конечных стадий ядерного цикла локализируются,

как правило, в глубине российской территории, вдали от морских берегов (Челябинская, Томская области, юг Красноярского края). В силу этого они представляют опасность прежде всего для территории самой России. В странах, не обладающих столь обширными территориальными ресурсами (Японии, Великобритании, Тайване, Республике Корея и др.), предприятия ядерного топливного цикла оказываются гораздо ближе к Мировому океану, что предопределяет опасность не только для их собственных, но и международных акваторий.

Аляскинское течение может транспортировать загрязнения на побережья Чукотки и Камчатки с нефтепромыслов Аляскинского шельфа, где добывается около четверти нефти США.

Несомненную экологическую угрозу для России представляет сконцентрированный вдоль ее границ военный потенциал соседствующих стран, которые имеют химическое оружие или способны его производить, — США, Япония, Китай, страны ЕС.

Практически на всем протяжении российской границы типы ландшафтов и доминирующие типы фонового землепользования при ее пересечении не меняются, то есть карельские леса соседствуют с лесами Финляндии, украинская пашня — с российской и т.п. Здесь нет противоречий, хотя и при одном типе землепользования такой конфликт возможен из-за разного характера и интенсивности использования земель. Например, внесение минеральных удобрений на единицу сельскохозяйственных угодий в Псковской, Смоленской и Брянской областях ниже, чем в соседних с ними Эстонии, Латвии и Белоруссии, а значит, возможен экспорт загрязненного стока в Россию.

Отсутствие на границе ландшафтных рубежей и однотипность в приграничье типов землепользования создают предпо-

сылки для свободного перемещения через границу мигрирующих животных, а также вредителей и болезней сельскохозяйственных культур. Сходство природоохранных задач по обе стороны границы облегчает формирование единой экологической политики России и стран — ее соседей, требует тесного и многостороннего сотрудничества, унификации природоохранных стандартов и норм. Первый шаг такого сотрудничества — проведение в приграничных районах совместных исследований для уточнения и конкретизации межгосударственных экологических взаимосвязей, знание которых необходимо для организации мониторинга и разработки прикладных экологических программ. Однако здесь сделаны лишь первые шаги.

Протяженные границы Российской Федерации, из них 13,5 тыс. км — новые, с бывшими союзными республиками, не оборудованы и не оформлены в правовом отношении. Это создает широкие возможности для контрабандных операций, в том числе незаконного вывоза природных ресурсов и ввоза отходов. Проблема охраны границ приобретает таким образом и экологическое значение.

В целом, в рамках нормального (внеаварийного) функционирования хозяйства, Россия представляет меньше опасности для соседей, чем они для нее. К примеру, потоки антропогенной серы, поступающие на Русскую равнину из Западной Европы, в 10 раз превосходят ее обратные потоки. Наша страна реально более страдает от соседей в экологическом плане, чем они от нее. Это, конечно, надо учитывать и использовать во внешнеполитической деятельности.

Далеко не все внешние экологические угрозы определяют эколого-географическим положением страны, некоторые формируются механизмами международного разделения труда. Яркий пример — экспорт

металлов платиновой группы концерна «Норильский никель» в Японию и США, где они используются в катализаторах для очистки автомобильных выхлопов. Чем больше ужесточаются требования к чистоте выхлопов, тем больше спрос на продукцию. Борьба за чистоту атмосферы за рубежом интенсифицирует ее загрязнение в России. Отметим, что этот концерн — крупнейший в Евразии загрязнитель атмосферы.

Социально-экономические условия (финансовые трудности, низкая стоимость земли, коррумпированность чиновников, слабость природоохранного законодательства и экологических движений) «притягивают» в Россию из других стран опасные производственные отходы (значительная их часть обращается на «черном рынке»), а также вредные производства, потенциально опасные исследования и разработки. Используя кризисное состояние российской экономики, зарубежные фирмы предлагают проекты захоронения на нашей территории отработанного ядерного топлива, осадков сточных вод, химических продуктов с истекшим сроком годности, строительства мусоросжигательных заводов, ориентированных на переработку импортируемых отходов и т.д. [7]. В том же направлении действует и экспорт в Россию отслужив-

ших свой век на Западе экологически несовершенных автомобилей (правда, и свои не лучше), а также продовольствия, которое из-за несоответствия российским стандартам легко пересекает границу. Доля автомобилей иностранных марок с большим сроком службы, не удовлетворяющих природоохранным требованиям, превышает 40% от числа проверенных машин [8]. Доля бракованной продукции импортного производства по ряду продовольственных товаров составляет более 15% [9].

Показательна ситуация с заводом по переработке плутония, построенном в г.Ханану (ФРГ) и до сих пор не введенного в действие из-за противодействия «зеленых». Немецкое правительство поддержало предложенный, но пока нереализованный проект передачи завода России, считая его экологически опасным для своего отечества и, по-видимому, не столь опасным для России.

Именно с рынками России и других стран СНГ, испытывающих продовольственные трудности, связывают надежды такие корпорации, как «Monsanto», «Du Pont» и др., специализирующиеся на производстве продуктов питания, полученных из генетически измененных (трансгенных) растений. Достоверные знания об их влиянии на здоровье человека и окружающую среду пока от-

сутствуют. На экологически чувствительных американском и западноевропейском рынках, где наблюдается к тому же избыток продовольствия, трансгенные продукты вряд ли найдут устойчивый спрос.

Однако основная экологическая опасность для России — в самой России. При этом главную экологическую угрозу представляют не конструктивные особенности отечественной техносферы (она не фатально чревата катастрофами) и даже не экологические террористы. Основная опасность кроется в российской гибридной экономике, вобравшей в себя худшие черты и рыночного, и планового хозяйства. В условиях неуклонно стареющих инфраструктуры, производственного и природоохранного оборудования «стихийная» деиндустриализация страны представляет большую потенциальную экологическую опасность, чем дореформенная советская функционирующая индустрия. Такая траектория развития (деградации?) страны не отвечает ни российским национальным, ни глобальным экологическим интересам. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 02-06-80233) и Фонда содействия отечественной науке.**

## Литература

1. Клюев Н.Н. и др. Россия и ее регионы: внешние и внутренние экологические угрозы. М., 2001.
2. World Resources. 1998—1999. N.Y.; Oxford, 1998.
3. Сюй Дисинь. Экологические проблемы Китая. М., 1990.
4. Огородников Б. // Евразия. 1996. №5/6. С.33—35.
5. Матишов Д.Г., Матишов Г.Г. Радиационная экологическая океанология. Апатиты, 2001.
6. Глазовский Н.Ф. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1986. №5. С.21—29.
7. Россия: свалка западных отходов. 1987—1993 // Зеленый мир. 1994. №8.
8. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды РФ в 1997 г.» // Зеленый мир. 1998. №25—27.
9. Безопасность России. Экономическая безопасность. М., 1998.

# Регистрация нарушения $CP$ -четности в распадах $B^0$ -мезонов

А.А.Комар

Экспериментальное наблюдение, о котором идет речь в заголовке, имеет, как будет видно из дальнейшего, исключительно важное значение для понимания свойств одного из трех основных взаимодействий элементарных частиц — слабого взаимодействия. Не случайно давно ожидаемая информация о результатах исследований по распаду нейтральных  $B$ -мезонов (выполнявшихся независимо в двух разных ускорительных центрах в США и Японии) была опубликована в одном и том же номере престижного журнала «Physical Review Letters» в статьях, следующих друг за другом. Причем это было сделано дважды: предварительные результаты обеих групп появились в мартовском номере 2001 г., а более полные данные (при увеличении статистики) — в августе [1, 2]. Такое отношение научной общественности лишний раз свидетельствует об исключительном интересе к публикуемому материалу. Чтобы пояснить читателю, чем он был вызван, начнем с небольшого физического и исторического введения.

© А.А.Комар



*Астон Антонович Комар, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией электронов высоких энергий Физического института им.П.Н.Лебедева РАН. Область научных интересов — физика элементарных частиц, процессы сильного и слабого взаимодействия, свойства симметрии в физике частиц. Член редколлегии журнала «Природа».*

## Взаимодействия и дискретные преобразования

При описании взаимодействий элементарных частиц важное значение имеет поведение сил по отношению к двум дискретным преобразованиям: операциям  $C$  и  $P$ . Первый символ обозначает переход от частицы к античастице (в простейшем случае — зарядовое сопряжение), а второй — переход от исходного пространства к инвертированному (т.е. пространству,

где координаты  $x, y, z$  заменены на  $-x, -y, -z$ ), который после поворота на  $180^\circ$  относительно одной из координатных осей приводит к более привычному зеркальному пространству. Из известных взаимодействий элементарных частиц два — сильное и электромагнитное — по отношению к операциям  $C$  и  $P$  ведут себя предельно просто: они инвариантны по отношению к ним, т.е. не меняются после этих преобразований. Как следствие,  $C$ -четность и  $P$ -четность элементарных частиц

(квантовые числа, которые показывают, изменяет или нет знак волновая функция системы после проведения соответствующей операции) в порождаемых ими процессах порознь сохраняются. Ситуация в случае слабого взаимодействия выглядит совершенно по-другому: ни  $C$ -, ни  $P$ -четность в процессах слабого взаимодействия не сохраняются. Для физиков, впервые столкнувшихся с таким поведением в 50-х годах, это было совершенно неожиданно.

После знаменитых опытов Ч.С.Ву с сотрудниками [3] по изучению  $\beta$ -распада поляризованных ядер  $^{60}\text{Co}$ , результаты которых были опубликованы в 1957 г., стало ясно, что в слабых взаимодействиях нарушается  $P$ -четность (и следовательно, физические процессы в зеркальном мире протекают по-иному). Данное обстоятельство было затем подтверждено на многих других примерах слабых распадов элементарных частиц. Одновременно выяснилось, что в этих распадах нарушалась и  $C$ -четность. Зато  $CP$ -четность во всех известных тогда случаях слабых распадов элементарных частиц удивительным образом сохранялась. В конце 50-х годов это послужило основанием для гипотезы, что  $CP$ -четность является более фундаментальной характеристикой слабого взаимодействия, и она в слабых распадах сохраняется. Тем более что существует очень общая  $CPT$ -теорема, согласно которой все взаимодействия элементарных частиц должны быть инвариантны по отношению к совместной комбинации трех операций:  $C$ ,  $P$ ,  $T$  (операция  $T$  есть операция инверсии времени:  $t \rightarrow -t$ ). Нарушение  $CP$ -четности при справедливости  $CPT$ -теоремы означало бы  $T$ -неинвариантность, т.е. несимметрию слабых процессов при обращении времени. Подобное допущение в те годы казалось крамольным. Однако очень скоро его пришлось сделать.

В 1964 г. Дж.Кристенсон и др. [4] показали:  $CP$ -четность на самом деле нарушается в случае распадов нейтральных долгоживущих  $K^0$ -мезонов ( $K_L$ ). Вопреки бытовавшей тогда уверенности в том, что  $K_L$ -мезон должен всегда распадаться на три  $\pi$ -мезона, были обнаружены случаи его распада на два  $\pi$ -мезона, нарушающие  $CP$ -четность. Это нарушение, однако, незначительно: доля таких распадов среди всех других возможных составляет всего  $\sim 0.0023$ . Но, хотя эта доля и очень мала, факт остается фактом: слабые взаимодействия могут нарушать  $T$ -инвариантность.

Некоторое время после открытия нарушения  $CP$ -четности обсуждались теоретические схемы, в которых предполагалось наличие особого суперслабого взаимодействия, специфичного для системы нейтральных  $K$ -мезонов и связанного с характерным смешиванием  $K^0$  и анти- $K^0$  ( $\bar{K}^0$ ). Якобы именно оно могло бы вызывать малое нарушение  $CP$ -четности. Постепенно эти идеи были отброшены. Детальные исследования распадов долгоживущих  $K_L$ -мезонов на два  $\pi$ -мезона (заряженных или нейтральных), проведенные в последнее время\*, в сопоставлении с соответствующими распадами короткоживущих  $K^0$ -мезонов ( $K_S$ ) не оставили сомнений: нарушение  $CP$ -четности, наблюдаемое при распадах  $K^0$ -мезонов, есть отражение внутренних свойств слабого взаимодействия.

Тем не менее до недавнего времени распады нейтральных  $K$ -мезонов были единственным физическим процессом, где регистрировалось нарушение  $CP$ -четности. Это вызывало определенную неудовлетворенность — возникал вопрос, может ли оно проявляться в других слабых процессах, причем с большей интенсивностью? Эксперименты, о которых идет речь в насто-

ящей статье, фактически на него ответили. Исследованию были подвергнуты процессы, не связанные с распадами  $K^0$ -мезонов — распад  $B^0$ -мезонов, ранее в этом плане не изучавшийся. Анализ полученных данных с несомненностью засвидетельствовал наличие нарушения  $CP$ -четности, причем довольно значительное.

## Чем хороши $B^0$ -мезоны?

Появление принципиально нового объекта исследования,  $B^0$ -мезонов, было тесно связано со стремительным развитием физики элементарных частиц, начавшимся в 1974 г. с открытия известной  $J/\psi$ -частицы. Вслед за ней были обнаружены многие не известные ранее физикам достаточно тяжелые и нестабильные частицы, среди них (в самом конце 70-х годов) — и  $B$ -мезоны. Новые частицы радикальным образом расширили поле исследований, в том числе и в сфере слабых распадов. Исключительно важно, что в этот период произошел также решительный пересмотр представлений о структуре известных ранее и только что открытых сильновзаимодействующих частиц (адронов).

Стало понятно, что они имеют сложное строение и составлены из небольшого числа относительно простых образований, названных кварками. Именно открытие новых тяжелых адронов (в частности, уже упоминавшихся  $J/\psi$ -частиц и  $\Upsilon$ -частиц), состоящих из тяжелых кварков, сделали эту картину предельно очевидной. Те адроны, которые были известны до 70-х годов, легко можно было представить как комбинации из трех относительно легких кварков  $u$ ,  $d$ ,  $s$ . Для понимания природы  $J/\psi$  и  $\Upsilon$ -частиц понадобилось ввести еще два кварка —  $c$ ,  $b$ . 90-е годы добавили к ним еще один — шестой кварк  $t$ . В силу близости свойств и физических характе-

\* Особенно следует упомянуть отличающийся высокой точностью эксперимент NA-48 в ЦЕРНе (данные 2001 г.).

ристик кварки принято разбивать на три семейства (или поколения):  $(u, d)$ ,  $(c, s)$ ,  $(t, b)$ .

Введение представления о кварках позволило не только дать простое описание всех адронов, но и посмотреть на слабые взаимодействия адронов как на слабые взаимодействия составляющих их кварков. При таком подходе был немедленно получен важнейший результат относительно природы слабых взаимодействий, который трудно было надеяться получить на другом пути. Было показано, что если в природе существует не менее шести кварков, то слабые взаимодействия обязательно нарушают  $CP$ -четность. Это изящное математическое исследование было выполнено японскими теоретиками М.Кобаяши и Т.Маскава в 1973 г. [5] еще до открытия  $c$ -,  $b$ -кварков и тем более  $t$ -кварка. На тот момент они стремились построить теоретическую схему, которая должна была бы автоматически обеспечивать нарушение  $CP$ -четности в слабом взаимодействии. Соответствующий анализ привел к числу 6 как минимальному значению для числа кварков, допускающему реализацию такой схемы. В историческом плане это было предсказание, которое через короткое время полностью подтвердилось на практике.

О работе Кобаяши и Маскава немедленно вспомнили, когда были открыты  $c$ -кварк (1974) и  $b$ -кварк (1977). Но кроме прогноза числа кварковых поколений в этой работе содержалось еще одно очень важное указание. Из предложенного математического описания слабого взаимодействия для трех поколений кварков (известного под названием матрицы Кобаяши—Маскава\*) следовал вывод, что нарушения  $CP$ -четности будут

наиболее заметными, когда в слабый процесс вовлечен кварк третьего поколения, т.е.  $b$ -кварк. В этом указании заложено объяснение, почему в описываемом эксперименте рассматривались распады  $B^0$ -мезонов, так как именно  $B$ -мезоны содержат в своем составе  $b$ -кварк.

По своей кварковой структуре нейтральный  $B$ -мезон есть связанная система:  $B^0 = (d \bar{b})$ , анти- $B^0$ -мезон  $\bar{B}^0 = (\bar{d} b)$ . В этом плане они очень похожи на нейтральные  $K$ - и анти- $K$ -мезоны:  $K^0 = (d \bar{s})$ ,  $\bar{K}^0 = (\bar{d} s)$ . Слабое взаимодействие нарушает квантовые числа, присущие  $b$ -кварку («преlestя» от англ. «beauty») и  $s$ -кварку («странность» от «strangeness»). Это означает, что через цепочку слабых процессов можно перевести  $B^0$ -мезон в анти- $B^0$ -мезон и обратно. С точки зрения квантовой механики возникает система из двух состояний, которая описывается матрицей  $2 \times 2$ , исходно недиагональной, но легко поддающейся диагонализации. При этом образуются два новых состояния  $B_L$  и  $B_H$  (аналогично  $K_S$  и  $K_L$ ), которые являются линейной комбинацией исходных состояний (происходит так называемое смешивание):

$$|B_{LH}\rangle = p |B^0\rangle \pm q |\bar{B}^0\rangle,$$

L — light, H — heavy,

$$|K_{SL}\rangle = p |K^0\rangle \pm q |\bar{K}^0\rangle,$$

S — short, L — long.

Коэффициенты  $p$  и  $q$  связаны со значениями вероятностей переходов  $B^0$  в анти- $B^0$  (соответственно  $K^0$  в анти- $K^0$ ). Наличие таких переходов несколько изменяет начальные (одинаковые) массовые состояния  $B^0$ -мезонов (расщепляет их). Новые состояния, диагонализующие матрицу взаимодействия, имеют различные массы:  $M_H \neq M_L$ . Индексы L и H как раз и отражают небольшое различие в массах этих  $B$ -мезонов:  $\Delta M = M_H - M_L$  составляет  $3.1 \cdot 10^{-4}$  эВ. Это различие, как мы скоро увидим, принципиально важно для описываемого эксперимента. Несовпадение по

массе есть и у  $K_L$  и  $K_S$  ( $3.5 \cdot 10^{-6}$  эВ), но разница во временах жизни (в 580 раз!) для них гораздо более характерна. В случае  $B^0$ -мезонов нет оснований говорить об образовании короткоживущего или долгоживущего  $B^0$ -состояния, поскольку времена жизни у  $B_L$  и  $B_H$  практически совпадают.

Самое главное кроется в том, как ведут себя новые состояния частиц по отношению к операции  $CP$ : если  $CP$ -четность нарушается, то они не будут иметь определенного значения этого квантового числа. Для системы  $K_S$  и  $K_L$  так и происходит, но нарушение мало, как уже говорилось. Поэтому  $K_S$  практически на 100% имеет  $CP$ -четность +1, в то время как  $K_L$  с той же точностью —  $CP$ -четность -1. Но  $K^0$ -мезоны образуются из сравнительно легких кварков. Для  $B^0$ -мезонов ожидания другие. Однако практически полная идентичность времен жизни  $B_H$  и  $B_L$ , существование у них огромного числа каналов распадов делают невозможной постановку эксперимента, сколько-нибудь похожую на прямое изучение распадов  $K_L$  и  $K_S$ . Здесь уместно завершить наше несколько затянувшееся введение.

## Эксперимент: от идеи к воплощению

Остроумная идея эксперимента по проверке сохранения (или несохранения)  $CP$ -четности, предложенная в 1981 г. [7, 8], состояла в проведении прямого сопоставления вероятностей распада  $B^0$ -мезона и  $CP$ -сопряженного ему анти- $B^0$ -мезона в заданное состояние одной и той же  $CP$ -четности. Наличие нарушения  $CP$ -четности должно было бы проявиться в различии вероятностей таких распадов. Точнее, в рамках одного эксперимента было намечено сравнить временное поведение распадов  $B^0$ -мезона и  $\bar{B}^0$ -мезона. Но частица, рождающаяся в мо-

\* Иногда используют более обобщенное название: матрица Кабиббо—Кобаяши—Маскава, поскольку Н.Кабиббо в 1963 г. [6] дал форму описания слабого взаимодействия известных тогда адронов, которая была затем с успехом перенесена на первые два поколения кварков.

мент  $t=0$  как  $B^0$ -мезон или как  $\bar{B}^0$ -мезон,

$$|B^0(0)\rangle = \frac{1}{2}p [ |B_L(0)\rangle + |B_H(0)\rangle ],$$

$$|\bar{B}^0(0)\rangle = \frac{1}{2}q [ |B_L(0)\rangle - |B_H(0)\rangle ],$$

в дальнейшем (за счет смешивания) эволюционирует во времени как суперпозиция  $B_L$  и  $B_H$ , имеющих разные массы. И в динамике на следующих этапах процесса проступает различие в свойствах  $B_H$  и  $B_L$ . К моменту, отличному от  $t=0$ ,  $|B_L(0)\rangle \sim \exp(iM_L t)$ ,  $|B_H(0)\rangle \sim \exp(iM_H t)$ . Если учесть это обстоятельство, а затем выразить окончательную временную зависимость состояний  $|B^0(t)\rangle$  и  $|\bar{B}^0(t)\rangle$ , то алгебраические преобразования приводят к появлению факторов  $\cos(\Delta M t/2)$  и  $\sin(\Delta M t/2)$ . В результате возникает сложное (осцилляционное) поведение состояний  $|B^0(t)\rangle$  и  $|\bar{B}^0(t)\rangle$  во времени.

Эта осциллирующая картина отражается и во временной эволюции вероятностей распадов  $B^0$ - и  $\bar{B}^0$ -мезонов в состояние с заданной  $CP$ -четностью. Обозначим их как  $W_-(t)$  и  $W_+(t)$ . Их временной ход тоже достаточно сложен. Однако ситуация предельно упрощается, если рассмотреть разницу упомянутых вероятностей, отнесенную к их сумме (эту величину принято называть асимметрией  $A_{CP}$ ):

$$A_{CP} = (W_+ - W_-)/(W_+ + W_-) = -\eta \sin 2\beta \cdot \sin \Delta M t.$$

$A_{CP}$  как раз та величина, которая должна говорить о наличии или отсутствии (если  $A_{CP}=0$ ) нарушения  $CP$ -четности в распадах  $B^0$ -мезонов. Видно, что ее временной ход целиком определяется величиной  $\Delta M$ . Здесь:  $\eta$  —  $CP$ -четность исследуемого канала;  $t$  — промежуток времени, прошедший между распадом  $B^0$  в заданный канал и распадом его партнера  $\bar{B}^0$  в тот же канал (или то же самое, но в обратном порядке);  $\beta$  — угол, который характеризует структуру слабого взаимодействия (имеющий отношение к известной матрице Кабиббо—Кобаяши—Маскава). Угол  $\beta$ , согласно теории, не должен быть малым, и именно его величину предстояло измерить в эксперименте.

Хотя описанная постановка эксперимента была предложена в 1981 г., вскоре после открытия  $B^0$ -мезонов, прошло еще долгих 20 лет, прежде чем идея воплотилась на практике. Для этого понадобилось заметное улучшение методик регистрации элементарных частиц и построение нового типа ускорительного устройства: асимметричного  $e^+e^-$ -коллайдера.

Чтобы реализовать основную идею эксперимента — ис-

следовать одновременно распады  $B^0$ - и  $\bar{B}^0$ -мезонов, — удобнее всего было использовать распад одного из возбужденных состояний  $\Upsilon$ -мезона, а именно  $\Upsilon(4S)$ -мезона с массой 10.58 ГэВ, испытывающего характерный распад:  $\Upsilon(4S) \rightarrow B^0 + \bar{B}^0$ . В этом плане природа пошла нам навстречу. Самый простой путь получить состояние  $\Upsilon(4S)$ , которое с точки зрения кварков есть  $(b\bar{b})$ -система, — организовать столкновение встречных электронно-позитронных пучков, имеющих суммарную энергию в 10.58 ГэВ, и подобный опыт уже имелся. Процесс протекает следующим образом:

$$e^+ + e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B^0 + \bar{B}^0.$$

Но до сих пор это были эксперименты с симметричными  $e^+e^-$ -коллайдерами, в которых энергии сталкивающихся пучков равны. В таком коллайдере образующийся  $\Upsilon(4S)$ -мезон в лабораторной системе будет покоиться (рис.1). А это вызвало бы огромные сложности для последующего наблюдения распадов  $B^0$ - и  $\bar{B}^0$ -мезонов. Обратим внимание на то, что  $2M_B = \sim 10.56$  ГэВ, т.е.  $B^0$ -мезоны, образующиеся при распаде  $\Upsilon(4S)$ , имеют очень малые импульсы. Отслеживать в этом случае распады  $B^0$ -мезонов, вылетающих из точки рождения  $\Upsilon(4S)$  в любые стороны (в пространственном угле  $4\pi$ ), достаточно трудно. И уж практически невозможно изучать временной ход распадов. Тем более, что речь идет об очень малых временах. Время жизни  $B^0$ -мезонов равно 1.55 пкс, а характерное время, отвечающее  $\Delta M$ , — 2.12 пкс. Соответствующие пролетные длины частиц составляют сотни микрон.

Идея использования асимметричного  $e^+e^-$ -коллайдера заключается в том, чтобы в условиях неодинаковых энергий сталкивающихся пучков сделать рожденный  $\Upsilon(4S)$ -мезон движущимся в лабораторной системе. В асимметричном коллайдере это произойдет авто-

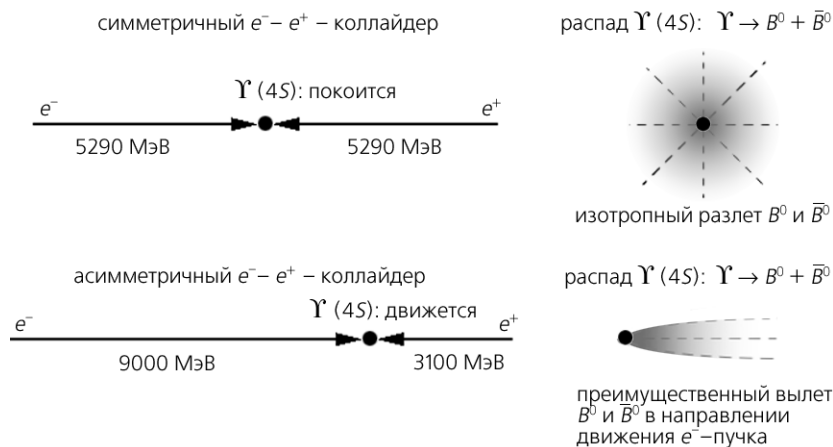
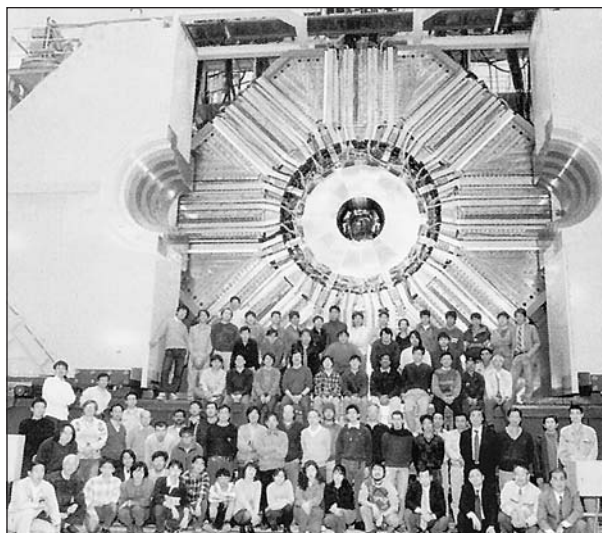


Рис. 1. Геометрия образования и разлета частиц в симметричном и асимметричном коллайдерах.

Рис.2. Детектор BELLE на фабрике частиц в лаборатории KEK (Япония).



матически, поскольку при неравных энергиях в лабораторной системе будет присутствовать нескомпенсированный импульс, который и будет передан родившемуся  $\Upsilon$ -мезону.  $B^0$ -мезоны, возникающие при распаде  $\Upsilon$ -мезона (если учесть их малый импульс в системе покоя  $\Upsilon$ ), в лабораторной системе полетят в направлении пучка с большей энергией, т.е. практически вдоль оси сталкивающихся пучков (рис.1). А это радикально облегчает проблемы, связанные с регистрацией их распада.

Асимметричные коллайдеры были построены в двух ускорительных центрах: PEP II (Станфорд, США) и KEK (Цукуба, Япония), рис.2. В первом случае были выбраны следующие энергии:  $e^- - 9$  ГэВ,  $e^+ - 3.1$  ГэВ; во втором случае энергии были несколько иными:  $e^- - 8$  ГэВ,  $e^+ - 3.5$  ГэВ. При этом энергия в системе центра масс в обоих коллайдерах соответствовала 10.58 ГэВ. В США экспериментальную установку назвали BABAR (тут налицо явная связь с образованием системы  $b\bar{b}$ ). Международный коллектив, составленный из физиков многих стран мира, насчитывал около 800 человек, в том числе из России (Институт ядерной физики

им.Г.И.Будкера, Новосибирск). В Японии соответствующая установка получила название BELLE, число участников превысило 400. В состав последней коллаборации вошли физики из Новосибирска, а также из Москвы (Институт экспериментальной и теоретической физики). Число участников научных коллективов указано с тем, чтобы читатель мог оценить масштабы человеческих усилий, которые потребовались для подготовки и проведения обсуждаемых экспериментов. Оно демонстрирует также, какое значение физики придавали этим исследованиям. Параметры созданных коллайдеров оказались близкими, прежде всего в том, что касается интенсивности сталкивающихся пучков (точнее, так называемой светимости) и, следовательно, в том, что связано с числом набранных событий, а также по возможностям анализирующей аппаратуры.

В течение двух с небольшим лет (1999—2001) коллективы, соревнуясь друг с другом, сумели на каждой из установок зафиксировать рождение около  $3 \cdot 10^7$  пар  $B^0$  и  $\bar{B}^0$  от распада  $\Upsilon(4S)$ . После скрупулезного анализа из всех процессов распада  $B^0$  и  $\bar{B}^0$ -мезонов было отобрано несколько сотен событий, кото-

рые могли быть надежно отнесены к распадам, отвечающим каналам с заданной  $CP$ -четностью конечного состояния. Такими характерными каналами служили:

$$\begin{aligned} &\text{для } \eta = -1 \\ &B^0 (\bar{B}^0) \rightarrow J/\psi + K_s, \\ &B^0 (\bar{B}^0) \rightarrow \psi(2S) + K_s, \\ &B^0 (\bar{B}^0) \rightarrow \chi_{c1} + K_s; \\ &\text{для } \eta = +1 \\ &B^0 (\bar{B}^0) \rightarrow J/\psi + K_l. \end{aligned}$$

Две из возможных цепочек распада изображены на рис.3.

Число идентифицированных распадов в каналы с фиксированной  $\eta$ :

детектор BABAR		детектор BELLE	
$\eta = -1$	$\eta = +1$	$\eta = -1$	$\eta = +1$
530	273	747	569

Тип  $B^0$ -мезона, распадающегося первым ( $B^0$  или  $\bar{B}^0$ ), определялся по знаку заряда лептона или  $K$ -мезона, которые были среди продуктов распада:  $B^0 \rightarrow l^+, K^+$ ;  $\bar{B}^0 \rightarrow l^-, K^-$ .

Продемонстрируем два достаточно выразительных графика, взятых из работы коллаборации BELLE. (Сходные графики присутствуют и в работе другой коллаборации).



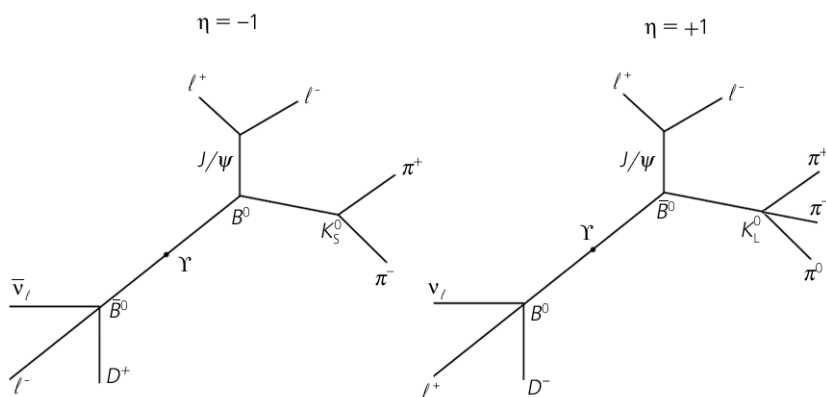


Рис.3. Возможные цепочки распада  $B^0$ - и  $\bar{B}^0$ -мезонов (изображены в системе отсчета, связанной с центром масс);  $l$  — лептон ( $e, \mu$ ).

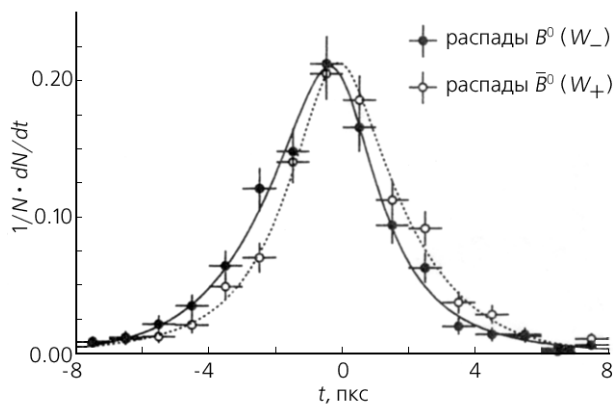


Рис.4. Временные распределения событий распадов  $B^0$ -мезонов (черные точки) и  $\bar{B}^0$ -мезонов (светлые точки) в состоянии с заданной  $CP$ -четностью  $\eta = -1$ . Кривые — результаты теоретического расчета при значении  $\sin 2\beta = 0.99$ , обеспечивающем наилучшее согласие с экспериментальными данными.

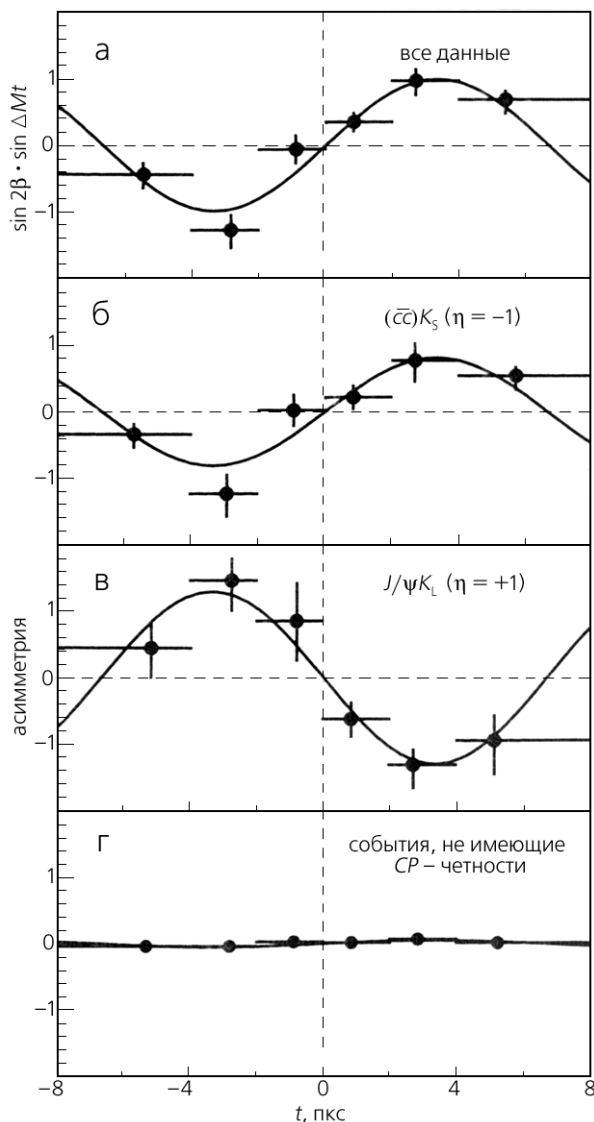


Рис.5. Временной ход асимметрии при распаде в состоянии с заданной  $CP$ -четностью: все данные — а; с  $\eta = -1$  ( $c\bar{c}, K_S$ ) — б; с  $\eta = +1$  ( $J/\psi, K_L$ ) — в; не имеющие заданной  $CP$ -четности — г.

На первом (рис.4) представлен временной ход вероятностей  $W_+$  и  $W_-$  для распадов  $B^0$ - и  $\bar{B}^0$ -мезонов в состояние с заданной  $CP$ -четностью. Точность измерений достаточно высока, чтобы уже здесь увидеть различие кривых. Это различие становится совершенно очевидным при вычитании  $W_+$  и  $W_-$  и представлении асимметрии  $A_{CP}$  (рис.5), которая очевидным образом имеет осциллирующий характер. Напомним, что амплитуда осцилляций  $A_{CP}$  прямо характеризует величину нарушения  $CP$ -четности.

По данным коллаборации BELLE:

$$\sin 2\beta = 0.99 \pm 0.14(\text{stat}) \pm 0.06(\text{syst}).$$

По данным коллаборации BABAR:

$$\sin 2\beta = 0.59 \pm 0.14(\text{stat}) \pm 0.05(\text{syst}).$$

И хотя имеется некоторое расхождение между результатами двух экспериментов (на уровне двух-трех статистических ошибок), в главном их выводы совпадают:  $CP$ -четность в слабом взаимодействии (в процессах, связанных с участием  $b$ -кварка,) нарушена практически максимальным образом. Самые последние данные указанных коллабораций (CERN Courier, 2002, May. P.6)

BELLE:

$$\sin 2\beta = 0.82 \pm 0.12(\text{stat}) \pm 0.05(\text{syst}),$$

BABAR:

$$\sin 2\beta = 0.75 \pm 0.09(\text{stat}) \pm 0.04(\text{syst})$$

демонстрируют еще большую степень согласия между экспериментами.

Тем самым подтверждается предсказание, высказанное в работе Кобаяши—Маскава, что нарушение  $CP$ -четности должно быть достаточно заметно выражено в распадах мезонов, содержащих  $b$ -кварки. Более общий вывод, и в этом состоит главное значение проведенного эксперимента, состоит в доказательстве фундаментального факта: нарушение  $CP$ -четности есть действительно характерное свойство слабого взаимодействия.

## Новые горизонты

Таким образом, можно считать надежно установленным существование в микромире взаимодействия, нарушающего  $t$ -обратимость. Фактически нам открылась совершенно новая грань знаний о мире, о времени и о пространстве. Все физические следствия этого еще предстоит прояснить.

На одно очень важное обстоятельство еще в 1967 г. обратил внимание А.Д.Сахаров [9], обдумывая первые факты по нарушению  $CP$ -четности (и следовательно,  $T$ -инвариантности)

в распадах  $K_L$ . Оказывается, если одновременно справедливы два предположения: о нарушении барионного числа и о нарушении  $CP$ -четности в неравновесных системах (системах с нарушением детального баланса), то в процессах, разыгравшихся в ранней Вселенной, могло происходить преимущественное накопление барионов, т.е. возникла барионная асимметрия. Это произошло бы при естественном исходном допущении, что в момент Большого взрыва число барионов и антибарионов было одинаковым. С точки зрения наблюдательной астрономии существование барионной асимметрии материи можно считать достаточно хорошо установленным фактом по крайней мере для нашей Галактики и ее ближайшего галактического окружения. Данному факту на сегодня нет сколько-нибудь разумных объяснений, за исключением гипотезы, высказанной Сахаровым. Удивительным образом в этой гипотезе сошлись уже доказанная возможность существования  $T$ -неинвариантных процессов и предполагаемое нарушение барионного числа, обнаружить которое усиленно пытаются в последние годы. Возможно, наличие  $T$ -неинвариантных процессов в природе проявится еще каким-то неожиданным образом. ■

## Литература

1. BABAR Collaboration. *Aubert B. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2001. V.87. 091801.
2. BELLE Collaboration. *Abe K. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2001. V.87. 091802.
3. *Wu C.S., Ambler E., Hayward R.W. et al.* // Phys. Rev. 1957. V.105. P.1413.
4. *Christenson J.H., Cronin J.W., Fitch V.L., Turlay R.* // Phys. Rev. Lett. 1964. V.13. P.138.
5. *Kobayashi M., Maskawa T.* // Prog. Theor. Phys. 1973. V.49. P.652.
6. *Cabibbo N.* // Phys. Rev. Lett. 1963. V.10. P.531.
7. *Carter A.B., Sanda A.I.* // Phys.Rev. 1981. V. D23. P.1567.
8. *Bigi I.I., Sanda A.I.* // Nucl. Phys. 1981. V.B193. P.85.
9. *Сахаров А.Д.* // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т.5. С.32.

# Погода на Земле

**Всемирная метеорологическая организация опубликовала очередной ежегодный доклад об особенностях погоды на планете в 2001 г. (World Meteorological Organization Statement on the Status of the Global Climate in 2001 // WMO. Geneva, 2002. №940). Обзор представленных в нем материалов подготовил Б.И.Силкин (Геофизический центр РАН, Москва); аналогичный обзор за 2000 г. см.: Природа. 2001. №12. С.17.**

## Температуры земной поверхности

Средняя температура поверхности Земли была на  $0.42^{\circ}\text{C}$  выше, чем климатологическая норма, которая выведена на основании показателей, наблюдавшихся между 1961 и 1990 гг. Отчетный год занял второе по теплоте место с 1861 г., когда начали фиксировать такие данные во всеобщем масштабе.

Аномально высокие температуры охватили значительную часть Северного полушария, включая восточную акваторию Северной Атлантики, южные районы Европы, Центральную Азию и запад Тихого океана. Южнее тропиков (к югу от  $20^{\circ}$  ю.ш.) температура сравнялась с рекордной, наблюдавшейся в 1998 г., т.е. была на  $0.3^{\circ}\text{C}$  выше средней многолетней.

Отмечены и заметные региональные аномалии, особенно в зимний сезон Северного полушария (декабрь 2000 г. — февраль 2001 г.). На территории США температуры оказались ниже средних на  $1^{\circ}\text{C}$ , а на значительной части России — на  $3^{\circ}\text{C}$ . В Центральной и Южной Сибири в течение двух январских недель термометр иногда опускался до  $-60^{\circ}\text{C}$ . За эту зиму только в Московской обл. зафиксировано более 100 случаев смерти от переохлаждения.

Необычные для Индии январские холода привели на севере страны к гибели более 130 человек. В конце июня (зима Южного полушария) морозы и снегопады в горных районах боливийских

Анд тоже вызвали человеческие жертвы. Экстремально низкие температуры отмечались и в Швеции: в области Даларна столбик ртути опустился в феврале до  $-44^{\circ}\text{C}$ , а на пороге весны в Лапландии он снизился до показателя, беспрецедентного для этих обогреваемых Гольфстримом краев,  $-26^{\circ}\text{C}$ . Но, как это ни парадоксально, в общем зима в Швеции оказалась теплее среднего, а год в целом — выше нормы на  $0.7^{\circ}\text{C}$ . На большей части соседней Норвегии среднегодовые показатели термометров были выше на  $0.3^{\circ}\text{C}$ .

Субполярная Исландия не знала столь теплых погод с 1991 г.: рекордная «жара» отмечалась 13 декабря 2001 г., когда вдоль северного побережья страны температура подскочила до  $18.4^{\circ}\text{C}$ . Для Франции это был шестой по степени «разогрева» год за последние 50 лет. В Центральной Англии ряд надежных наблюдений насчитывает 343 года, и октябрь оказался самым теплым из таких месяцев за весь этот период. В Дании и Германии аналогичный рекорд (температуры на  $4^{\circ}\text{C}$  выше средних) поставлен за минувшее столетие.

Аномально тепло было в Канаде в течение всего года. Хотя на востоке страны зима оказалась необычно снежной и холодной, среднегодовая температура на всей территории превышала норму на  $1.7^{\circ}\text{C}$ .

Централизованная и надежная регистрация погодных условий ведется на всей территории США 107 лет; в ноябре—декабре 2001 г. высокие температуры едва не по-

били рекорд, поставленный в эти же месяцы 1999 г.

В Японии после рекордно холодной зимы 2000 г. этот сезон в 2001 г. оказался на  $0.18^{\circ}\text{C}$  теплее нормы. Начиная с 1898 г. отчетный год занял по теплу 12-е место. Лишь в Австралии среднегодовые показатели третий год подряд соответствуют норме.

## Фаза Ла-Нинья завершилась

В середине 1998 г. в центре Тихого океана развилось очередное явление Ла-Нинья — фаза похолодания данной акватории и атмосферы над ней, причем этот эпизод последовал немедленно за прекращением очень интенсивного в 1997—1998 гг. Эль-Ниньо — фазы потепления той же акватории. В 2001 г. эпизод Ла-Нинья завершился.

За трехлетний период интенсивное распространение холодной фазы Ла-Нинья не раз претерпевало серьезные перепады: наиболее частые и ярко выраженные похолодания приходились на зимние сезоны Северного полушария; каждую весну они ослабевали; в июне—сентябре 1999 г. похолодание было незначительным (по сравнению со средними многолетними), а летом 2001 г. вообще закончилось.

Свидетельством перехода к фазе Эль-Ниньо стали положительные аномалии температур в экваториальной части Тихого океана и распространение на восток

сравнительно нагретых подповерхностных вод, «перешагнувших» Международную линию смены дат (180°) к концу 2001 г.

## Год сильнейших наводнений

На большой территории планеты истекший год был временем частых ливневых дождей и наводнений. В значительной мере это приписывается влиянию Ла-Нинья. Особенно ярко такое положение было выражено на севере Австралии и в обычно засушливых центральных ее областях; в самом начале 2001 г. осадки существенно увеличились по сравнению со средней многолетней нормой.

Над Англией и Уэльсом количество дождей заметно превысило среднее для этого периода. Тем самым в многолетнем ряду надежных метеорологических наблюдений последний двухгодичный отрезок времени занял по увлажненности первое место.

Исключительно дождливыми были и погоды с октября 2000-го по март 2001 г. во французской исторической области Бретань: годовые нормы были превзойдены на 20—40% всего за 6 мес. В городах Ренн и Брест выпало соответственно 721 и 1260 мм осадков, побив все зимние рекорды.

Восточная Европа третий год подряд подвергалась жестоким наводнениям. В марте, после весьма обильных дождей, р.Тиса в районе Захоне (Венгрия) поднялась на 7 м выше ординара, чего не случалось ни разу с 1888 г. В июле непрерывные двухнедельные дожди подняли уровень воды в Висле, что вызвало сильнейшее за последние четыре года наводнение на юге и юго-западе Польши, приведшее к эвакуации около 140 тыс. жителей городов и деревень. В Польше погибло 52, а в примыкающей части Чехии — 39 человек.

Иранские области Гюлистан и Хоросан постигли в августе штормовые ветры с ливнями, унесшими 183 человеческие жизни. В Сибири аномально холодная и снежная зима 2000—2001 гг.,

сменившаяся в мае резким потеплением (температуры на 2—5°C превысили многолетнюю норму), привела к обильным весенним паводкам и наводнениям на весьма обширных территориях. Без крова или в поврежденных домах оказались около 300 тыс. жителей Якутии (Республика Саха), населявших главным образом берега Лены и ее притоков.

Бурное таяние снегового покрова, сопровождавшееся обильными дождями, отмечалось на севере Среднего Запада США. Вдоль 640-километрового отрезка сильно поднявшейся р.Миссисипи судоходство было приостановлено, а в ряде районов пришлось ввести особое положение.

Над Аргентиной и прилегающими районами Уругвая осадки, выпавшие с августа 2000-го по октябрь 2001 г., существенно превысили норму, приведя к наводнениям в районе пампасов обеих стран: водой было залито более 3,2 млн га обрабатываемых земель. За один лишь октябрь на Буэнос-Айрес выпало 250 мм дождя — в три с лишним раза выше нормы. Начало года для Боливии также ознаменовалось наводнениями: погибло более 40 человек, тысячи остались без крова.

Ливневые осадки наблюдались с февраля по апрель и в странах Южной Африки — Мозамбике, Зимбабве, Малави и Замбии. Они вызвали наводнения, которые уничтожили значительную долю урожая, разрушили тысячи жилищ; погибло по меньшей мере 200 человек. В Западной Африке ливневые осадки выпадали в сентябре, их следствием стало наводнение по берегам р.Нигер в Гвинее, побившее все рекорды за минувшее десятилетие: пострадало 70 тыс. человек, примерно 17 тыс. га сельскохозяйственных земель очутилось под водой. Разлив рек Логоне, Шари и Бата на территории Республики Чад привел к разрушению тысяч жилых зданий и смерти не менее 100 человек. В Алжире такого наводнения, как в ноябре 2001 г., не наблюдалось почти 40 лет. Оно унесло сотни жизней.

Февральские ливни на о.Ява (Индонезия) привели к множеству крупных оползней в 19 округах. Разрушено около 20 тыс. жилищ, на тысячах гектаров погублен урожай риса. Во Вьетнаме за одну октябрьскую неделю над районом Винь выпало 685 мм осадков. Подъем уровня р.Меконг вызвал наводнение в ее дельте, стоившее жизни по меньшей мере нескольким сотням людей. Эта территория оставалась под водой с августа по октябрь.

## Засухи

Во многих районах Центральной и Южной Азии отмечалось почти полное отсутствие атмосферных осадков. Засуха, начавшаяся в 1998 г., продолжалась в 2001 г. в ряде областей Ирана, Афганистана и Пакистана. В обычно влажный сезон, с ноября по апрель, здесь выпало менее 55% осадков. Это явление охватило территории, на которых проживают более 50 млн человек.

В отдельных местностях Пакистана температуры в начале мая были близки к 50°C, что вызвало ряд смертей от перегрева. В некоторых областях Кении и прилегающих к ней стран Африканского Рога тоже наблюдалась засуха, несмотря на то, что январь 2001 г. кое-где в этом регионе оказался самым влажным за последние 40 лет. Обычно дождливый на северо-востоке Кении сезон, с марта по май, отличался на этот раз малым количеством осадков — такого засушливого мая здесь не наблюдали с 1961 г.

Летом и осенью Южного полушария (декабрь 2000-го — май 2001 г.) засуха постигла значительную часть Бразилии, что отразилось не только на ее сельском хозяйстве: недостаток влаги в водохранилищах привел к сокращению поставок энергии с ГЭС во многие города и густо населенные области страны.

Трудности с водоснабжением испытывали в первой половине года многие районы Центральной Америки, Центральной и Восточ-

ной Азии. Почти на всех Японских о-вах осадки в апреле не достигли и 40% среднего их количества за 1971—2000 гг.

На северо-западе США период между ноябрем 2000 г. и февралем 2001 г. оказался вторым по засушливости за все время наблюдений. Условия начали улучшаться только в конце ноября — начале декабря 2001 г., когда раньше обычного появился мощный снежный покров.

Засуха охватила и Канаду — от Тихоокеанского побережья до Атлантического. Печальным рекордом стали 35 сут подряд, за которые в Монреале выпало менее 1 мм осадков. Для ряда южных районов страны это был самый засушливый сезон за последние 34 года, а для провинции Саскачеван — более чем за столетие.

## Ураганы и тайфуны

За 2001 г. на севере Атлантического океана возникли 15 штормов (на пять больше средней многолетней нормы; благодаря своей мощи они получили собственные имена). Девять из них достигли ураганной силы, три причислены к третьей категории, при которой сила ветра превышает 179 км/ч. Таким образом, период активизации турбулентности атмосферы, начавшийся в 1995 г., продлился и в 2001 г.

В западной экваториальной части Пацифики за год сформировались 26 тропических циклонов (среднее их число в 1971—2000 гг. составляло 27 за год), на юго-западе Индийского океана силы тропического шторма достигли лишь пять — половина многолетней нормы.

Наиболее экстремальными оказались следующие явления. Медленно продвигавшийся тропический шторм Элиссон принес на юго-восток штата Техас более 750 мм осадков; выйдя на сушу, он вызвал обширные наводнения.

Погиб 41 человек; убытки превысили 5 млрд долл. — рекордную для данной страны сумму ущерба от подобных явлений.

В конце октября над Центральной Америкой образовалась крупная атмосферная депрессия, превратившаяся затем в ураган Мишель. Ливневые дожди с сильными ветрами привели к смерти 10 человек в Никарагуа и Гондурасе. Сместившись к Карибскому морю, ураган набрал еще большую силу и почти полностью уничтожил урожай на кофейных плантациях Ямайки. В начале ноября он обрушился на Кубу; особенно досталось мелким островам, где погибло пять человек. Урагану присвоили высокую четвертую категорию.

Среди самых разрушительных атмосферных явлений года следует назвать и тайфун Чеби, хозяйничавший в июне у берегов китайской провинции Фуцзянь (юго-восток КНР). Максимальная скорость ветра достигала 120 км/ч; погибло более 150 человек.

Еще одна аналогичная катастрофа произошла в июле, когда тропический шторм Утор вышел на Филиппинские о-ва. Хотя скорость ветра не превышала 111 км/ч, он унес более 100 человеческих жизней. В июле за ним последовал тайфун Торадзии, погубивший свыше 200 человек.

## Ледовый покров морей стабилизировался

С помощью космических методов наблюдения было установлено, что отмечающаяся ранее резкая изменчивость в состоянии ледового покрова морей Арктики и Антарктики сменилась относительной стабильностью. После быстро происходившего в середине 70-х годов XX в. сокращения льдов в морях, омывающих Антарктиду, ныне сохраняется приблизительно постоянная их площадь. В Северном

Ледовитом океане поверхность льдов прежде уменьшалась примерно на 3% за десятилетие; начиная с 1997 г. она, колеблясь, оставалась в среднем стабильной. И все же в течение большей части 2001 г. в Арктике и в Антарктике плавучие льды занимали несколько меньшую площадь по сравнению со средней многолетней нормой.

## Состояние озоносферы

Содержание озона над некоторыми районами Арктики зимой 2001 г. превысило показатели начала 80-х годов; над другими ее районами превышение составляло в среднем 10—15%.

В Южном полушарии площадь озонной дыры равнялась в 2001 г. примерно 25 млн км<sup>2</sup>. Это заметно уступает рекордному показателю 2000 г. (28 млн км<sup>2</sup>), в течение которого озонная дыра имела по преимуществу вытянутые очертания. В 2001 г. она преобразовалась в довольно правильную окружность с центром над Южным географическим полюсом, стала более стабильной и долгоживущей. Крайне низкая концентрация озона в ней сохранялась приблизительно на месяц дольше. Над Южным полюсом содержание озона снизилось в 2001 г. до минимума, достигнутого 10 ед.Добсона, тогда как годом раньше оно составляло 98 ед.Добсона; рекордно низкой эта величина наблюдалась в 1993 г. — тогда она упала до 88 ед.Добсона.

\* \* \*

В целом состояние земной атмосферы характеризуется в последние годы усилением конвекции, что вызвано, по-видимому, повышением приземной температуры из-за парникового эффекта. Связанное с этим увеличение контрастов температуры и влажности проявляется в статистике и засух, и наводнений. ■



# Роль медиаторов в регуляции артериального давления

О.С.Тарасова, А.А.Мартьянов, И.М.Родионов

**Н**ервная система человека состоит из миллиардов нервных клеток — нейронов. С помощью отростков они связаны друг с другом, образуя сложные сети. Передача сигнала от клетки к клетке происходит через специальные контакты (синапсы) за счет химических посредников (медиаторов). В нервных окончаниях медиаторы запасаются в синаптических пузырьках, внутреннее содержимое которых отделено от цитоплазмы мембраной. Нервный импульс вызывает слияние пузырьков с наружной мембраной, в результате чего медиатор «выливается» в щель между окончанием и клеткой-мишенью. Чем чаще приходят к окончанию нервные импульсы, тем больше медиатора оказывается в синаптической щели и тем сильнее нервное влияние на орган-мишень. Взаимодействие нервных клеток между собой и с другими клетками организма лежит в основе важных функций мозга (сознания, памяти, эмоций), обеспечивает управление поведением, регуляцию работы внутренних органов.

Клетками нервной системы вырабатываются разные медиаторы: аминокислоты (глицин, аспарагиновая и глутаминовая



**Ольга Сергеевна Тарасова**, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры физиологии человека и животных биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Занимается изучением нервной регуляции тонуса кровеносных сосудов, взаимодействием системных и локальных регуляторных механизмов.



**Андрей Александрович Мартьянов**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же кафедры. Область научных интересов — нейрофизиология, иммунология, пептидная регуляция эмоций и поведения, аутоиммунная регуляция физиологических функций.



**Иван Михайлович Родионов**, доктор биологических наук, профессор той же кафедры. Специалист в области физиологии автономной нервной системы и кровообращения.

кислоты) и их производные (норадреналин, серотонин, дофамин и др.), пептиды и некоторые другие соединения. Еще сравнительно недавно считалось, что каждая нервная клетка оперирует только одним медиатором. В 1935 г. английский физиолог Г.Дэйл писал, что если некое вещество идентифицировано как медиатор в одном синапсе, то оно служит медиатором и во всех других синапсах, образуемых нейроном. Это утверждение, вошедшее в физиологию как принцип Дэйла, справедливо и в наши дни, только оказалось, что слово «медиатор» следует употреблять не в единственном, а во множественном числе. Открытие сосуществования нескольких медиаторов в одном синапсе стало важным достижением физиологии конца XX в.

Зачем нужны разные медиаторы, выделяющиеся из одного нервного окончания? В некоторых случаях «разделение труда» между ними уже выяснено. Так, в парасимпатических нервных волокнах, иннервирующих слюнную железу, содержатся два медиатора: ацетилхолин и вазоактивный интестинальный пептид. Первый стимулирует выделение слюны, а второй расширяет кровеносные сосуды, обеспечивая кровоснабжение желе-

зы. Однако в большинстве случаев сосуществования медиаторов роль каждого из них не совсем ясна. Вероятно, используя несколько медиаторов, нейрон более тонко управляет работой подчиненных ему клеток. Как это происходит, мы рассмотрим на примере симпатической регуляции тонуса кровеносных сосудов.

### Медиаторы симпатических нейронов

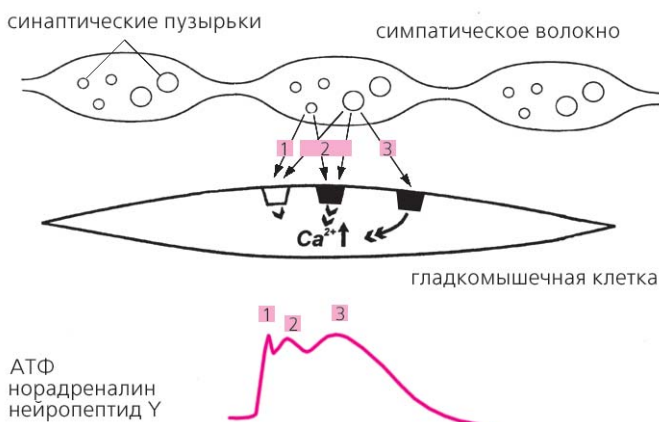
Симпатические нервы оплетают кровеносный сосуд, как побеги повилики — растение. Сравнение не случайное: у симпатических волокон тоже есть «присоски» — расширения, в которых содержатся синаптические пузырьки. Еще в начале XX в. было установлено, что медиатором симпатических нейронов служит норадреналин. Сейчас найдены его «помощники»: аденозинтрифосфат (АТФ) и нейропептид Y. АТФ, хранитель и носитель энергии в клетке, выступает здесь в другой роли — посредника при межклеточной передаче сигнала.

Если в нервном окончании находятся два или более медиаторов, синаптические пузырьки

обычно неоднородны. В расширениях симпатических волокон присутствуют большие и малые пузырьки. И те и другие содержат норадреналин и АТФ; помимо того, в крупных пузырьках есть еще и нейропептид Y. Все три медиатора оказывают одинаковое действие: вызывают сокращение гладкой мышцы стенки сосуда, но весьма различаются по скорости развития и затухания эффекта. Самый быстродействующий из них — АТФ. Норадреналин и в особенности нейропептид Y действуют медленнее. Чем же это обусловлено?

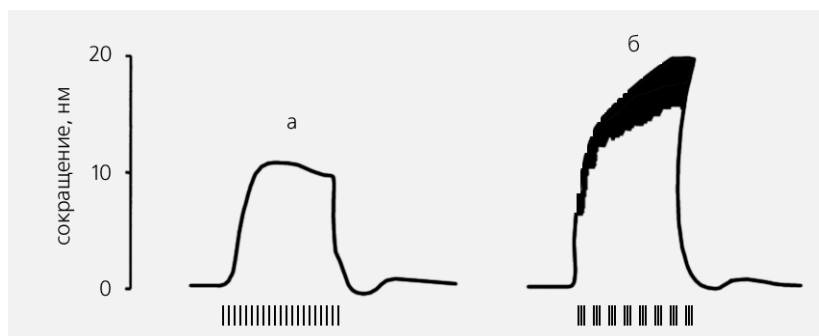
Сокращение мышечной клетки связано с повышением в ее цитоплазме концентрации ионов кальция [1]. Медиаторы, каждый по-своему, воздействуют на гладкомышечную клетку, связываясь со специфическими рецепторами — белковыми молекулами в ее поверхностной мембране. Рецепторы АТФ образуют в мембране каналы, через которые ионы кальция могут проникать в клетку. При взаимодействии с медиатором канал открывается (т.е. при действии АТФ путь к сокращению очень короткий). Иначе действуют норадреналин и нейропептид Y. Каждый из них запускает в гладкомышечной клетке длинную цепочку биохимических реакций, которые приводят к повышению внутриклеточной концентрации кальция (он входит не только через каналы, расположенные в наружной мембране, но и выбрасывается из внутриклеточных депо). У нейропептида Y цепь реакции длиннее, поэтому и вызываемое им сокращение развивается медленнее. Каждый из медиаторов увеличивает чувствительность гладкомышечных клеток к действию остальных. Нейропептид Y вызывает лишь слабое сокращение, но значительно увеличивает сократительные ответы на норадреналин и АТФ.

Импульсная активность симпатических нейронов нерегулярна: высокочастотные залпы в ней чередуются с периодами



Контакт между симпатическим окончанием и гладкомышечной клеткой сосуда (вверху) и сократительный ответ сосуда на нейрогенное влияние медиаторов.

Сократительный ответ сосуда на раздражение симпатических нервов: а — стимуляция импульсами, следующими равномерно с частотой 2 Гц; б — неравномерная стимуляция тем же количеством импульсов (пачки импульсов чередуются с периодами молчания). В обоих случаях длительность раздражения равна 20 с.



молчания. Это важно, так как для регуляции тонуса сосудов существенна не только средняя частота следования импульсов, но и характер их распределения во времени (паттерн импульсации). Сокращение сосуда при раздражении нервов электрическими импульсами с неравномерной последовательностью оказывается более значительным, чем при равномерной стимуляции. Ранее это объясняли тем, что при неравномерной стимуляции из симпатических нервов выделяется больше норадреналина, или тем, что «порционное» действие медиатора более благоприятно для сокращения гладкой мышцы сосуда. С открытием множественности медиаторов это явление получило еще одно объяснение: паттерн импульсации влияет на состав смеси медиаторов, выделяющихся из симпатических нервов. При неравномерной стимуляции секреция медиаторов, сопутствующих норадреналину, увеличивается, поэтому сократительный ответ оказывается больше.

Каков механизм раздельного выделения медиаторов из нервного окончания? Это более или менее ясно для нейропептида Y, поскольку он содержится только в крупных синаптических пузырьках. Крупные пузырьки сливаются с мембраной и выплескивают свое содержимое в синаптическую щель преимущественно при высокой частоте стимуляции (или в том случае, если импульсы сгруппированы в высокочастотные пачки).

Вклад АТФ в сокращение сосудов, напротив, более значителен, если частота импульсации невелика. При частой импульсации АТФ участвует лишь в начальной фазе реакции, а затем его секреция и вклад в сократительный ответ становятся все меньше и меньше. Полагают, что мелкие пузырьки симпатических окончаний также неоднородны: в одних содержится больше АТФ, в других — меньше, причем пузырьки, содержащие много АТФ, срабатывают первыми. Совсем недавно обнаружено, что наряду с медиаторами из симпатических нервов выделяются ферменты, которые расщепляют АТФ и тем самым укорачивают его действие.

Таким образом, стало ясно, что, во-первых, для регуляции тонуса кровеносных сосудов симпатические нервы используют не один, а несколько медиаторов; во-вторых, временные характеристики сократительных ответов, вызываемых такими медиаторами, существенно различаются; и наконец, медиаторы могут выделяться в разных соотношениях, что зависит от частоты и паттерна импульсов в симпатических нервах. Но следует отметить, что эти наблюдения были сделаны в опытах, в которых симпатические нервы раздражали электрическим током. Когда мы начали исследования, нас интересовало: соответствует ли это естественному ходу событий, когда паттерн импульсов формируется не по воле экспериментатора, а в результате работы нейронов,

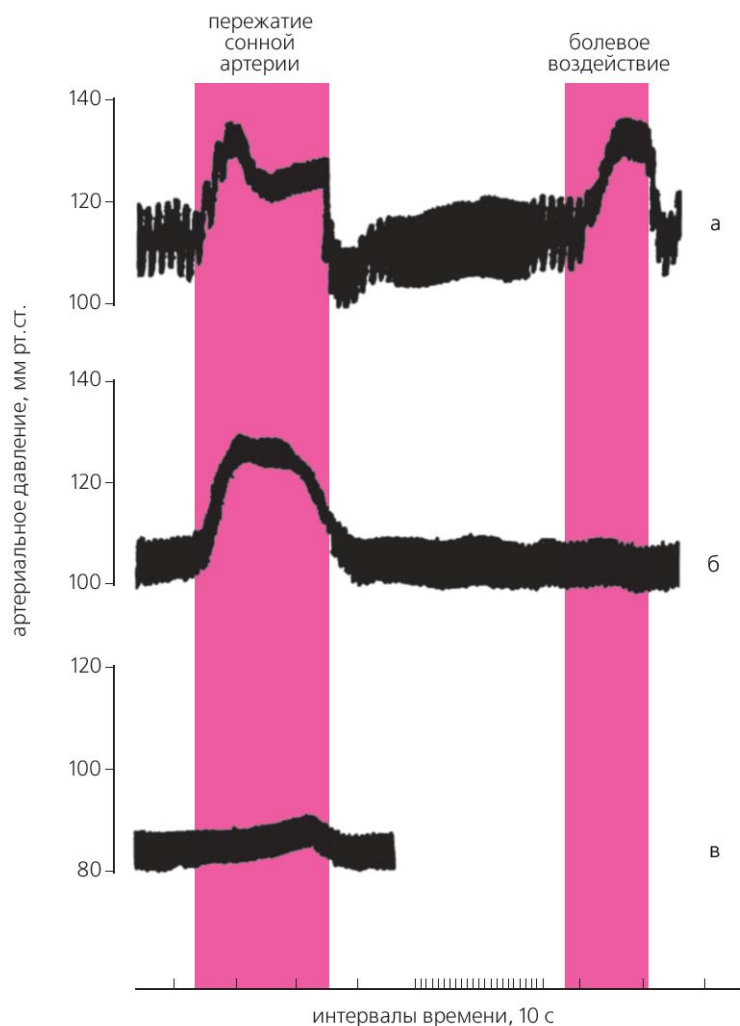
управляющих активностью симпатических нервов?

### Роль норадреналина и АТФ в рефлекторной регуляции артериального давления

В первой половине XX в. американский физиолог У.Кеннон установил, что роль симпатической нервной системы заключается в мобилизации регуляторных возможностей организма при экстремальных воздействиях. Действительно, животные с разрушенной симпатической системой при сильном стрессе оказываются нежизнеспособными, хотя в нормальных условиях они похожи на здоровых собратьев, так как в спокойном состоянии отсутствие симпатической регуляции компенсируется активностью других систем [2, 3].

Позже выяснилось, что не все так просто. Наряду с «авральными» задачами у симпатической нервной системы есть и «повседневные». Важнейшая из них — поддержание уровня артериального давления. Даже в состоянии покоя по сосудодвигательным нервам с небольшой средней частотой следуют импульсы (один—три в секунду). Такая импульсация поддерживает сосуды в частично суженном состоянии. Если частота импульсов увеличивается, сосуды суживаются еще больше, а если уменьшается — расширяются. Активность симпатичес-





**Влияние блокаторов на рефлекторную регуляцию артериального давления (опыт на наркотизированной крысе): а — до введения блокаторов; б — после блокады действия норадреналина; в — после блокады двух медиаторов (норадреналина и АТФ).**

кой системы формируется вазомоторным центром, который расположен в продолговатом мозге. Она может быть усилена или заторможена сигналами от других отделов головного мозга или от различных рецепторов. В спокойном состоянии основной механизм, регулирующий активность симпатических сосудодвигательных нервов, — барорецепторный рефлекс. Рецепторы, измеряющие уровень артериального давления (барорецепторы), расположены в стенках крупных артериальных сосудов — преимущественно

но в дуге аорты и в сонных артериях (в каротидных синусах). При повышении давления рецепторы посылают к вазомоторному центру импульсы, тормозящие его активность. При снижении артериального давления тормозящее влияние ослабевает [4, 5].

Барорецепторы частично формируют и паттерн симпатической импульсации. Артериальное давление — величина непостоянная, оно меняется при каждом ударе сердца, при дыхательных движениях, а также — по другим причинам. Это при-

водит к изменению частоты импульсов, идущих от барорецепторов в продолговатый мозг, и соответственно порождает нерегулярность импульсов в сосудодвигательных симпатических нервах.

Барорецепторы можно «обмануть», пережимая сонную артерию. При этом в ответ на снижение давления крови в каротидном синусе системное артериальное давление повысится (так называемый прессорный синокаротидный рефлекс). Рефлекторное повышение давления можно вызвать и другим путем, например раздражая болевые рецепторы или волокна, идущие от них в центральную нервную систему. Мы исследовали участие в прессорных ответах двух медиаторов — норадреналина и АТФ. Для этого блокировали действие медиаторов на рецепторы, расположенные на мембране гладкомышечных клеток кровеносных сосудов.

Блокада адренорецепторов практически полностью устранила повышение артериального давления в ответ на болевое раздражение, прессорный синокаротидный рефлекс при этом изменялся мало. После блокады рецепторов АТФ, напротив, ответ на боль почти не изменялся, но ответ на пережатие сонной артерии уменьшался более чем вдвое [6]. Таким образом, при разных стимулах — боли и падении давления крови — подъем давления опосредуется разными медиаторами. Возможный механизм этого был назван ранее: различие характера импульсации в сосудодвигательных симпатических нервах. При синокаротидном рефлексе активность в сосудодвигательных нервах остается нерегулярной, только пачки импульсов более мощные. При болевом воздействии одновременно активируется большое количество симпатических волокон, к тому же в каждом волокне активность становится непрерывной и высокочастотной. При синокаротидном рефлексе в сосудодвига-

тельных нервах она остается нерегулярной, только пачки импульсов становятся более мощными. По-видимому, непрерывная импульсация служит сигналом для выделения норадреналина, а при нерегулярной, кроме норадреналина, выделяется и АТФ. Эти опыты впервые продемонстрировали возможность отдельного использования разных медиаторов для регуляции артериального давления при самостоятельной работе симпатической нервной системы.

### Влияние блокаторов норадреналина и АТФ на колебания артериального давления

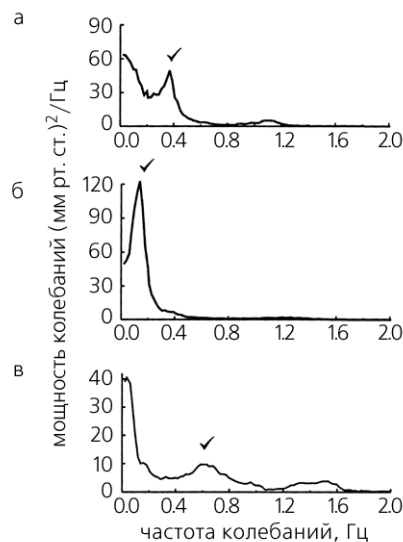
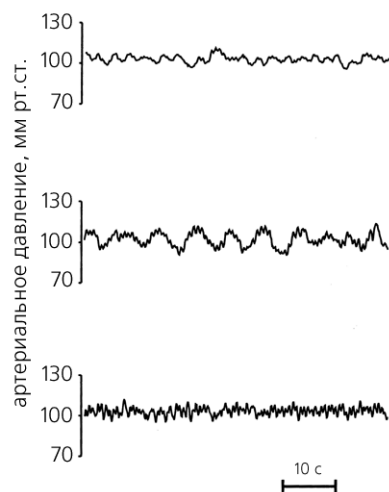
Барорецепторный рефлекс — один из многих механизмов, регулирующих уровень артериального давления. В чем же заключается его уникальная роль? Ответом на этот вопрос послужили эксперименты, проведенные более 30 лет назад в лаборатории американского физиолога А.Гайтона. У собак под наркозом перерезали нервы, идущие в продолговатый мозг от каротидных синусов и от дуги аорты, и вживляли катетер для регистрации артериального давления. В течение двух-трех дней после операции артериальное давление было повышенным, затем оно возвращалось к норме, так как вазомоторный центр «привыкал» к отсутствию тормозящих импульсов от барорецепторов. Однако колебания давления сильно отличались от нормальных. Любые возмущающие факторы — шум, свет, движения животного, дыхание — вызывали значительные изменения давления. У животного с нормально функционирующим барорефлексом колебания давления при тех же воздействиях были значительно меньше. Это говорит о том, что роль барорецепторного рефлекса состоит в минимизации изменений давления крови, воз-

никающих по разным причинам (т.е. в уменьшении вариабельности давления). Почему это важно? Нестабильность давления, возникающая при нарушении работы барорефлекса, неблагоприятно сказывается на состоянии сердечно-сосудистой системы: она провоцирует развитие атеросклероза и артериальной гипертензии, приводит к повреждению мелких артериальных сосудов.

Итак, по данным Гайтона, барорефлекс минимизирует колебания давления; а по нашим наблюдениям, барорефлекторные влияния на сосуды опосредуются преимущественно АТФ. Учитывая и те и другие результаты, можно ожидать, что блокада рецепторов АТФ приведет к увеличению вариабельности артериального давления. Отличие наших экспериментов от опытов Гайтона состояло в том, что барорефлекс прерывался не перерезкой чувствительных нервов, а блокадой действия медиатора, передающего сигналы от

симпатических нервов к сосудам, т.е. затрагивался не афферентный, а эфферентный путь проведения сигнала. Так как блокада действия норадреналина приводила к падению давления, чтобы избежать этого, одновременно с блокатором крысе вводили вещество, сокращающее гладкую мышцу сосудов и поддерживающее давление на нормальном уровне. Наши ожидания подтвердились: колебания артериального давления увеличивались только после блокады действия АТФ, а блокада действия норадреналина к такому эффекту не приводила [7, 8].

Почему же без участия АТФ барорецепторный рефлекс не способен поддерживать уровень артериального давления стабильным? Вспомним, что АТФ — это медиатор, действующий быстро. По-видимому, только быстрое реагирование позволяет эффективно предотвращать значительные отклонения давления от нормального уровня.



Колебания артериального давления у бодрствующих крыс. Слева приведены примеры записей, справа — спектры мощности, вычисленные для таких записей. В норме (а) видны колебания давления с частотой около 0.4 Гц. После блокады действия АТФ (б) или норадреналина (в) частота этих колебаний изменяется. Каждая точка записей соответствует значению среднего артериального давления в отдельном сердечном цикле; колебания с частотой 1—1.5 Гц обусловлены дыхательными движениями.

## О чем могут рассказать колебания артериального давления

При записи артериального давления случайные отклонения (возникающие, например, при движении тела) накладываются на регулярные колебания, порождаемые различными процессами, протекающими в организме (работой сердца, дыханием и др.). Разделить регулярные и случайные события позволяет метод спектрального анализа. При этом кривую представляют в виде суммы синусоид (гармоник), каждая из которых характеризуется своей частотой и амплитудой. Результаты разложения сигнала на гармоники принято отображать в виде графика спектра мощности, где по оси абсцисс отложена частота колебаний, а по оси ординат — их мощность (которая пропорциональна квадрату амплитуды). Наличие гармонических коле-

баний проявляется на спектре мощности в виде пика на соответствующей частоте.

В норме (до введения блокаторов) на записи артериального давления крысы видны колебания, период которых равен 2–3 с, а на спектре мощности им соответствует пик на частоте 0.4 Гц. Известно, что у крыс такие колебания давления отражают работу барорефлекса. Они отсутствуют, если дуга барорефлекса разорвана, причем независимо от того, на афферентном (при денервации барорецепторов) или эфферентном (при разрушении симпатической системы) уровне это происходит. Как же так: барорефлекс должен сглаживать колебания давления, а он их порождает?! Действительно, сглаживает, но — другие. Если барорефлекс не работает, появляются более медленные, высокоамплитудные колебания давления — они-то и дестабилизируют систему. Частота барорефлекторных колебаний давления (волн Майера)

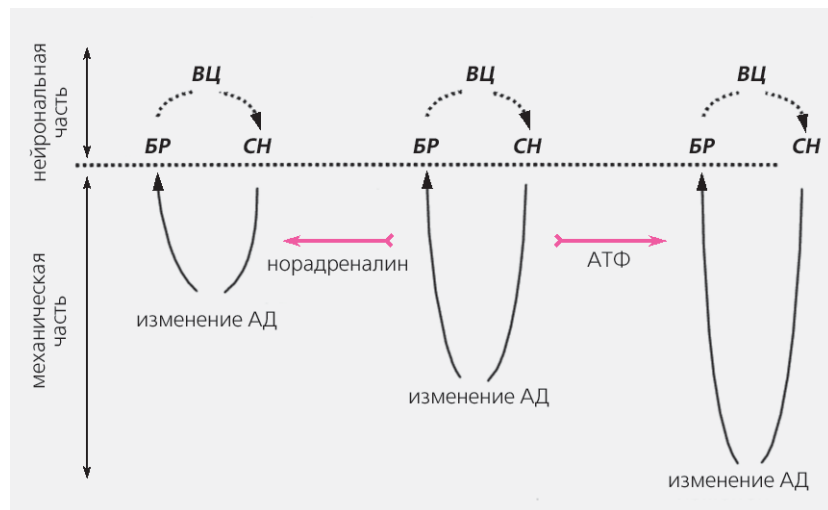
зависит от размеров тела: у человека она равна 0.1 Гц, у собаки — 0.2 Гц, у кроликов — 0.3 Гц, а у мышей еще выше, чем у крыс.

Блокада рецепторов норадреналина или АТФ приводила к изменению характера колебаний давления (см. рис.4). После блокады рецепторов АТФ колебания становились более редкими (пик смещался к 0.2 Гц), амплитуда их увеличивалась. Напротив, после подавления действия норадреналина частота колебаний увеличивалась до 0.6 Гц [9]. Для ответа на вопрос, почему наблюдаются именно такие изменения частоты, рассмотрим происхождение волн Майера.

Барорефлекторным колебаниям давления соответствуют колебания частоты импульсов в чувствительных нервах, идущих от барорецепторов, а также в сосудодвигательных симпатических нервах. Поскольку для дуги барорецепторного рефлекса давление крови становится одновременно и входным сигналом, и регулируемой переменной, дуга замыкается, превращаясь как бы в петлю. В ней возникают колебания, частота которых определяется временем прохождения сигнала по всей петле и зависит от скорости в каждом из ее звеньев.

Таких звеньев два: нейрональное (от барорецепторов, на входе, до сосудов, на выходе) и механическое (реакция сосудов на действие медиаторов). На схеме первое из них значительно короче второго, так как время, за которое сигнал проходит по нервным путям, существенно меньше времени сосудистого ответа. Поэтому именно время сосудистого ответа должно определять частоту барорефлекторных колебаний давления.

В норме эти колебания обусловлены изменениями сосудистого тонуса под действием двух медиаторов — норадреналина и АТФ. По-видимому, блокада



Схематическое объяснение барорефлекторных колебаний артериального давления (АД). Изменение АД действует на барорецепторы (БР), сигнал передается в вазомоторный центр (ВЦ), что приводит к изменению частоты импульсации в сосудодвигательных нервах (СН) и снова — к изменению уровня АД. Частота колебаний АД определяется в основном длительностью механического ответа гладкой мышцы сосудов. Блокада действия норадреналина или АТФ приводит к изменению времени сосудистого ответа и, следовательно, к изменению частоты колебаний АД.

действия «медленного» медиатора (норадреналина) приводит к уменьшению длительности сосудистого ответа и соответственно к увеличению частоты колебаний давления. Напротив, после блокады действия «быстрого» медиатора (АТФ) частота колебаний уменьшается. При этом сосудистая система менее подвижна, но сильнее «раскачивается» при возмущении извне.

### Еще раз о функциональном значении множественности медиаторов

Таким образом, два медиатора, обладающие однонаправленными (сосудосуживающими), но различающимися по скорости и длительности эффектами, могут дополнять действие друг друга, что обеспечивает эффективную регуляцию сосудистого тонуса. В отсутствие возмущающих (стрессорных) воздействий средний уровень артериального давления поддерживается в основном норадреналином (что подтверждается снижением давления при блокаде его рецепторов), а АТФ быстро корректирует тонус сосудов, как бы подправляя действие норадреналина. При стрессе (эмоциях, активной работе

и т.д.) высокочастотная импульсация в симпатических нервах способствует выделению нейропептида Y, который помогает норадреналину поддерживать сосуды в суженном состоянии.

Явление множественности медиаторов может иметь еще одно важное значение. Кеннон полагал, что активация симпатической системы происходит во всем организме и затрагивает не только кровеносные сосуды и сердце. Действительно, при стрессе наряду с сужением кровеносных сосудов повышаются частота и сила сердцебиения, сокращаются гладкие мышцы, поднимаются волосяной покров, тормозится работа кишечника, усиливается потоотделение, расширяются зрачки. Дальнейшие исследования показали, что в некоторых ситуациях симпатическая система может работать не как единое целое, а как набор независимых функциональных блоков. Например, у человека при вставании из положения лежа частота импульсов в сосудодвигательных нервных волокнах значительно повышается, а в волокнах, регулирующих потоотделение, — почти не изменяется.

Вместе с тем управление работой органа зависит не только от того, каковы сигналы, приходящие из центральной нервной системы, но и от того, как они передаются клеткам-мишеням

и воспринимаются этими клетками. Клетки разных органов могут иметь разные рецепторы к медиаторам (например, для сосудов сердца и мозга действие АТФ не суживающее, а расширяющее). Может различаться и набор медиаторов в симпатических окончаниях. Так, нейропептид Y выполняет роль медиатора только в артериях, но не в венах, причем в артериях скелетных мышц его несравнимо больше, чем в артериях кожи. Содержание АТФ велико в симпатических окончаниях, иннервирующих мелкие артерии и артериолы. Именно к этим сосудам направлены сигналы, возникающие в барорецепторах каротидного синуса и дуги аорты; активность прочих эффекторов они затрагивают лишь в небольшой степени или не затрагивают вообще. Таким образом, множественность медиаторов, особенности их распределения в разных органах и возможность отдельного использования обеспечивают более тонкое, гармонично согласованное, а иногда и независимое управление эффекторными органами даже при генерализованном изменении активности в симпатических нервах. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 99-04-49634 и 01-04-48932.**

### Литература

1. Авдонин П.В., Ткачук В.А. Рецепторы и внутриклеточный кальций. М., 1994. С.85—95.
2. Родионов И.М., Ярыгин В.Н., Мухаммедов А.Н. Иммунологическая и химическая десимпатизация. М., 1988.
3. Голубинская В.О., Мартынов А.А., Тарасова О.С., Родионов И.М. // Вестн. МГУ. Сер.16, Биология. 1998. №1. С.12—16.
4. Ноздрачев А.Д., Баженов Ю.И., Баранникова И.А. и др. Начала физиологии. СПб., 2001. С.460—519, 751—762.
5. Физиология человека / Ред. Р.Шмидт и Г.Тевс. М., 1996. Т.2. С.343—361, 524—544.
6. Tarasova O.S., Rodionov I.M. // Acta Physiol. Scand. 1992. V. 146. P. 441—448.
7. Родионов И.М., Косяков А.Н., Тарасова О.С. и др. // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 1995. № 11. С.461—464.
8. Tarasova O.S., Golubinskaya V.O., Kosiakov A.N. et al. // J. Auton. Nerv. Syst. 1998. V. 70. P. 66—70.
9. Golubinskaya V.O., Tarasova O.S., Borovik A.S. et al. // J. Auton. Nerv. Syst. 1999. V. 77. P.13—20.

# Трилобиты изобрели «бактериальный огород»?

Научные сообщения

К.Н.Несис,

доктор биологических наук  
Москва

Множество морских животных возделывают для пропитания собственные «бактериальные огороды» — сообщества симбиотических хемоавтотрофных бактерий, окисляющих сероводород. Трубочатые «черви» вестиментиферы культивируют бактерии в специальном отделе тела — трофосоме, двусторчатые моллюски из разных, не родственных друг другу, семейств — в жабрах, многощетинковые помпейские черви — на спине, креветки альвинокарииды — на ротовых частях и т.д. Бактерии поглощают сероводород и используют восстановленные серы как источник энергии, а углерод добывают из растворенной в воде углекислоты. Животное-хозяин дает бактериям безопасное убежище и бесперебойно поставляет сероводород, а само потребляет либо излишек бактерий, либо выделяемые ими растворенные органические вещества, своего рода питательный бульон. Собственные пищедобывательная и пищеварительная системы становятся излишними и редуцируются или полностью исчезают, как у вестиментифер.

Что необходимо для такого симбиоза? Во-первых,  $H_2S$ , во-вторых, кислород для окисления сероводорода и дыхания животных, в-третьих, углекислота (ее, впрочем, всегда достаточно). Но кислород и сероводород несовместимы, как вода и пламень, потому симбиотические ассоциации животных с обитающими в них или на них серобактериями могут существовать только на границе

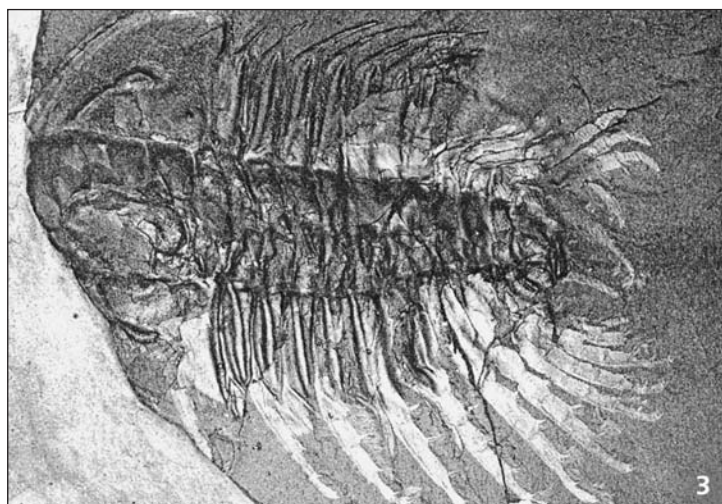
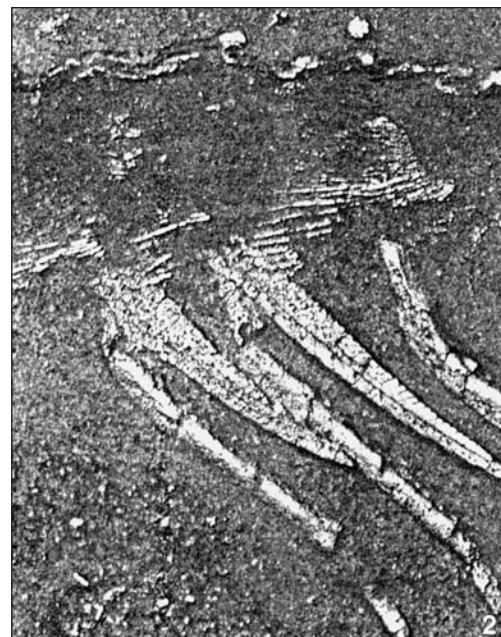
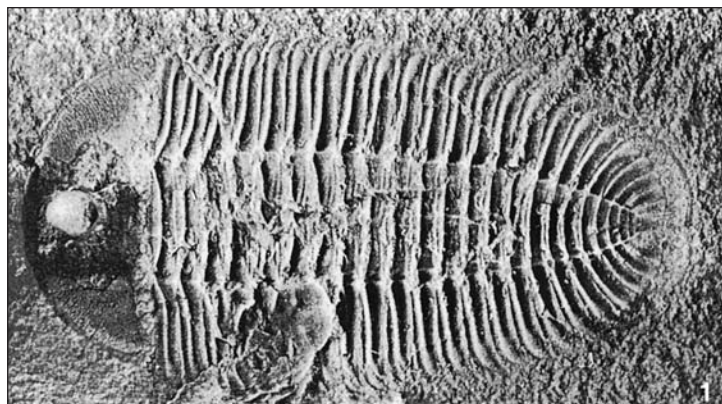
двух миров — мира серы и мира кислорода. Так происходит сейчас в «няше» — вонючем иле приливо-отливной зоны, в черном восстановленном слое песчаной толщи под желтым окисленным поверхностным, в гидротермальных излияниях и холодных высачиваниях на дне океана и т.п.

Палеонтологическая летопись свидетельствует, что многие животные, которые сейчас разводят «бактериальный огород», появились еще в палеозое, приблизительно 400 млн лет назад. Но когда же впервые возник симбиоз с серобактериями? Р.Форти из Отдела палеонтологии Музея естественной истории в Лондоне представил веские доказательства того, что это произошло не позднее 505 млн лет назад, и первыми животными, которые изобрели симбиоз с бактериями, были трилобиты семейства оленид (*Olenidae*) [1, 2].

Трилобиты — обширный и разнообразный (около 2 тыс. родов, свыше 10 тыс. видов) класс вымерших морских членистоногих, существовавших с начала кембрия до ранней перми (544–275 млн лет назад) и достигавших размера более 13 см. Расцвет трилобитов приходится на верхний кембрий и ордовик, тогда они полностью господствовали в морях. Эти животные внешне напоминали мокриц, но больше всего походили на современных равноногих раков семейства Serolidae, очень многочисленных в Южном полушарии, особенно в антарктических морях. Покрытое хитиновым (сверху еще обызвествленным) панцирем тело трилобита состояло из головного и хвостового сегментов, обычно

почти полукруглой формы, и нескольких промежуточных сегментов, каждый из которых был разделен бороздками на три участка — средний и два боковых (лат. *trilobus* переводится как трехлопастной). На головном сегменте снизу располагалась пара усиков, сверху — пара фасеточных глаз; на хвостовом — органы осязания. А на средних — множество ножек с жабрами. Трилобиты ползали по дну на мелководе или плавали в толще воды, при опасности свертывались, подобно мокрицам. Потомство вынашивали в специальных камерах (расположенных на брюшной стороне тела), откуда выходила на свет уже сформировавшаяся молодь. Большинство трилобитов — но не олениды! — питались наилком (органическим веществом поверхностного слоя грунта) и микроскопическими донными либо планктонными организмами.

Олениды (65 родов), существовавшие с позднего кембрия до конца ордовика (505–440 млн лет назад) отличались от других трилобитов сильно уплощенным телом с очень тонкими покровами и большим числом (до 18) сегментов, соответственно и ножек. Олениды медленно ползали по дну и были хорошо приспособлены к жизни в биотопах с минимальным содержанием кислорода. Уникальная черта строения оленид из родов *Peltura* и *Porterfieldia* — атрофия пищедобывательного аппарата. У прочих трилобитов, в том числе питавшихся донным осадком примитивных оленид, он был развит нормально. Необычно также, что за 65 млн лет своего существования олениды почти не изме-



Трилобиты семейства Olenidae:

1 — *Hupermecaspis* sp., вид снизу (нижний ордовик, Боливия); 2 — *Triarthrus eatoni*, ножки с жабрами (верхний ордовик, штат Нью-Йорк, США); 3 — *Olenoides serratus*, вид сверху (средний кембрий, Канада). 1, 2 — по R.Fortey, 3 — по C.Morris // The crucible of creation. Oxford, 1998.

нились, в то время как другие трилобиты претерпели глубокие морфологические перестройки. На разрезе через верхнекембрийскую зону сланцев алум в Швеции отчетливо видно, что животные рода *Olenus* были многочисленны в богатых органическим веществом и почти бескислородных отложениях (черных пиритовых сланцах), и больше здесь никого не было. В окисленных же условиях преобладали планктонные трилобиты *Agnostus* и *Glyptagnostus*, а также ракушковые рачки *Cyclotron*, а олениды отсутствовали.

Форти предположил, что эти особенности отражают симбиоз оленид с хемоавтотрофными бактериями. По его мнению, расши-

ренные боковые участки многочисленных центральных сегментов прикрывались длинными гребневидными жабрами, в которых и могли обитать бактерии. Хищников в бедных кислородом условиях с застойной водой было мало, и медлительность оленид не делала их жизнь опасной. Обширные камеры для вынашивания молоди позволяли снабжать необходимым количеством кислорода развивающееся потомство и передавать ему бактерии от матери. Это своего рода вертикальная передача симбионтов, внутриутробное заражение. Вероятно, олениды жили вблизи границы окисленной и восстановленной зон, время от времени всплывая вверх, чтобы подышать,

а опускаясь на лишенное кислорода дно, — подкормить бактерий сероводородом. Примерно так ведут себя современные креветки рими-карисы, неисчислимыми стаями толпящиеся вокруг горячих излияний Срединно-Атлантического хребта на самой границе содержащих сероводород горячих флюидов и богатых кислородом холодных океанских вод [3]. Видимо, в симбиозе с бактериями жили и некоторые другие, более поздние, трилобиты, например силурийские *Aulacopleura*.

Разумеется, прямых доказательств культивирования бактерий трилобитами нет, и вряд ли удастся их получить. Но косвенные свидетельства убедительны. ■

## Литература

1. Fortey R. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2000. V.97. №12. P.6574—6578.
2. Fortey R. // Sci. News. 2000. V.158. №2. P.31.
3. Верещака АЛ. Креветки, которые, обжегшись на молоке, не дуют на воду // Природа. 1996. №8. С.60—61.

## Космические исследования

### Органическая жизнь на Марсе? Вряд ли...

Европейское космическое агентство в скором времени отправит в космос аппарат «Beagle-2 Mars» стоимостью около 50 млн долл., созданный учеными и инженерами Великобритании под руководством К.Пиллинджера (C.Pillinger; Открытый университет в Милтон-Кейсе). Название 30-килограммового устройства дано в честь парусного судна «Beagle», на котором в XIX в. совершил свое историческое плавание Чарлз Дарвин.

Аппарату предстоит в 2003 г. совершить посадку в экваториальной области Марса, в бассейне Исиды. Этот район сравнительно мало каменист; ландшафт скорее напоминает земную пустыню с песчаными дюнами; по-видимому, имеются признаки бывших наводнений.

Негласным конкурентом миссии послужит предполагаемый примерно на то же время запуск НАСА аппарата, несущего два 150-килограммовых марсохода типа «Mars Rover». В сутки этот транспорт способен преодолевать до 1 км пересеченной марсианской местности. Поставлена задача собирать данные об экологической обстановке на планете, искать там следы былой воды и существования жизни в любой ее форме<sup>1</sup>. Впрочем сами американские ученые считают встречу с живыми организмами невозможной: в условиях весьма разреженной марсианской атмосферы интенсивное ультрафиолетовое излучение проникает к самой поверхности планеты и порождает такое количество ионов кислорода, которое должно уничтожить любые органические молекулы.

<sup>1</sup> См. также: *Иванов М.В.* Наземная микробиология и стратегия поиска жизни на Марсе // Природа. 2002. №2. С.5—13.

Промоделировав природные условия Марса, специалисты установили, что сочетание высокой ультрафиолетовой радиации и крайне засушливого климата вряд ли отвечает присутствию любой жизни. И все же ученые окончательно не отказываются от мысли, что органика на Красной планете в принципе могла бы сохраниться где-либо под поверхностью или внутри пород.

Оборудование американских аппаратов позволит проникнуть в глубь марсианской почвы, взять ее образцы и на месте попытаться найти в них хотя бы косвенные следы присутствия влаги. Английский аппарат займется анализом изотопного состава почвы и изменением концентрации метана в атмосфере, возможно, говорящей о наличии в ней органических веществ. На всю эту миссию НАСА ассигновало около 600 млн долл.

Spaceflight. 2001. V.43. №1. P.8 (Великобритания).

## Геофизика

### Сеть геомагнитных обсерваторий

Более 10 лет существует Международная сеть магнитных обсерваторий, работающих в реальном времени, — International RealTime Magnetic Observatory Network (Intermagnet). Накапливаемая ими информация необходима для фундаментальной и прикладной геофизики, навигации, радиосвязи, космических спутниковых исследований. Первоначально в сети участвовали лишь страны региона Северной Атлантики; к 1998 г. в ней уже насчитывалось 70 магнитных обсерваторий, расположенных в 27 странах, и их число продолжает расти.

Чтобы быть включенной в сеть, обсерватория должна располагать данными высокой

точности. В конце каждого календарного года выверенная информация становится частью «CD-Rom of Definite Data», доступного специалистам всего мира, и передается участникам сети посредством искусственных спутников Земли или по электронной почте ([www.gsrg.nmh.ac.uk/inter-magnet/](http://www.gsrg.nmh.ac.uk/inter-magnet/)) через 72 ч после поступления. Узловые центры, где сосредоточивается вся информация, располагаются в Голдене (США), Оттаве (Канада), Эдинбурге (Великобритания), Париже (Франция) и Киото (Япония). С 90-х годов в сеть включились австралийские геомагнитные обсерватории в Канберре, Гнангаре (район Перта в штате Западная Австралия) и Алис-Спрингсе (Северная территория); к ним недавно присоединились австралийские обсерватории в Национальном парке Какаду (Северная территория) и Чартер-Тауэрсе (штат Квинсленд), а в недалеком будущем их список должны пополнить магнитные станции Лирмонт (Западная Австралия), Макуори (юг Тихого океана) и Моусон (Антарктида).

Ausgeo. 2001. 362. P.10 (Австралия).

## Палеонтология

### Палеонтологическое Эльдorado

Последней мало-мальски значительной рекой на территории США, о которой узнал мир, была Эскаланте. И случилось это не так уж давно — в 1872 г., — настолько заброшенным был этот край в штате Юта. В объяснительной записке к первой геологической карте местности, опубликованной лишь в 1931 г., ее составитель отметил: «Область для палеонтологии интереса не представляет, так как здесь нет остатков ископаемых организмов». Однако в 80-х годах геологи один

за другим стали сообщать о многочисленных находках остатков древней фауны и флоры. Дж.Итон (J.Eaton; Университет штата Юта) заявил, что таких палеонтологических богатств, как в Эскаланте, он нигде не видывал.

В 1996 г., когда стало очевидным, что почти все плато над рекой представляет собой гигантское захоронение давно вымерших видов рыб, крокодилов, лягушек, ящериц и динозавров, правительство объявило этот район (960 тыс. га) национальным памятником природы «Эскаланте», где запрещены хозяйственная деятельность и транзитный проезд на любом виде транспорта. Отныне Государственное бюро управления землями США ассигнует около 200 тыс. долл. в год только на палеонтологические исследования (примерно 20% всего бюджета этого национального памятника природы).

Палеонтолог С.Сэмпсон (S.Sampson; Музей естественной истории штата Юта в Солт-Лейк-Сити) подчеркивает, что плато Эскаланте заполняет пробел в знаниях о динозаврах позднего мела: эта земля хранит важную информацию о границах расселения, образе жизни и разнообразии ряда их групп. Тщательно изучается найденная в 1998 г. палеонтологом А.Титусом (A.Titus) задняя и хвостовая части скелета гадрозавра, на которой (что очень редко) сохранились отпечатки кожного покрова. В сотрудничестве с Б.Олбрайтом (B.Albright) он раскопал сохранившийся на 75% скелет терезинозавра (*Therezinosaurus*) — растительноядного ящера, остатки которого вне Азии не были известны. Исследуется скелет рогатого динозавра, принадлежащего к еще не известному роду. Всеобщий интерес вызывают остатки, возможно, тоже неизвестного вида тиранозавра.

Специалисты недовольны тем, что разрешение на ведение работ в «Эскаланте» рассматривают в течение 3—6 мес, за которые может истечь время выделенного им гранта. Кроме того, запрет на использование транспорта делает ряд местностей почти недоступными для доставки оборудования и вывоза крупных образцов. В одном случае 1.5-тонный геологический образец пришлось разбить на 20-килограммовые куски и выносить в рюкзаках. Череп найденного цератопса с включаемым его песчаником общей массой 360 кг пришлось тащить волоком до ближайшей проселочной дороги в течение 5 сут.

Science. 2001. V.294. №5540. P.41 (США).

### Организация науки. Микология

#### Создается дом гриба

Для любителя «тихой охоты» Швейцария — настоящий рай: на ее небольшой территории встречается около 6 тыс. видов грибов. Каждую осень в меню швейцарских ресторанов включаются десятки, если не сотни, грибных блюд; в стране насчитывается около 700 групп и клубов, объединяющих тысячи людей, пристрастных к такого рода собирательству, а их трофеи оценивают сотни экспертов. И неудивительно, что именно в Швейцарии организуется международный центр микологических исследований и общественного образования в данной области — Микорама (от лат. *мусо* — гриб).

Центр создается на территории кантона Невшатель, где и сейчас процветает грибная «промышленность»; он разместится в двух прозрачных зданиях сферической формы, напоминающей гриб, а между ними построят прямоугольник лабо-

раторного корпуса. В одном из зданий-сфер создается музей, где будут представлены все известные человеку виды грибов. Там же расположится и подземная грибоферма — нечто вроде живой выставки, где посетитель сможет ознакомиться со съедобными и ядовитыми грибами.

О серьезности намерений строителей говорит и то, что коллектив виднейших микологов страны во главе с Б.Сеннирле (B.Sennirlet) завершает составление карты распространения грибов по всей Швейцарии.

На создание уникального учреждения уже собраны среди населения кантона 2.7 млн долл.

Science. 2002. V.295. №5560. P.1637 (США).

### Охрана природы

#### Спутники следят за объектами Мирового наследия

ЮНЕСКО (Организация ООН по образованию, науке и культуре) обратилась к 52-му Международному конгрессу по астронавтике, проводившемуся в Тулузе (Франция), с предложением включить в программу некоторых искусственных спутников Земли наблюдения за состоянием объектов, внесенных в список Мирового наследия, в том числе уникальных участков природы, исторических и культурных памятников. Конгресс поддержал это начинание, и в качестве одного из первых объектов, взятых на себя Европейским космическим агентством совместно с ЮНЕСКО, стали тропические леса Центральной и Восточной Африки с их уникальными популяциями гориллы. Это животное занесено в Красную книгу и нуждается в особом охранном режиме.

Spaceflight. 2001. V.43. №12. P.493 (Великобритания).



# ГРИБЫ РЯДОМ С НАМИ

Мир организмов, традиционно называемых грибами, огромен: сейчас описано около 70 тыс. видов, что составляет примерно двадцатую часть от их истинного числа. Общее свойство простейших эвкариот — осмотрофное питание — наложило отпечаток на их морфологию, физиологию и образ жизни. Большинство грибов (как паразитов, живущих внутри хозяина, так и сапротрофов, разлагающих мертвые организмы) имеет тело — мицелий, или грибницу (сильно разветвленные нити, пронизывающие субстрат); содержат мощные гидролитические ферменты, с помощью которых переваривают высокомолекулярные соединения. Только грибы умеют разлагать лигноцеллюлозный комплекс, из которого состоит мертвая древесина. Это свойство и определяет их глобальную экологическую роль — участие в освобождении и круговороте углерода, связанного растениями в результате фотосинтеза.

Наиболее разрушительные эпидемии растений вызываются грибами. Ржавчина хлебных злаков, фитофтороз картофеля, ожог листьев риса, корневые гнили и другие болезни, известные с давних времен, часто приводили и приводят к гибели урожая на огромных площадях. Поскольку многие грибы содержат токсические метаболиты, зараженная ими пища становится причиной массовых отравлений. Дерматофиты, разлагающие белок кератин, который входит в состав покровов животных (кожи, волос, ногтей), вызывают дерматомикоз у диких и домашних животных, а также человека.

В последние годы среди населения участились случаи внутренних глубоких микозов. Виновники их — тривиальные грибы, живущие в почве и на растительных остатках, а также в жилых помещениях. Иммунная система в норме справляется со спорами вредных плесеней, которые попадают в организм человека через дыхательную, пищеварительную или половую систему. Но при иммунодефиците эти так называемые оппортунистические грибы становятся серьезным патологическим фактором. Сегодня глубокие микозы — одна из наиболее распространенных причин смерти ВИЧ-инфицированных больных.

Наличие у грибов разнообразных ферментов позволили им освоить новые пищевые субстраты — техногенные: заменители кожи, киноплёнки, краски, стройматериалы и т.п. Биоповреждения (биокоррозия) синтетических материалов наносят огромный материальный ущерб, а когда разрушаются произведения искусства — картины, древние рукописи, исторические здания, — такие потери невозможны.

Вред, приносимый грибами, — лишь одна сторона их деятельности, вызывающая не только чисто академический интерес. В настоящее время они благодаря продукции разнообразнейших биологически активных веществ — самые распространенные объекты промышленной микробиологии и биотехнологии. Таким первым объектом стали дрожжи, давшие человечеству важнейшие продукты — хлеб и вино. Антибиотики и другие лекарственные препараты, ферменты, витамины, органические кислоты, иные важные для народного хозяйства продукты получают из грибов. Достаточно сказать, что в 1990 г. стоимость только антибиотиков пенициллинов и цефалоспоринов составила половину дохода всего мирового биотехнологического рынка. Современное многотоннажное производство съедобных грибов дает белковый продукт отменного вкуса и параллельно решает проблемы утилизации сельскохозяйственных и промышленных отходов.

Наконец, грибы, легко культивируемые простейшие эвкариоты, широко используются в фундаментальной науке как модели. Так, у дрожжей впервые был картирован полный геном. Недавно у грибов обнаружены прионы, ранее известные как возбудители болезней животных и человека (коровье бешенство и др.). Это позволит использовать грибы для изучения молекулярных механизмов функционирования прионных белков и их патологического действия.

Все описанное свидетельствует о необходимости координации фундаментальных и прикладных микологических исследований. Российские микологи, работающие в основном в университетах и академических (ботанического и микробиологического профилей) и прикладных (сельскохозяйственного и медицинского) институтах, как правило общаются не друг с другом, а соответственно с ботаниками, микробиологами, агрономами, врачами. Полтора года назад произошло событие, положившее конец такой разобщенности исследователей. По инициативе медицинских микологов организована общероссийская общественная организация «Национальная академия микологии» (президент — действительный член РАМН и РАЕН профессор Ю.В.Сергеев). В апреле 2002 г. в Москве прошел 1-й съезд микологов России, в котором участвовало несколько сот микологов из самых разных городов, а также стран дружества. Этот представительный форум, охвативший все основные направления теоретической и прикладной микологии, стал настоящим праздником науки, началом ее возрождения.

Отмечая это важное событие, «Природа» публикует подборку статей о некоторых аспектах микологии. Одна посвящена опасности, которую могут представлять микроскопические плесневые грибы (микросциеты), а другая — свойствам съедобных грибов — макросциетов, способных вызывать отравления вследствие накопления в клетках ксенобиотиков.

© Профессор Ю.Т.Дьяков,  
вице-президент Национальной академии микологии

# Опасные плесени в окружающей среде

О.Е.Марфенина

Лет десять назад в нашу лабораторию, занимающуюся изучением микроскопических грибов (в просторечии плесеней) в окружающей среде, обратились врачи одной из московских клиник. Проблема была серьезной. У нескольких пациентов, страдающих лучевой болезнью, после сложнейшей операции по трансплантации развились микозы, вызванные микроскопическими грибами, и больные погибли. Как могла возникнуть такая инфекция? Ведь пациенты находились в стерильных, изолированных палатах, где контакты с внешней средой сведены к минимуму. Скоро, однако, удалось обнаружить источник заражения. Воздух палаты спорами грибов загрязняли кондиционеры из-за несвоевременной замены заплесневевших фильтров. Так мы впервые на весьма трагическом примере ощутили потенциальную опасность плесеней, находящихся в окружающей среде.

Что же такое микроскопические грибы? Какие виды и для кого они опасны? Эта весьма разнообразная группа организмов, насчитывающая сегодня, по весьма ориентировочным подсчетам, тысячи видов. Распространены они повсеместно:



*Ольга Евгеньевна Марфенина, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры биологии почв факультета почвоведения Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — почвенная микология, микроскопические грибы в окружающей среде, охрана природы.*

в почвах, воздухе, на поверхности растений, а также в наших жилищах. Основное место обитания — почвы, где их количество составляет порой сотни тысяч, а то и миллионы спор, сотни метров и даже километры мицелия в одном грамме почвы! С почвенной пылью споры грибов и фрагменты мицелия попадают в воздушную среду. При высокой влажности плесени заселяют поверхности различных сооружений, и тогда любая стена становится прекрасным источником инфекции.

Взаимоотношения человека и большинства микроскопических грибов долго не воспринимались всерьез. Из многочисленной рекламы, да и по собственным ощущениям, хорошо известны лишь грибковые заболевания кожи, которые вызываются узко специализированной группой грибов, как правило, плохо сохраняющихся во внешней среде. Опасным считали также рост плесеней на продуктах питания, поскольку грибные токсины, попадающие в организм с заплесневелой пи-

© О.Е.Марфенина

щей, могут приводить к пищевым отравлениям (микотоксикозам).

Однако в последние десятилетия ситуация изменилась. И в медицине, и в микологии возникла целая группа болезней, вызываемых грибами, представляющими медицинский интерес (*fungi of medical interest*). Речь идет о потенциально патогенных грибах и грибах-аллергенах. К первым относят грибы, которые могут вызывать микозы человека, но одновременно развиваются и сохраняются во внешней среде. Из-за таких лабильных свойств их часто называют оппортунистическими.

### Что такое потенциально патогенные грибы?

Среди грибов имеется небольшая специализированная группа первичных патогенов, вызывающих заболевания у относительно здоровых людей. Их сохранность в среде зависит от присутствия хозяина (человека или животного) и возможности заражения. Оппортунистические же грибы могут быть причи-

ной так называемых вторичных микозов, т.е. инфекций, которые, как правило, поражают страдающих различными формами иммунодефицита. Если у здоровых людей подавляющее большинство потенциальных возбудителей не находит подходящих для себя условий или не выдерживает защитных реакций (инфекция не развивается), то при иммунодефиците возможность инфицирования возрастает. Чаще всего вторичные микозы возникают при заболеваниях системы крови, СПИДе, иммунодепрессивной, кортикостероидной, антибиотиковой терапии, раке, нарушениях обмена веществ, ожогах, радиационном поражении, ослабленном состоянии и т.д.

Основную массу вторичных микозов вызывают преимущественно дрожжевые грибы, в основном рода *Candida*. Однако в последнее время стало известно, что причиной таких заболеваний могут быть и мицелиальные грибы. И хотя заражаются ими сравнительно редко (в среднем, до 500 случаев в год на 1 млн человек) [1], опасность оппортунистических микозов с течением времени оценивается все

выше. Сейчас известно около 300 видов микроскопических грибов, способных вызывать микозы человека [2]. Кроме того, вторичные микозы не всегда просто диагностировать, их лечение сложно и дорого, а лекарственная терапия дает много побочных эффектов для уже больных людей.

Во всем мире списки видов потенциально патогенных грибов и оценка их опасности постоянно уточняются. Предлагают выделить три группы уровня безопасности (*biosafety levels — BSL*).

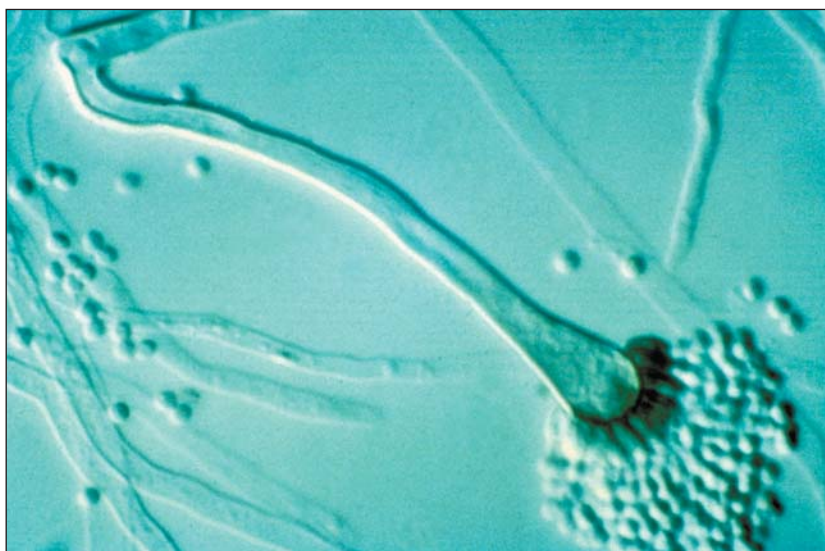
BSL1 — многочисленные, распространенные в природе виды, в принципе безопасные для здоровых людей — редко регистрируются как возбудители заболеваний.

BSL2 — более ограниченная группа и более опасная. Попадая в организм здорового человека, эти виды могут сохраняться и вызывать локализованные микозы. Кроме того, они хорошо себя чувствуют и в окружающей среде.

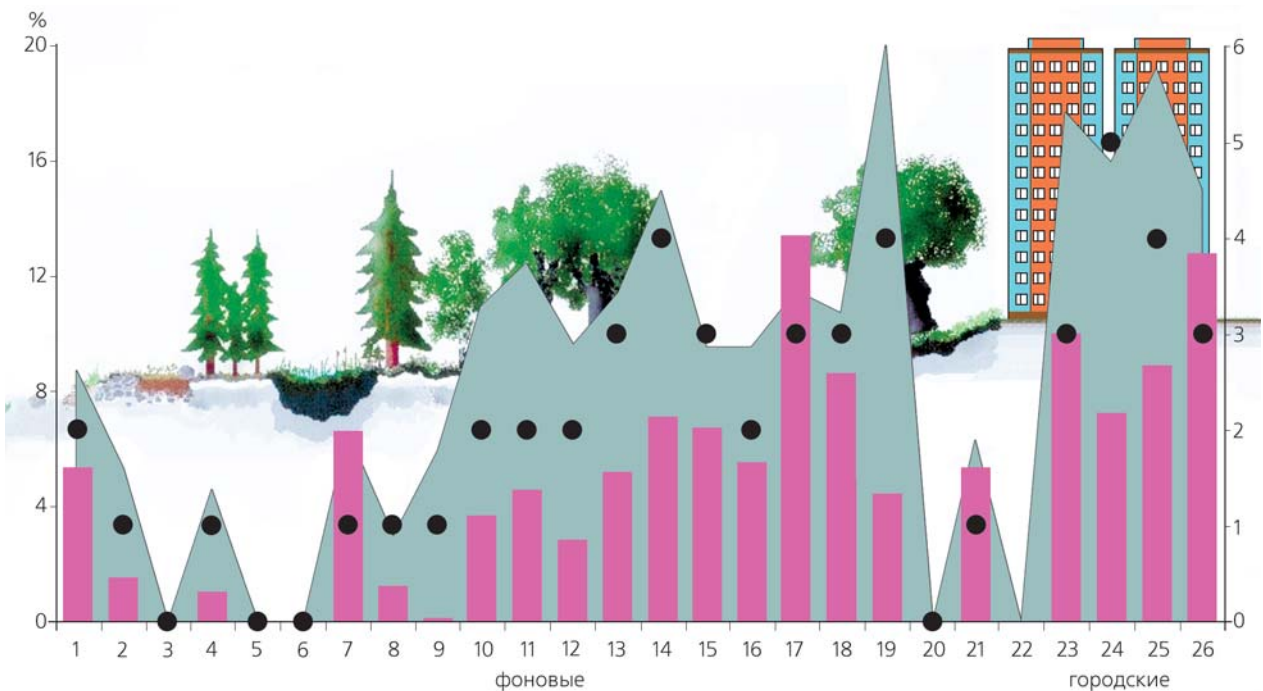
BSL3 — очень небольшая группа, наиболее опасных системных патогенов. Ее представители если и могут сохраняться в природе, то в специфических условиях, как правило в более жарком климате.

В плане массового распространения и возможного контакта с человеком на территориях с умеренным климатом наиболее интересны грибы группы BSL2. Обычно возбудители глубоких микозов из внешней среды попадают в организм через поврежденные кожные покровы, раны, а также при вдыхании спор. Крупные споры (более 5.0 мкм) проникают не глубоко и опасны только для носоглотки; более мелкие (1.5—5.0 мкм) способны достигать альвеол и служат причиной глубоких микозов.

До недавних пор при количественной и качественной оценке оппортунистических грибов преимущественно анализировали их присутствие в различных



Микрофотография потенциально патогенного гриба *Aspergillus fumigatus*, одного из самых распространенных в окружающей среде и способного вызывать глубокие микозы.



Распространение грибов из группы BSL2 в разных типах почв европейской части России. По левой шкале — процентное содержание видов BSL2 относительно общего числа выделенных (цветные столбики), а также их обилие; по правой шкале — абсолютное число выделенных видов BSL2 (черные кружки). Типы почв: 1 — маршевая; 2 — примитивная; 3 — подбур; 4, 5 — подзол иллювиально-железистый; 6, 7 — торфяная болотная; 8–10 — дерново-подзолистая; 11–13 — серая лесная; 14, 15 — чернозем; 16 — каштановая; 17 — солонцы; 18 — солончаки; 19 — бурозем; 20 — бурая лесная; 21 — горно-луговая; 22–26 — городские.

помещениях. Такой подход, с одной стороны, определялся расчетом, что основное время городское население проводит именно внутри помещений. С другой стороны, в исследованиях использовались традиционные медицинские методы, далеко не всегда учитывающие микробное состояние внешней среды.

Сейчас в развитых странах контролируется микологическое состояние больниц, жилищ, офисов, общественных зданий, детских учреждений и т.д. В крупных и хорошо оснащенных лечебных стационарах проводится соответствующий анализ воздуха. Но основной источник спор патогенных и аллергенных грибов — стены, потолок и пол. Кроме того, количество и состав пыли часто связаны с реконструкцией зданий, работой вентиляционных сис-

тем и кондиционеров. Источником самых распространенных опасных плесеней (грибов рода *Aspergillus*) могут оказаться и сухие цветы или земляная смесь для комнатных растений, особенно если последние не меняются по несколько лет [3]. Именно поэтому держать подсыхшие букеты и растения с землей в больничных палатах не рекомендуется.

### Распространение в природе

Закономерности распространения потенциально патогенных грибов во внешней среде до сих пор подробно не исследовались. И хотя их концентрация и возможность заболеваний микозами не подчиняются прямым зависимостям, тем не менее необходимо знать, где,

когда и какие оппортунистические грибы могут развиваться и сохраняться.

Мы стали изучать эту проблему сначала самостоятельно, студенческим и аспирантским коллективом нашей лаборатории, а затем по инициативному проекту РФФИ. Исследования проводили на территории европейской части России, в различных климатических зонах (от арктических широт до предгорий Кавказа), в природных условиях (обычно на заповедных территориях), а также в городах, в промышленно загрязненных районах, на сельскохозяйственных территориях. Базовой для нас была Московская область. Мы определяли в разные сезоны года потенциально опасные плесени в почвах, приземном воздухе, снеговом покрове.

Из почв различных природных и антропогенных террито-

рий выделили более 50 видов потенциально патогенных грибов. Основная масса видов сравнительно редко вызывает вторичные микозы (группа BSL1). Около трети известны как возбудители глубоких микозов человека (группа BSL2). В первую очередь это почвообитающие грибы: *Absidia corymbifera*, *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *Acremonium kiliense*, *Chrysosporium keratinophilum*, *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. verticilloides*, *Paecilomyces variotii*, *Scopulariopsis brevicaulis* и др. Они встречаются в почвах европейской части России, и их концентрация определяется как природными, так и антропогенными факторами.

Согласно нашим данным, разнообразие потенциально патогенных грибов в почвах увеличивается с севера на юг. Меньше всего их в северных биогеоценозах (хвойных лесах, лесотундре), а также в горах, например в зоне субальпийских лугов и выше. И на Севере, и в горах основная масса выделяемых оппортунистических грибов представлена видами, патогенные свойства которых проявляются крайне редко. Из возбудителей же глубоких микозов (группа BSL2) обнаружены виды *Acremonium kiliense*, *Fusarium oxysporum*, *F. verticilloides*, но и они встречаются редко.

В северных широтах исключение составляют песчаные морские пляжи, где количество возбудителей глубоких микозов резко возрастает. Здесь, например, выделяются виды *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, характерные для более южных широт. Это вполне объяснимая ситуация, поскольку для развития большинства оппортунистических грибов оптимальны нейтральная и слабощелочная среды, присущие грунтам прибрежной зоны, в то время как зональные почвы Севера — кислые. Присутствие этих видов показано также для пляжей Португалии и Бразилии.

В зоне умеренных широт (Московская, Тульская, Владимирская области), разнообразие и обилие потенциально опасных плесеней в почвах увеличивается. Меняется и состав грибов, входящих в группу BSL2. Здесь в дерново-подзолистых, серых лесных почвах встречаются виды *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Paecilomyces variotii*, инфекционные свойства которых хорошо известны.

Южнее, в черноземах (Воронежская, Курская области, Краснодарский край), в некоторых засоленных почвах, грибы, известные как возбудители глубоких микозов, содержатся в шести—восьми образцах почв из 10 проанализированных, а их доля может составлять до 10% от всех выделяемых плесеней. Здесь больше представителей рода *Aspergillus* — *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. terreus*, *A. ustus*, а также *Paecilomyces variotii*, рода *Fusarium*. Самое большое количество потенциально патогенных видов обнаружено в засоленных почвах, содержание которых аналогично почвам на морских берегах.

## Грибы в городе

В современной биосфере антропогенные факторы оказали огромное влияние на формирование сообществ животных и растений. Вначале полагали, что почвенные микроорганизмы (в том числе и микроскопические грибы) испытывают на себе небольшое воздействие деятельности человека. Однако за последние десятилетия микологи показали, что это не так. Согласно нашим исследованиям, антропогенные факторы весьма существенно сказываются на распространении оппортунистических грибов, причем преимущественно в сторону увеличения их содержания в почвах.

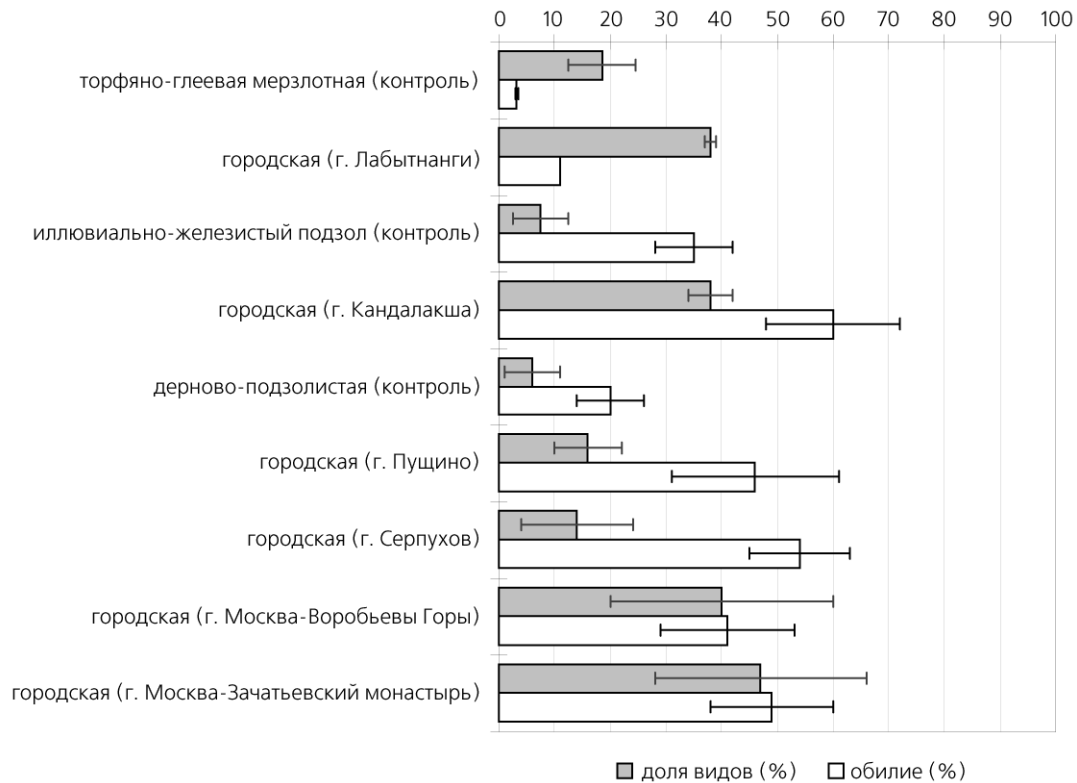
В одних и тех же природных зонах мы сравнили разнообразие и обилие вредных плесеней

в естественных и антропогенно нарушенных условиях (промышленного и сельскохозяйственного загрязнения, рекреационного вытаптывания в пригородных лесах и др.). Оказалось, что при загрязнении почвы тяжелыми металлами, выхлопами автотранспорта, при перевыпасе скота увеличивается количество устойчивых к этим воздействиям видов грибов. Причем многие из них известны как опасные плесени, вызывающие микозы легких [4]. По нашим первоначальным данным, больше всего их было на урбанизированных территориях.

Насколько это закономерно? Чтобы ответить на такой вопрос, мы определяли присутствие потенциально патогенных грибов в городских почвах в разных климатических зонах — в Заполярье (Кандалакша и Лабитнанги), в умеренных широтах (Москва, Серпухов, Пущино), в предгорьях Кавказа (Нальчик). И везде их содержание было резко повышено по сравнению с природным.

Больше всего оппортунистических грибов выделялось в Москве — количество видов в несколько раз (иногда почти на порядок!) превышало такое в зональных дерново-подзолистых почвах, а их содержание составляло почти половину. Самыми грязными оказались молодые насыпные почвы новостроек Марьино, и так известного своим экологическим неблагополучием. Причем около 50% всех потенциально патогенных грибов здесь сохранялось в разные сезоны года. А меньше всего их было в почвах природных лесопарков, например, на Воробьевых горах. Доля возбудителей глубоких микозов (группа BSL2) в московских городских почвах достигала 25%! В чем причина таких резких изменений?

Известно, что современные города — это особые экосистемы, которые отличаются от природных, зональных биоценозов по климатическим, физико-химическим свойствам почв и ат-



Содержание потенциально патогенных микроскопических грибов в некоторых зональных и городских почвах.

мосферы, структуре сообществ животных, растений, микроорганизмов, наличию большого числа сооружений из созданных человеком материалов, сильному загрязнению внешней среды и т.д. В городах, как правило, более теплый климат, а почвы, по сравнению с фоновыми, особенно в северных и умеренных широтах, обогащены органическим веществом, имеют более благоприятный температурный режим и нейтральную или слабощелочную кислотность [5]. В крупных городах северных и умеренных широт возникают более южные условия, способствующие развитию потенциально патогенных грибов. Их споры могут долго (сотни и тысячи лет) сохраняться в почвах. Однако в культурных слоях древних городских поселений (IX—XII вв., Смоленская и Черниговская области) мы не обнаружили повышенного содержания таких плесеней.

Итак, обилие потенциально патогенных плесеней характерно именно для современных городов. Их сравнительно высокая концентрация отмечается в придорожных зонах как по числу видов, так и по их обилию. Именно вдоль автомагистралей в разные сезоны года и в разных средах (в почвах, воздухе, снеговом покрове) наблюдается множество грибов, имеющих в клеточной стенке темные пигменты (меланины). Эти темноокрашенные грибы, устойчивые ко многим антропогенным воздействиям, известны как потенциально патогенные и аллергенные. Максимальная их концентрация часто характерна для почв газонов, на расстоянии 5—10 м от автострады, т.е. именно там, где проложены пешеходные дорожки.

Исследование микроскопических грибов на поверхности растений подтвердило, что их накопление связано с влиянием

автотранспорта. Доля темноокрашенных плесеней обычно была тем больше, чем выше транспортная нагрузка.

## Грибы и здоровье

Каким образом присутствие грибов в почвах может сказываться на здоровье человека? Дело в том, что в городских почвах, в отличие от природных условий, грибы часто не формируют мицелий, а сохраняются в виде спор. Значит, относительное содержание спор увеличено, и в приземных слоях воздуха они могут переноситься сами или с частицами пыли. Как показал анализ, состав потенциально патогенных грибов в городских почвах и приземных слоях воздуха оказался сходным, а их содержание в приземных слоях воздуха даже выше, чем в почвах, и может составлять до 60—80%

от их общего числа в различные сезоны года.

Самое благоприятное время для развития опасных плесеней — позднее лето (август) и начало осени (сентябрь), когда выделяется их до 60% и более. Разнообразия и обилие особенно увеличивается в жаркие, засушливые годы, что отмечалось нами даже в условиях Заполярья. Самое безопасное время для плесневого загрязнения — зима. В снегу патогенных грибов меньше всего.

Безусловно, в накоплении плесеней участвуют и сооружения, на поверхности которых они могут хорошо развиваться. Известен и так называемый синдром больных зданий — домов, в которых люди болеют чаще. Явление это скорее всего многофакторное, но как одну из причин называют аллергенные плесени и микроскопические грибы, выделяющие летучие вещества, токсичные для человека.

Есть еще одна возможность близкого контакта человека с потенциально патогенными грибами во внешней среде. В последние годы стало модным изготавливать различные экологически чистые компосты. В США возникло целое направление органического земледелия (*organic farm*). Его приверженцы активно используют компосты в фермерских хозяйствах, стараясь обходиться без минеральных удобрений и пестицидов. В европейских странах

для получения компостов широко внедряются общие для населения способы сбора и переработки бытовых органических субстратов. Считается, что изготовление компоста — экологически чистый процесс, позволяющий, с одной стороны, утилизировать отходы, а с другой — получить органическое удобрение, не используя химикалии.

Однако в ходе изготовления компостов могут развиваться потенциально патогенные плесени, что приводит к весьма неблагоприятным последствиям, особенно для людей, занятых в производстве [6]. В европейских странах используют преимущественно специальные емкости, заготовки собирают централизованно, а сам процесс стараются контролировать.

Увлечение компостами возникло и у нас в годы перестройки. В средствах массовой информации прошла реклама, что применять их — хорошо, а делать — очень просто. И любой хозяин, реализуя смеси органических отходов, может получить весьма неплохие прибыли. Идея такого малого бизнеса воодушевила многих. Однако практически нигде она не осуществлялась профессионально, и уж тем более под микробиологическим контролем. Мне неоднократно приходилось наблюдать бурное развитие опасных плесеней (из группы BSL2) прямо на поверхности компостов в помещениях, где много времени проводили люди, занятые производством.

Никто из работавших, конечно, не представлял, насколько это может быть вредно, хотя плеснево-опасная ситуация прогнозировалась элементарно. Ведь условия такого кустарного производства (закрытое помещение, высокое содержание органического вещества, нейтральная среда, повышенная температура от саморазогревания компостов) способствует развитию ряда потенциальных патогенов, в первую очередь *Aspergillus fumigatus*. Микробиологический контроль и своевременное изменение режимов могли бы снять эти проблемы.

\* \* \*

Итак, высокий уровень антропогенных воздействий, часто способствующий накоплению в окружающей среде вредных плесеней и увеличению количества больных иммунодефицитом, наиболее восприимчивых к возбудителям вторичных микозов, может создать опасную для общества ситуацию. Формирование плесневого риска, на наш взгляд, доказывает необходимость не только санитарного (преимущественно бактериологического), но и микологического мониторинга окружающей среды на территориях с высокой плотностью населения. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 99-04-48126а и 00-15-97886.**

## Литература

1. Muller J. Requirements for establishing a country-wide diagnostic service in medical mycology // International Society for Human and Animal Mycology. 13 Congress, Salsomaggiore Terme, Parma, Italy, June 8—13, 1997. S.94. P.64.
2. Hoog G.S. de, Guarro J., Gene J. et al. Atlas of clinical fungi. Centraalbureau voor Schimmelcultures / Universitat Rovira i Virgili, 2000.
3. Summerbell R.C., Staib F., Ahearn D.G. et al. // J. Med. Vet. Mycol. 1994. V.32. P.277—286.
4. Marfenina O.E. // Zbt. Bakt. 1996. V.285. P.5—10.
5. Почва, город, экология / Под общ. ред. Г.В.Добровольского. М., 1997.
6. Beffa T., Staib F., Fisher J. et al. // Medical Mycology. 1998. V.36. S.1. P.137—145.

# Грибы — биоиндикаторы техногенного загрязнения

А.И.Щеглов, О.Б.Цветнова

**Р**адиоэкологические исследования, проводимые после аварии на Чернобыльской АЭС, выявили парадоксальный факт: грибы, наравне с молоком и картофелем, определяют высокие дозовые нагрузки на население [1]. С чем это связано и какова роль грибов в поступлении в организм человека различных загрязнителей в целом? Ответам на эти вопросы посвящена настоящая публикация, в основе которой лежат результаты многолетней (1986—2001) работы нашей лаборатории [2].

## Особое царство

Грибы занимают особое положение в системе органического мира и выделены в самостоятельное царство живых организмов (Mycetalia или Fungi), имеющих признаки как растений, так и животных. Это обширная группа организмов, которые широко распространены по всему земному шару и встречаются на суше и в водной среде. Богаче всего грибами влажные тропические леса, а в лесах Европы обнаружено более 5 тыс. видов [3]. По своему внешнему виду, строению и размерам грибы весьма разнообразны: существуют организмы как с хорошо развитым,



**Алексей Иванович Щеглов**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией радиоэкологии факультета почвоведения Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Научные интересы связаны с радиоэкологией, биогеохимией, почвоведением. Автор около 200 научных работ, в том числе шести монографий и шести научно-практических руководств по ведению лесного хозяйства и радиационного мониторинга на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.



**Ольга Борисовна Цветнова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — радиоэкология, микология, почвоведение. Автор более 90 научных работ, в том числе трех монографий.

*Авторы — участники ликвидации экологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС (1986, 1988—1999).*

видимым невооруженным глазом плодовым телом (макромицеты), так и микроскопические (микромидцеты). Однако у них есть общие черты. Основой вегетативного тела служит мице-

лий (грибница), представляющий собой систему тонких ветвящихся нитей (или гиф), которые располагаются на поверхности субстрата, где живет гриб, или внутри него. Обычно гриб-

© А.И.Щеглов, О.Б.Цветнова



ница весьма обильна, с большой общей поверхностью, что обеспечивает осмотическое поглощение питательных веществ. По способу питания все грибы — гетеротрофы, т.е. для своего развития нуждаются в готовом органическом веществе.

По той или иной приуроченности к питающему субстрату (одному из основных факторов для гетеротрофных организмов) выделяют так называемые экологические группы грибов. Для макромицетов: **древоразрушающие**, живущие на растительных остатках — мертвой древесине, валежнике; **почвенные сапротрофы**, обитающие на опаде в лесу (или их грибница распространяется в различных слоях почвенной толщи); **микоризообразователи** (симбиотрофы), образующие мико-

ризу (симбиоз корней высших растений с мицелием грибов) с древесными и травянистыми растениями; **копротрофы**, поселяющиеся на экскрементах животных; **карботрофы**, растущие на старых кострищах и пожарищах; **микотрофы**, живущие на других грибах и питающиеся за счет них. Группа высших грибов включает около 100 тыс. видов, среди них более 100 видов съедобных.

### Грибы как продукт питания

Более 2000 лет назад в Древней Греции в качестве продукта питания использовали шампиньоны, сморчки и трюфели. И сегодня грибы играют существенную роль в рационе челове-

ка. Содержащиеся в них ароматические и экстрактивные вещества придают этому продукту неповторимый вкус и аромат. В некоторых странах, например в Польше, годовое потребление свежих грибов составляет до 5—10 кг/чел. [4], а многие государства (в частности, Япония) даже экспортируют их.

И хотя вкусовые качества грибов не вызывают сомнений, взгляды на их пищевую ценность достаточно противоречивы. Некоторые микологи считают, что грибы, содержащие много хитина, очень плохо усваиваются, другие специалисты, напротив, по пищевой ценности приравнивают их к мясу и яйцам. В свежих грибах больше всего воды (84—94%), до 10% жировых веществ, 4—5% белков, в состав которых входят аминокислоты, в том числе и незаменимые. Наиболее полным набором аминокислот (22) обладает белый гриб. Углеводов немного (у них низкая калорийность — всего 250 ккал/100 г сухого вещества), но зато очень богатый минеральный состав. Так, в грибной золе обнаружено более 20 химических элементов, среди которых К — 33—65%, Р — 6—28%, Mg — 2.5%, Са — до 1%; а из микроэлементов — Mn, Li, Zn, Cs, V, Pb, Cu и др., большинство из них входят в состав ферментов и витаминов: А<sub>1</sub>, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, С, D, РР [3, 5]. В целом же химическая характеристика грибов сильно зависит от видовых особенностей, условий произрастания, возраста, а также способа заготовки. Интересно отметить, что даже небольшое количество грибного блюда вызывает ощущение сытости (это качество используется в различных диетах).

По стандартам пищевой и товарной ценности, принятым в Российской Федерации (но отличающимся от таковых в других странах), съедобные грибы делят на четыре категории качества [6]. Выделяют также группы условно-съедобных, несъедобных и ядовитых (табл.1).

Таблица 1

**Категории качества съедобных и группы ядовитых грибов**

Категория, группа	Виды
Съедобные, очень хорошие	Белый гриб, рыжик деликатесный, груздь настоящий, цезарев гриб, царский гриб
Съедобные, хорошие	Подосиновик красный и желто-бурый, подберезовик обыкновенный, масленок зернистый и настоящий, гриб польский, волнушка розовая, груздь дубовый и осиновый, шампиньон луговой и двухспоровый, поддубовик крапчатый
Съедобные, удовлетворительные	Лисичка настоящая, моховик зеленый, некоторые подберезовики, шампиньон обыкновенный, опенок настоящий, сморчок настоящий, многие сыроежки, грузди, рядовки
Съедобные, низкого качества	Вешенка обыкновенная, шампиньон лесной, моховик трещиноватый, груздь перечный, горькушка, груздь черный, трюфель белый, дождевик жемчужный и гигантский, гриб зонтик пестрый, подвишень
Условно съедобные	Строчок обыкновенный, свинушка тонкая
Несъедобные	Желчный гриб, ложноопенок красно-коричневый
Ядовитые	Мухомор поганковидный, шампиньон желтеющий, ложноопенок серно-желтый, болетус розово-пурпурный, сатанинский гриб
Сильно ядовитые	Мухомор пантерный и красный, энтомола ядовитая
Смертельно ядовитые	Мухомор весенний, белый, бледная поганка

В лесах умеренного пояса при благоприятных, в первую очередь климатических, условиях масса плодовых тел может достигать 80–100 кг/га (по многолетним данным — 14,8 кг/га). В целом в лесах России ежегодный урожай оценивается в несколько миллионов тонн, однако заготавливается лишь небольшая часть этих ресурсов, что связано с недостаточными знаниями грибов. Как правило, население в основном собирает не более 15–20 видов и часто пренебрегает весьма ценными в пищевом отношении видами, как например цезарев гриб (*Amanita caesarea*). В разных областях страны сбор и заготовка сильно отличаются и определяются их распространенностью и урожайностью грибов, а также социальными условиями населения. По данным белорусских исследователей, на лесных территориях Восточной Европы в среднем на человека за год потребляется до 6,9 кг свежих и 0,183 кг сухих грибов, при этом моховиков, лисичек, подосиновиков — 0,1, польского гриба, колпака кольчатого — 0,2, подберезовиков, сыроежек, маслят — 0,4, белого — 0,8 кг [6].

### Аккумуляция тяжелых металлов

Многие исследователи отмечают, что грибы интенсивно накапливают тяжелые металлы, более того, к некоторым из них имеют специфическое сродство. Они могут аккумулировать Cd, Cu, Zn, Hg и ряд других элементов [7]. Так, ртути в них может быть в 550 раз больше, чем в субстрате, на котором они произрастают [3]. Виды рода *Leccinum* (обабок), *Macrolepiota* (гриб-зонтик) хорошо поглощают Cd; свинушка тонкая (*Paxillus involutus*), груздь черный (*Lactarius necator*) и дождевик гигантский (*Lycoperdon maximum*) — Cu; виды рода *Agaricus* (шампиньон) и белый гриб (*Boletus edulis*) — Hg. Тяжелые металлы необратимо влия-

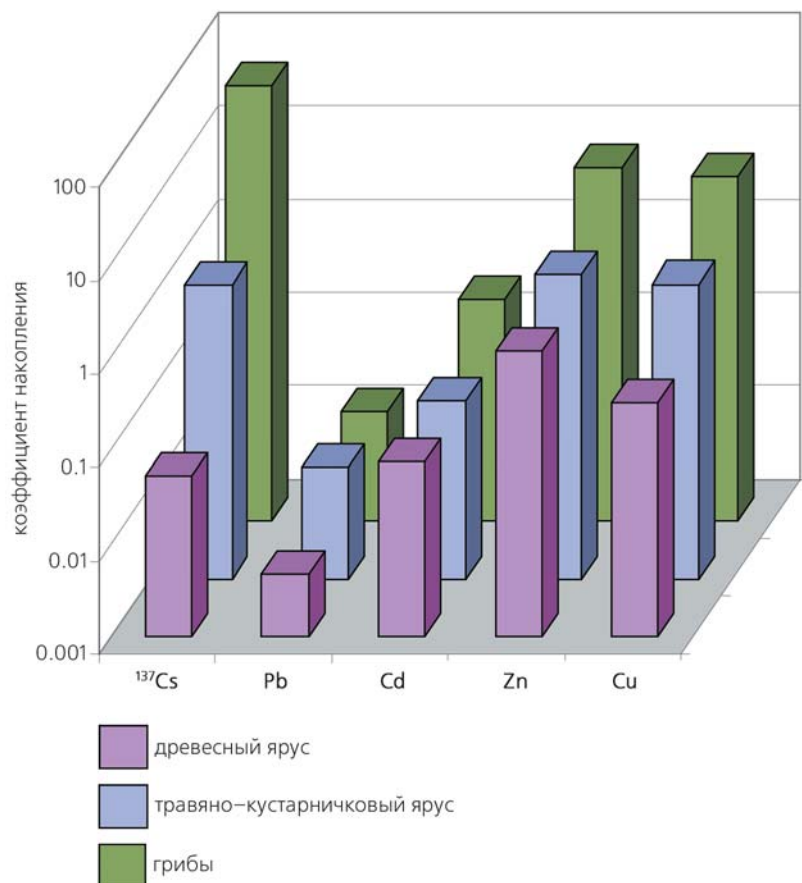
ют на биохимический аппарат грибов, а их употребление приводит к тяжелым отравлениям. Это, возможно, послужило одной из причин известного массового отравления съедобными грибами в ряде областей России в 1992–2000 гг.

Наши исследования показали, что в целом накопление тяжелых металлов, как и радионуклидов, определяется химической природой самого элемента, биологическими особенностями видов грибов, а также условиями их произрастания.

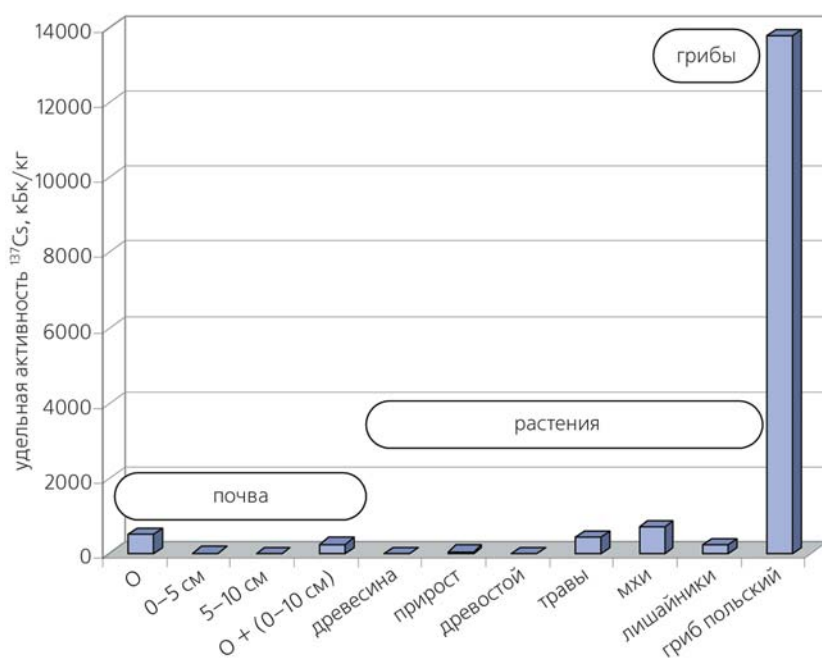
На большей части территории России концентрация тяжелых металлов в почвах соответствует фоновой и для большинства видов близка к нормальной [8]. Однако для некоторых грибов содержание отдельных эле-



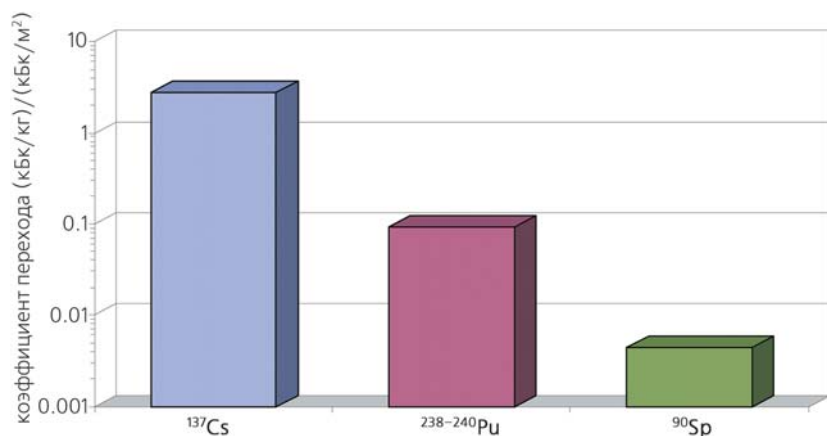
Цезарев гриб (*Amanita caesarea*). Встречается редко и в зрелом состоянии похож на мухомор.



Коэффициенты накопления <sup>137</sup>Cs и тяжелых металлов в различных компонентах биоты соснового фитоценоза (рассчитывали, исходя из содержания элементов в слое 0–10 см)



Удельная активность <sup>137</sup>Cs в различных компонентах биогеоценоза. O — лесная подстилка.



Накопление различных радионуклидов в грибах, произрастающих в пределах одного экотопа. K<sub>n</sub> — коэффициент перехода.

ментов оказывается граничным или превышающим нормальное (Cd — в белом и желчном; Cu — в горькушке; Zn — в белом, горькушке и сыроежке). В этом случае их концентрация в грибах увеличивается в 2–5 раз, а радиоцезия — в 25. Среди элементов-загрязнителей минимальные колебания концентраций характерны для Pb, максимальные — для Cu. Более высокое со-

держание тяжелых металлов в грибах наблюдается в различных по накопительной способности экотопах. Как правило, это тесно связано с наличием в почвах подвижных форм элементов и слабо — с валовым содержанием. Видимо, грибы плохо или совсем не усваивают труднорастворимые формы. Известно, что обменные процессы наиболее интенсивны в шляп-

ках, поэтому и концентрация макро- и микроэлементов там выше, чем в ножках. По мере развития плодовых тел меняется и интенсивность аккумуляции элементов. В молодых плодовых телах их, как правило, больше, чем в старых.

Меньшая концентрация всех тяжелых металлов характерна для сапротрофов, большая — для симбиотрофов. Но поскольку селективность отдельных грибов по отношению к металлам неодинакова, для тяжелых металлов достаточно трудно выделить виды-биоиндикаторы. Так, Pb максимально поглощается желчным грибом; Zn — белым, горькушкой и сыроежкой; Cu — сыроежкой и горькушкой; Cd — белым. Тем не менее в первом приближении можно сказать, что лучшими биоиндикаторными свойствами по отношению к тяжелым металлам обладают горькушка (*Lactarius rufus*) и желчный гриб (*Tylopilus felleus*).

## Аккумуляция радионуклидов

При радиоактивном загрязнении среды грибы играют особую роль, поскольку, с одной стороны, сорбируют ряд радиоизотопов, а с другой — служат продуктом питания. В лесном биогеоценозе они — чемпионы по накоплению радиоактивного цезия [9]. В среднем в грибах концентрация <sup>137</sup>Cs более чем в 20 раз выше, чем в максимально загрязненном слое лесной подстилки и на два-три порядка больше, чем в наименее загрязненной древесине. Установлено, что грибы поглощают радиоцезий гораздо сильнее, чем такой элемент, как калий.

Вместе с тем грибы не отличаются такой способностью по отношению к <sup>90</sup>Sr и изотопам Pu (<sup>238-240</sup>Pu). Коэффициенты перехода (K<sub>n</sub> = отношение удельной активности грибов к плотности загрязнения почв) изотопов Pu в плодовые тела примерно в 100

раз, а  $^{90}\text{Sr}$  — в 1000 раз меньше, чем для  $^{137}\text{Cs}$ . Интенсивность поглощения  $^{137}\text{Cs}$  сильно зависит от плотности и распределения загрязнения по почвенному профилю, от видовых особенностей, в первую очередь от глубины залегания мицелия и условий произрастания. Как показали исследования, меньше всего радиоцезия в древоразрушающих грибах, а больше — в симбиотрофах, причем накопительная способность у видов этой группы различается в 10 и более раз.

Высокая селективность в поглощении  $^{137}\text{Cs}$  и небольшой срок жизни плодовых тел (всего около 10 дней) позволили рекомендовать грибы как биоиндикаторы радиоактивного загрязнения. В первые годы после Чернобыльской аварии к биоиндикаторам относили гриб польский (*Xerocomus badius*), свинушку тонкую (*Paxillus involutus*), горькушку (*Lactarius rufus*) и масленок обыкновенный (*Suillus luteus*). Однако уже тогда полагали, что по мере загрязнения более глубоких слоев почвы среди видов-биоиндикаторов возможны перестановки [10]. Сейчас к биоиндикаторам причисляют желчный гриб (*Tylophylus felleus*) — он аккумулирует  $^{137}\text{Cs}$  в 100 раз сильнее, чем другие виды грибов того же экотопа [11]. Это свойство желчного гриба обусловлено более глубоким расположением мицелия. А вот тонкую свинушку в настоящее время нельзя считать достоверным индикатором, поскольку она относится к двум экологическим группам — сапротрофам на почве и факультативным микоризообразователям. Хотя вначале, когда загрязнение локализовалось в поверхностных слоях, она отлично выполняла эту роль. В последующие годы по мере проникновения загрязнения в более глубокие слои биоиндикатором может стать и белый гриб, мицелий которого расположен достаточно глубоко.

Накопительные свойства грибов определяются также ус-

**Таблица 2**

**Влияние увлажнения на накопление  $^{137}\text{Cs}$  различными видами грибов (плотность загрязнения экотопов 185 кБк/м<sup>2</sup>)**

Вид	Элювиальный ландшафт	Аккумулятивный ландшафт
Опенек настоящий ( <i>Armillariella mellea</i> )	1.52	37.0
Дождевик жемчужный ( <i>Lycoperdon perlatum</i> )	2.11	5.55
Сыроежки ( <i>Russula spp.</i> )	2.29	170.2
Гриб-зонтик пестрый ( <i>Macrolepiota procera</i> )	4.81	8.14
Груздь черный ( <i>Lactarius necator</i> )	8.88	70.3
Свинушка тонкая ( <i>Paxillus involutus</i> )	37.0	777.0

**Таблица 3**

**Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в разных частях плодовых тел грибов (кБк/кг сырой массы) [12]**

Вид	Гименофор	Шляпки	Ножки	Целиком
Горькушка ( <i>Lactarius rufus</i> )	44.5	15.3	19.8	21.6
Зеленушка ( <i>Tricholoma flavovirens</i> )	45.6	11.7	11.8	16.0
Свинушка тонкая ( <i>Paxillus involutus</i> )	56.0	25.8	21.0	29.0
Волнушка розовая ( <i>Lactarius torminosus</i> )	31.4	21.6	17.0	18.0
Подберезовик ( <i>Leccinum scabrum</i> )	45.0	26.5	21.1	32.0

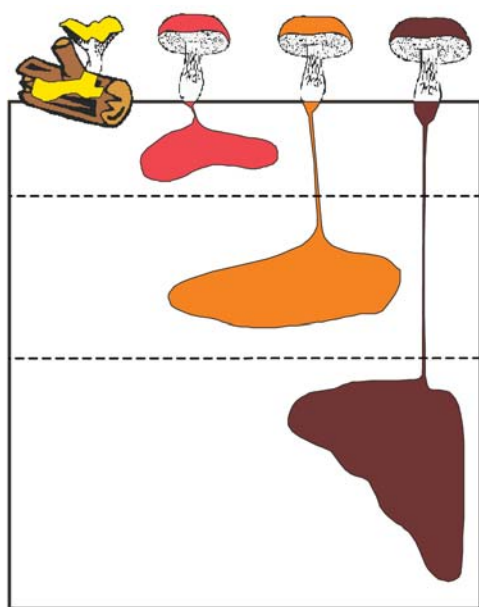
ловиями их произрастания, и в первую очередь степенью увлажнения почв. Так, на увлажненных и переувлажненных лесных почвах (аккумулятивные ландшафты) грибы накапливают радиоактивного цезия на порядок больше, чем те же виды, растущие на автоморфных почвах с глубоким залеганием грунтовых вод (элювиальные ландшафты) (табл.2).

Пространственная неоднородность загрязнения почв и огромные площади, занимаемые грибами, не позволяют достоверно оценить влияние других свойств (мощность лесной подстилки, содержание гумуса, рН солевой и водный, содержание обменных Са, Mg, К) на аккумуляцию  $^{137}\text{Cs}$ . Наиболее тесная связь прослеживается между мощностью лесной подстилки и накоплением  $^{137}\text{Cs}$  грибами [7].

В плодовых телах радионуклиды накапливаются неодинаково. Одни исследователи отмечают, что сильных отличий в концентрации  $^{137}\text{Cs}$  между отдельными частями плодовых тел нет, другие считают, что цезий, как и другие микроэлементы, в большей степени скапли-

вается в шляпках [6, 12]. По нашему мнению, оба эти положения имеют право на существование. У молодых особей различия в удельной активности шляпок и ножек минимальны, они появляются лишь по мере созревания плодовых тел за счет концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в гименофорах (поверхностях, несущих спороспороносный слой) (табл.3).

Какова многолетняя динамика содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах? На этот счет существуют различные точки зрения. По мнению одних исследователей, концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в грибах со временем очень медленно уменьшается, по мнению других — остается почти неизменной, с незначительными вариациями по годам, поскольку радионуклиды аккумулируются в мицелии. В результате длительных наблюдений установлено, что многолетняя динамика накопления  $^{137}\text{Cs}$  грибами меняется в зависимости от физико-химической природы радиоактивных выпадений; климатических и экологических условий (типа почвы и особенностей строения подстилки), а также видовых различий грибов, в частно-



Распределение мицелия грибов (слева) и  $^{137}\text{Cs}$  в почвенном профиле.

Многолетняя динамика  $^{137}\text{Cs}$  в грибах с различной глубиной залегания мицелия.

сти глубины распространения мицелия. Для видов с поверхностным расположением мицелия (например, свинушки тонкой) она снижается в 1.5–6 раз (в зависимости от видовой принадлежности и типа биогеоценоза). Для видов с более глубоким расположением мицелия (желчного и белого грибов) в настоящее время концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в плодовых телах увеличивается. По прогнозам немецких специалистов, к 2011 г. содержание  $^{137}\text{Cs}$  в грибах, мицелий которых в основном расположен в минеральных горизонтах почвы, вырастет на 140%, а в видах с мицелием, находящимся в верх-

них слоях лесной подстилки, уменьшится до 1% от первоначального уровня [13].

### Внутреннее облучение человека

Экспериментальные исследования накопления  $^{137}\text{Cs}$  грибами послужили основой для разработки практических рекомендаций. Съедобные грибы, согласно коэффициентам перехода  $^{137}\text{Cs}$  в плодовые тела, разделили на группы, внутри которых эта величина изменяется в два–четыре раза. К слабонакапливающим в основном относятся ви-

ды из экологической группы дроворазрушающих грибов, а к аккумуляторам — виды-симбиотрофы.

В странах Западной Европы, где радиоактивное загрязнение природных экосистем невелико, а грибы в рационе населения играют значимую роль, дополнительные нагрузки от их потребления составляют примерно 2/3 дозы внутреннего облучения от использованных всех пищевых ресурсов леса [14]. В ряде стран, в частности скандинавских, наблюдаются сезонные пики загрязнения мяса промысловых животных, связанные с потреблением ими грибов.

Слабонакапливающие радиоцезий грибы



Средненакапливающие радиоцезий грибы



Сильнонакапливающие радиоцезий грибы



Грибы-аккумуляторы радиоцезия



Основные виды грибов, отличающиеся по степени накопления  $^{137}\text{Cs}$  [5, 12].

Широкий диапазон плотностей загрязнения лесных почв и содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах, а также отсутствие достоверных количественных показателей их потребления затрудняют оценки дозовых нагрузок на население в регионах России с повышенным радиоактивным фоном. Однако ориентировочные прогнозы показали, что в Смоленской, Тульской, Калужской областях с дву—семикратным превышением радиоактивного фона дозы внутреннего облучения от потребления различных видов грибов колеблются от 0.6 до 3 мкЗв/год. Эти цифры сопоставимы с дозовыми нагрузками, которые имеют любители грибов в странах Западной Европы [11]. На территории ряда районов Брянской обл. с максимальным для России радиоактивным фоном (100-кратным превышением) доля грибов в общей дозе

внутреннего облучения человека составляет 0.2—0.6 мЗв/год. Для работников лесного хозяйства этот уровень может достигать 1 мЗв/год\* только за счет потребления грибов. Кулинарная обработка значительно уменьшает содержание радионуклидов. Так, последовательная варка в течение 15—45 мин с двухкратной (или более) сменой воды снижает концентрацию  $^{137}\text{Cs}$  в грибах до допустимых величин.

Итак, анализ коэффициентов накопления тяжелых металлов и радиоактивного цезия (отношение концентрации элемента в компоненте к концентрации в почве) показал, что в биоте лесного биогеоценоза грибы — самые сильные накопители всех элементов (в особенности  $^{137}\text{Cs}$ ). В травяно-кустарничковой рас-

\* 1 мЗв/год — фоновый уровень облучения человека в нормальных условиях.

тельности и структурных частях древесного яруса этих элементов гораздо меньше. Значит, при употреблении грибов, собранных в загрязненных радионуклидами и тяжелыми металлами лесах, высока вероятность не только внутреннего облучения, но и усиленного воздействия этих элементов на организм человека. Отсюда очевидно, что в условиях техногенного загрязнения наиболее действенная мера — просто не есть собранные в лесу грибы и выращивать их в искусственных условиях. Сегодня современные технологии вполне могут обеспечить всех любителей грибов этим продуктом. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 00-04-48024 и 01-04-48354.**

## Литература

1. *Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др.* Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. М., 2001.
2. *Бурова Л.Г.* Загадочный мир грибов. М., 1991.
3. *Норуна J., Randa Z.* // J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1988. №127. P.107—120.
4. *Вассер С.П.* Съедобные и ядовитые грибы Карпат. Ужгород, 1990.
5. *Барaboшкин А., Карбанович Л., Тушин Н.* // Лесн. и охотн. хоз-во. 2000. №4. С.42—44.
6. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989.
7. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва — растение. М., 1991.
8. *Цветнова О.Б., Щеглов А.И.* //Вестн. МГУ. Сер.17. Почвоведение. 1996. №4. С.59—69.
9. *Gruter H.* // Health Physics. 1971. V.20. P.655—656.
10. *Цветнова О.Б., Шатрова Н.Е., Щеглов А.И.* Накопление радионуклидов и тяжелых металлов грибным комплексом лесных экосистем // Науч. тр. ин-та ядерных исследований. Киев, 2001. №3 (5). С.171—176.
11. *Ипатьев В.А., Багинский В.Ф., Булавик И.М. и др.* Лес. Чернобыль. Человек. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации. Гомель, 1999.
12. *Rubn W., Steiner M., Kammerer L. et al.* // J. Environmental Radioactivity. 1998. V.39. №2. P.129—147.
13. *Jobanson K.J., Nicolova I.* // Proc. of the Intern. Symp. on Radioecology. Vienna, 1996. P.259—265.

# О природе грязевых вулканов

В.Н.Холодов

Грязевые вулканы представляют собой широко распространенное геологическое явление. На нашей планете насчитывается более 1700 надводных и подводных грязевулканических построек. Некоторые вулканы-гиганты, особенно часто встречающиеся на территории Азербайджана, имеют высоту 400–450 м, площадь кратерной площадки достигает 900–1000 м<sup>2</sup>, а общий объем твердых выбросов в момент извержения превышает 2400 млн м<sup>3</sup>.

Обычная грязевулканическая деятельность четко распадается на два периода. Извержения начинаются со взрыва газов в кратере, разрушения кратерной пробки и выхода на поверхность потоков полужидких грязевых брекчий, содержащих большие количества воды, нефти, сероводорода и рассеянных сульфидов. Одновременно из жерла вулкана выбрасываются твердые обломки пород, нередко происходит самовозгорание углеводородных газов.

Извержение, как правило, длится несколько дней, сопровождается землетрясением, мощным подземным гулом. Затем вулкан надолго затихает. На кратерной площадке появляются



**Владимир Николаевич Холодов**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Геологического института РАН. Область научных интересов — геохимия осадочных пород, биогеохимия, грязевой вулканизм. Главный редактор журнала «Литология и полезные ископаемые». Неоднократно печатался в «Природе».

многочисленные сальзы и грифоны (струи и каналы), непрерывно поставляющие на поверхность жидкую грязь, газ, воду, а иногда и нефть. Здесь у каждого источника, пробивающегося на поверхность, отлагается масса плотных глинистых корок, которые постепенно превращаются в миниатюрное подобие вулкана высотой не более 2–3 м. Они встречаются в кратерах в огромных количествах. Так, в кратере вулкана Дашгиль обнаружено 45 подобных построек, в кратере Айрантекияна — 66, а в кратере Отманбоздага даже 85.

Одновременно на стенках конуса начинается окисление и эрозия грязевулканических

построек. Серые и зеленовато-серые глины, содержащие рассеянные сульфиды, окисляются и превращаются в бурые и красновато-бурые породы, обогащенные гидроксидами Fe и Mn. Склоны покрываются сетью глубоких оврагов (барранкосов), радиально расположенных по отношению к кратерной площадке. По ним перемещаются как глубинные воды вулканов, так и атмосферные осадки, временно скапливающиеся в неровностях рельефа.

Таким образом, в грязевых вулканах постоянно чередуются периоды извержения с периодами относительного покоя. Извержения вулканов происходят

© В.Н.Холодов

Полный текст статьи с библиографией и обширным именованным указателем размещен на интернет-сайте: [www.inform.geol.msu.ru](http://www.inform.geol.msu.ru).

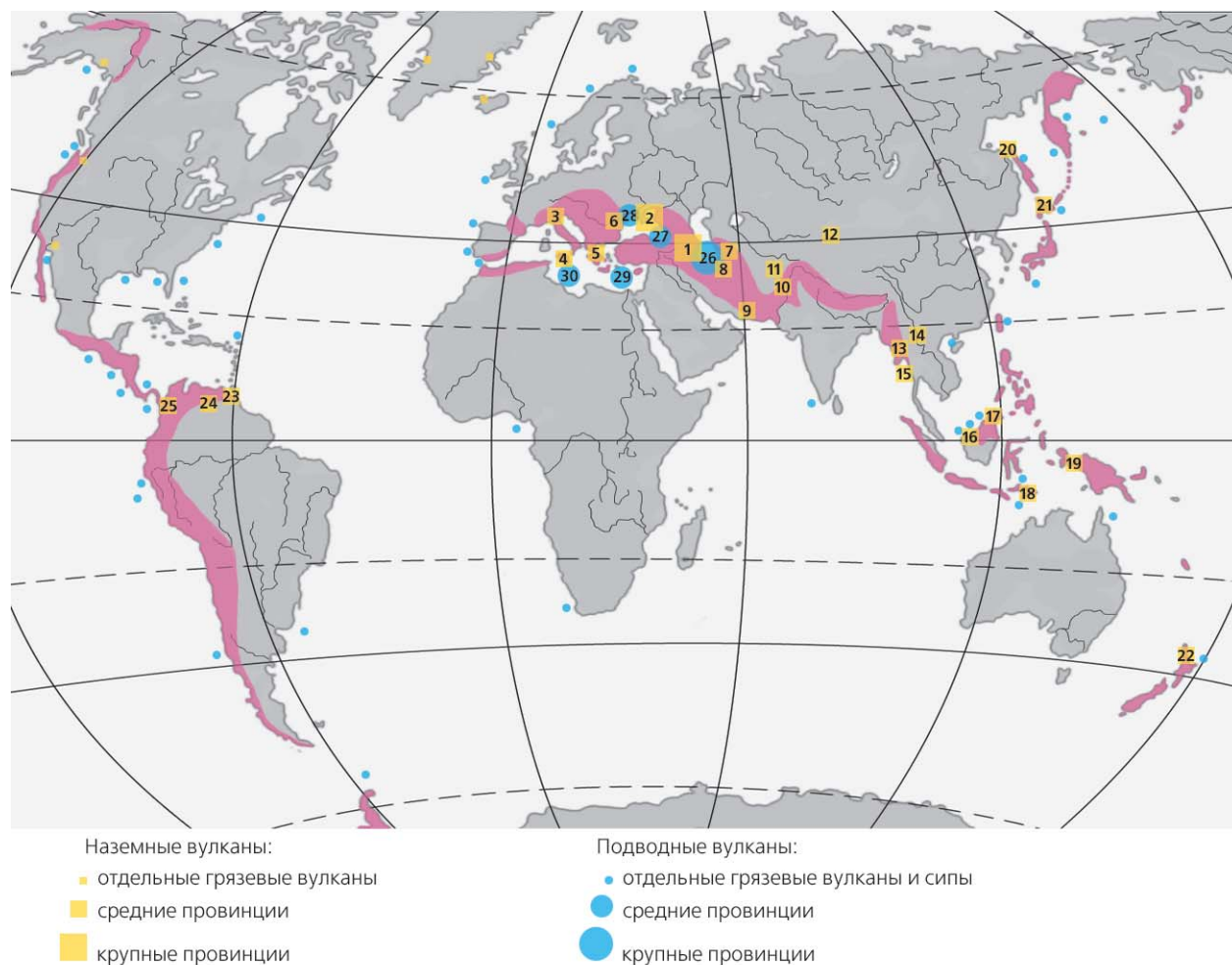


крайне неравномерно. Вулкан Джау-Тепе (Керченский п-ов) с 1864 по 1942 г. извергался семь раз, Туорогай (Азербайджан) с 1841 по 1950 г. — шесть раз, тогда как в течение прошлого столетия зафиксировано только два извержения вулкана Шуго (Таманский п-ов). Впрочем, вполне вероятно, что такая неравномерность грязевулканического процесса объясняется неполнотой выполненных наблюдений.

Грязевые вулканы с древнейших времен привлекали внимание геологов. При объяснении механизма их формирования в начале прошлого века обозначились три главных направления.

Одни исследователи, традиционно развивая идеи Г.В.Абиха, продолжали утверждать эндогенный (магматический) генезис вулканов. Другие геологи, вслед за академиками А.Д.Архангельским и И.М.Губкиным, пред-

лагали тектоническое решение задачи и главным фактором, определившим возникновение грязевых вулканов, считали геодинамику — развитие диапировых складок, пологих надвигов или глубинных разломов. Наконец, наиболее популярным оказалось представление геологов-нефтяников, которые в соответствии со взглядами В.Н.Вебера, К.П.Калицкого, Б.Д.Голубятникова и И.М.Губкина связывали образование грязевых вулканов



Распределение грязевых вулканов. 1 — Апшеронский п-ов, Юго-Западный Гобустан, Нижнекуринская впадина; 2 — Керченский п-ов и Тамань; 3 — Северная Италия; 4 — о.Сицилия; 5 — побережье Албании; 6 — Румыния; 7 — Западно-Туркменская впадина; 8 — Гогранское побережье Ирана; 9 — Макранское побережье Ирана и Пакистана; 10 — районы Белуджистана и Пенджаба в Пакистане; 11 — провинции Ассам и Восточный Пенджаб в Индии; 12 — Джунгария (КНР); 13 — острова Западной Бирмы; 14 — среднее течение р.Иравади (Бирма); 15 — Андаманские о-ва; 16–17 — о.Калимантан (Малайзия); 18 — о.Тимор (Индонезия); 19 — о.Новая Гвинея (Индонезия); 20 — о.Сахалин (Россия); 21 — о.Хоккайдо (Япония); 22 — о.Северный (Новая Зеландия); 23 — о.Тринидад (Тринидад и Тобаго); 24 — Венесуэла; 25 — Северная Колумбия; 26 — Южный Каспий; 27 — восточная часть Черного моря, 28 — западная часть; 29–30 — Средиземное море. Цветом показана зона альпийской складчатости на континентальном блоке Земли.

с формированием и разрушением месторождений нефти и газа. При этом избыточное давление, возникающее в нефтяных залежах и обуславливающее прорыв грязебрекчий на поверхность через вулканические каналы, многие исследователи объясняли избыточным давлением углеводородных газов, сконцентрированных в недрах.

## Закономерности распределения

Грязевые вулканы очень редко бывают одиночными. Чаще они группируются в наземные или подводные провинции. Наиболее крупные сосредоточены в юго-восточной и северо-западной частях Кавказа. В пределах Азербайджана (Апшеронский п-ов, юго-западный Гобустан и Нижнекуринская впадина) закартировано свыше 220 грязевулканических структур. Обычно они связаны с антиклинальными поднятиями, отчасти контролируются тектоническими разломами и иногда пространственно совпадают с крупными нефтяными и газовыми месторождениями [1, 2].

В северо-западной части Западно-Кубанской впадины, на Таманском и Керченском п-овах, располагается еще одна крупная провинция. Здесь зафиксировано свыше 100 грязевулканических проявлений [3, 4].

Местных названий грязевых вулканов очень много. Их именуют сальзами, макалубами, глудурами, болборосами, пыклями (вариетет-пеклами), грифонами, потоссами, морнами, буффами, ярдами, эрвидеросами, намарами, порсугелями.

Среди подводных грязевулканических провинций, пожалуй, самая крупная — Южно-Каспийская впадина. Здесь с помощью эхолотов, геоакустического профилирования и аэромагнитной съемки выявлено более 136 построек. Менее детально изучены провинции Черного и Средиземного моря. В них соответ-

ственно исследовано 25 и 16 грязевулканических сооружений.

Подводные грязевые вулканы широко распространены на шельфах океанов и внешних морей. Также, как и холодные потоки углеводородов (сипы), они обнаружены в пределах западного и восточного тихоокеанского побережий, на шельфах Атлантического океана, Норвежского и Баренцева морей.

Рассматривая закономерности распространения грязевых вулканов на континентах, а также в морях и океанах, нетрудно прийти к выводу, что большинство провинций отчетливо тяготеет к альпийской зоне складчатости. При этом главная арена, где проявляется грязевой вулканизм, — предгорные и межгорные впадины, в которых накапливаются мощные (10—20 км) толщи терригенно-глинистых кайнозойских отложений. Обычно области распространения грязевых вулканов совпадают с наиболее крупными нефтегазосносными бассейнами и соответствующими им элизионными\* системами [5, 6]. Наконец, следует подчеркнуть, что в грязевулканических провинциях широко развиты мощные глинистые толщи и зоны сверхвысоких пластовых давлений флюидов.

## Морфогенетическая типизация

Если использовать данные, характеризующие более 500 наземных и подводных грязевых вулканов Крымо-Кавказского и Южно-Каспийского регионов, то можно выделить среди них ряд морфогенетических типов.

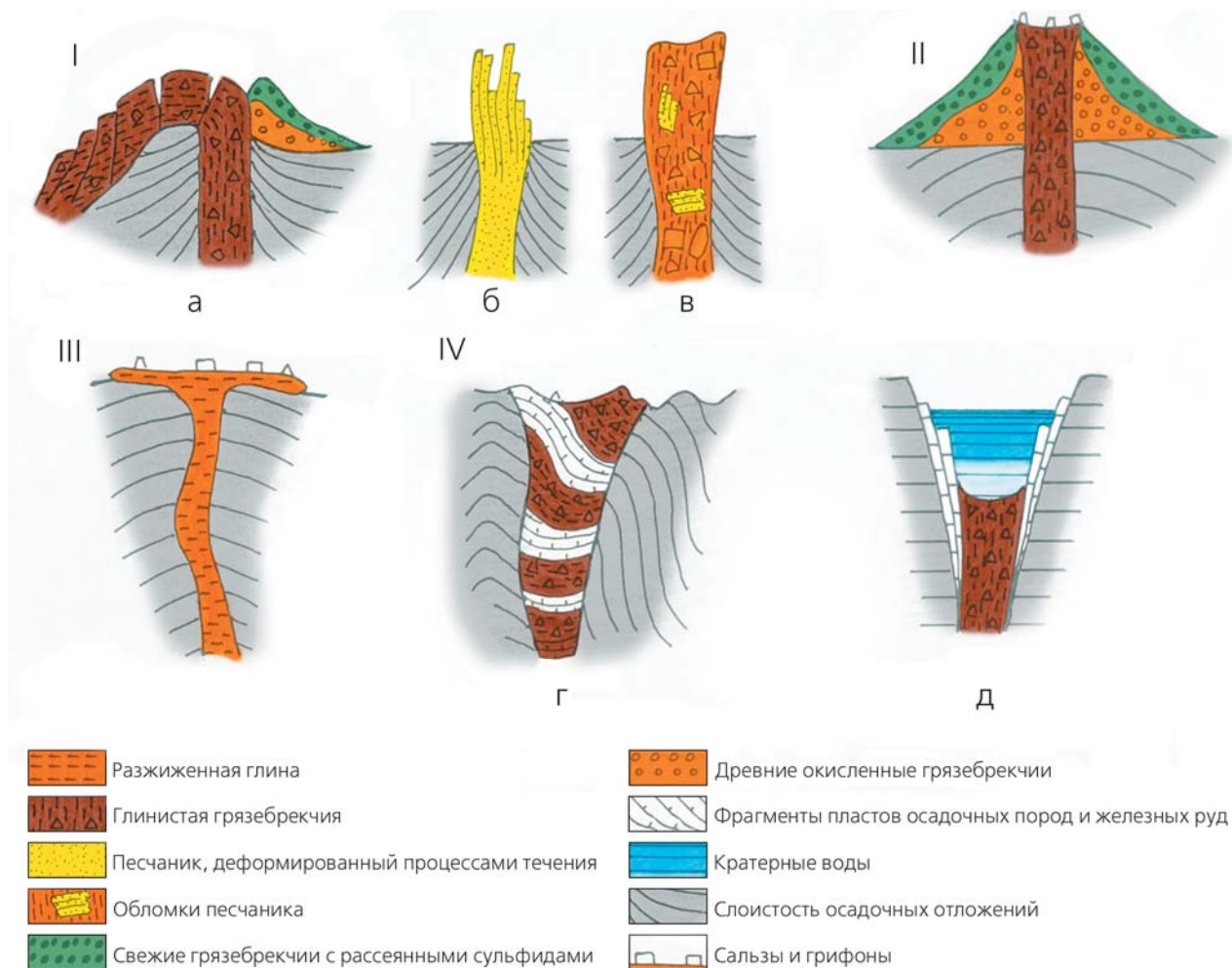
**К первому типу** построек относятся диапировые образования. Обычно это крупные вулканы, в которых грязевулканическая брекчия отличается вяз-

кой консистенцией и выдавливается из кратерного канала, формируя столбообразные нечки. Типичный пример — вулкан Разнокол, расположенный на левом берегу старой протоки р.Кубань, вблизи с.Юрьево. Здесь непосредственно из-под заросшей травой почвы, без каких-либо других проявлений грязевулканической деятельности, выдавливается огромное колбасоподобное тело высотой 2—3 м и шириной 15—20 м. Сползая вниз по откосу, вязкая масса разламывается на блоки и формирует гигантский оползень длиной 1.5 км и шириной 50—100 м. Он под прямым углом пересекает крутой левый берег протоки. В плотной глине встречены редкие обломки пород размерами от 0.50×0.70 до 1.5×3 м<sup>2</sup>, сложенные песчаниками, карбонатами и сидеритовыми конкрециями. По Е.Ф.Шнюкову, выдавливание диапира осуществляется неравномерно. В одних частях оно определено в 12 см/мес, в других — до 75 см/мес.

Скорость выдавливания глинистых грязебрекчий в сходном с Разноколом вулкане Котур-Даг оценивается в 1.2—1.5 м/мес. Наши замеры в 1987 г. позволили рассчитать ее величину в 1.0 м/мес.

Существенно отличается от Разнокола и Котур-Дага грязевой вулкан Кобек, расположенный на своде одноименной антиклинали, в 1.0—1.5 км северо-восточнее Боя-Дага (Западная Туркмения). Его нечка похож на так называемые шайтанские сады. Обычно это округлые в плане участки размером 10×5 или 25×30 м<sup>2</sup>, в пределах которых сконцентрировано большое количество вертикальных труб из карбонатного песчаника высотой до 1.5—2.0 м, а диаметром — от 1.0 до 25—30 см. Они часто сливаются между собой, образуя сооружение, похожее на орган, но нередко обособлены и тогда похожи на редкие стволы деревьев в вырубленной роще. Высота нечка достигает 5—12 м.

\* Элизия — процесс погружения осадочных толщ в глубь стратисферы, уплотнение глинистых отложений и выдавливание из них воды, нефти и углеводородных газов.



Морфогенетические типы грязевых вулканов Крыма, Кавказа и Западной Туркмении. I — диапиры: а — глинистый, б — песчаный, в — конгломератоглыбовый; II — конусовидные постройки из покровов грязебрекчий; III — вулканы, образующие полужидкий покров; IV — провал грязевулканической постройки: г — вдавленная синклираль, д — кратерное озеро.

Посущество столбообразное тело в жерле грязевого вулкана представляет собой песчаную кольматацию\*, окаменевшую вследствие дегазации и падения давления  $\text{CO}_2$ . Формирование подобных систем трубок скорее всего следует связывать с многократным продавливанием жидкой песчаной пульпы сквозь проницаемую песчаную или глинистую пробку в жерле вулкана. Само же образование трубы, несомненно, следствие быстрого падения давления в газо-

\* Кольматацией принято называть пробку, возникающую в результате выпадения в осадок компонентов из циркулирующих по трубам растворов.

водном флюиде, содержащем много растворенных карбонатов. Об этом свидетельствует наличие тонких каналов, фиксирующих движение газов в центре трубок, и частые переходы последних в причудливые конкреционные тела.

По сути своей процесс тождествен формированию инъекционных пластических, песчаных даек, разновидности которых были описаны в Азербайджане, Восточном Предкавказье, на Челекене и в Западной Туркмении.

Кара-Бурун (Черный Нос) — неск грязевого вулкана Боядаг — представляет собой каме-

нистый усеченный конус с почти отвесными стенками; высота его достигает 30—40 м, а диаметр основания 20—30 м. Он осложняет присводовую часть Боядагской антиклинали и является хорошим географическим ориентиром в Западно-Туркменской впадине.

Ко второму типу грязевых вулканов относятся постройки, возникающие за счет периодического поступления на поверхность полужидких масс грязебрекчий. Во время извержения они растекаются от кратера к периферии вулкана, надстраивая его и увеличивая таким образом объем концентрически постро-



1



2



3



4

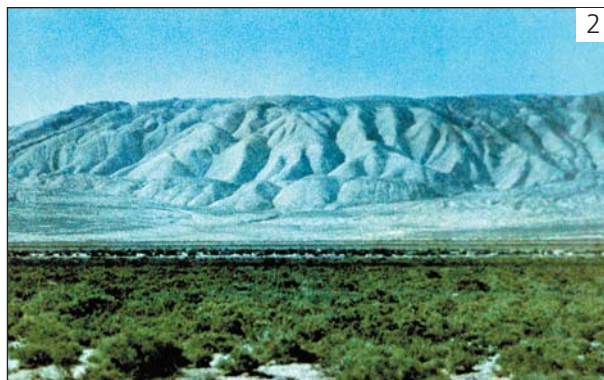
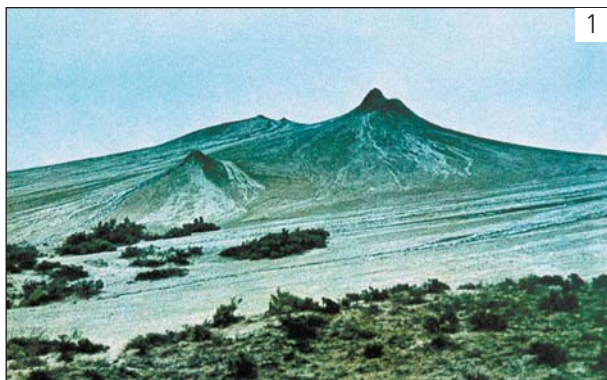


5



6

Некки диапировых грязевых вулканов. Вулкан Разнокол (Тамань): 1 — глиняный диапир; 2 — средняя часть грязебрекчиевого оползня; 3 — блоки грязебрекчий в средней части оползня; 4 — вулкан Кобек, «шайтанские сады» Челекена (Западная Туркмения); 5 — вулкан Боя-Даг (Западная Туркмения); 6 — некк Кара-Буруна.



Морфология грязевых вулканов. 1 — вулкан мыса Аляты (Азербайджан); 2 — вулкан Туорогай (Азербайджан); 3 — кратерная площадка и сальзы вулкана Дашгяль (Азербайджан); 4 — действующая сальза вулкана Шуго (Тамань); 5 — Булганакское поле (Керчь, Крым); 6 — озеро вулкана Розовый Порсугель (Челекен).

енного конуса. Размеры таких грязевых вулканов достигают 30—40 м в высоту и 0,5 км<sup>2</sup> в основании, а в отдельных случаях — 400—420 м в высоту и 20—25 км<sup>2</sup> в площади основания.

Кратерные площадки грязевых вулканов второго типа обычно осложнены многочисленными сользами и грифонами. Они постоянно выделяют воду, жидкую грязь, газовые пузыри и пленки нефти. Общий вид их весьма экзотичен, и, группируясь, они напоминают лунный ландшафт.

К третьему типу следует отнести вулканы, в которых вместо грязевулканических сооружений образуются солончаки, заболоченные участки с лужами жидкой грязи, занимающие большие площади и практически не возвышающиеся над окружающим рельефом. Такое грязевое болото обычно бывает осложнено небольшими (несколько метров в высоту) сользами или грифонами. Из них постоянно изливается жидкая грязь, вода, реже нефть.

Характерный пример этой группы — Булганакский грязевулканический очаг, находящийся в 8—10 км севернее г. Керчь, восточнее оз. Чокрак, на южном крыле Бондаренковской антиклинали, в непосредственной близости от берега Азовского моря. Он занимает площадь в 4 км<sup>2</sup>, причем в его центре расположен огромный солончак глубиной более 25—30 м, который непрерывно бурлит и поставляет на поверхность более 100 м<sup>3</sup>/сут углеводородных газов и около 5 тыс. л жидкой грязи. В северной части очага располагаются сопки Андрусова, Павлова, Тищенко, Аби-ха, Вернадского, в южной — Обручева, Булганак и Ольденбургского, а на западе — Трубецкого и Шилова. Самая крупная сопка Андрусова возвышается над местностью на 5—7 м, имеет диаметр основания 300 м и кратерную площадку 50 м. Геологическое строение района под Булганакским полем грязебрекчий во

многом неясно. Е.Ф.Шнюков предполагает здесь существование вдавленной синклинали, которая скрыта мощным чехлом сопочных брекчий.

**Четвертый тип** грязевых вулканов представлен вдавленными синклиналями Керченского п-ова и порсугелями Челекена. Обычно это крупные и округлые впадины диаметром более 200—300 м, расположенные на относительно ровной поверхности и окруженные кольцевыми разломами. Центральные части впадин заняты водой, которая местами пузырится от поступающих снизу газов.

Вдавленная синклиналь — грязевулканическая структура второго порядка, как правило, осложняющая присводовую часть антиклинали. Здесь по разломам, ограничивающим жерло, осуществляется опускание части грязевулканической постройки, в которой чередуются сопочные брекчии и нормальные осадочные отложения. Такие провалы особенно типичны для грязевых вулканов и складок Керченского п-ова.

Еще в позапрошлом веке Н.А.Головкинский предположил, что такие вторичные опускания связаны с извержением большой массы грязебрекчий и соответствующей убылью пород на глубине. В настоящее время принято считать, что грязевой вулканизм обеспечивает избыток грязебрекчий на поверхности и дефицит ее на глубине. Вследствие создавшейся ситуации начинается формирование кольцевых разломов и грабенов, провоцирующих опускание нормально залегающих осадочных отложений, грязебрекчий и оползней.

Описанные типы грязевых вулканов одновременно можно рассматривать как разные стадии единого процесса, поскольку нередко в результате очередного извержения на месте крупной постройки может образоваться озеро, а вместо крупного озера — возникнуть новый конус вулкана.

В целом грязевулканические процессы реализуются не только при избытке давлений в недрах, но и при их дефиците. Этот вывод существенно ограничивает представления о механизме формирования грязевых вулканов и заставляет серьезно задуматься о расположении, строении, состоянии и преобразованиях очага, питающего вулкан.

## Корни грязевых вулканов

Систему вертикальных и наклонных каналов, по которым на поверхность поступает масса грязебрекчий разной консистенции, воды, жидких и газообразных углеводородов, других компонентов, в геологической литературе принято называть корнями грязевых вулканов. Глубины, на которые проникают корни, определялись несколькими независимыми методами.

С помощью сейсмического профилирования глубина их проникновения установлена в Западной Туркмении и в Южно-Каспийской впадине. В первом районе, по данным А.М.Сунгурова, она оказалась равной 5—7 км, во втором — Л.Н.Лебедев и Л.С.Кулакова обнаружили корни вулканов на глубине 9 км. Так как мощность осадочного чехла и в том и в другом случае колеблется от 14 до 20 км, можно определенно утверждать, что корневая система вулканов не выходит за пределы стратисферы — осадочной и вулканогенно-осадочной оболочки Земли.

Косвенные, но очень интересные данные о генезисе грязевых вулканов можно получить путем исследования состава газов, участвующих в процессах извержений или поступающих на поверхность в результате сользово-грифонной деятельности. Результаты многочисленных определений газов вулканов Кавказа, Туркмении и о. Сахалин (см. табл.) позволяют заключить, что в них преобладает метан. Количество азота и тяже-

**Таблица**

**Химический состав газов грязевых вулканов \***

Регион	Количество анализов	Количество вулканов	Состав газов,% (объемн.)						
			CH <sub>4</sub>	Тяжелые углеводороды	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar+Xe+Kr	He+Ne	
I	Прикаспийско-Кубанская область п-ов Апшерон	10	6	84.5–95.3	0.0–1.73	0.01–5.00	3.0–9.36	0.021–0.49	0.004–0.33
				90.9	0.52	2.72	5.52	0.26	0.012
	Прикуринская область	25	24	90.9–99.8	0.0–1.5	0.20–8.6	0.0–8.20	0.006–0.068	0.001–0.016
				96.0	0.561	2.65	0.98	0.031	0.007
				87.0–99.1	0.0–4.70	0.10–7.10	0.0–3.0	0.010–0.073	0.001–0.022
Шемахино-Кобыстанский район	55	15	95.0	1.04	2.0	1.01	0.042	0.005	
			86.1–99.6	0.0–0.98	1.0–9.92	0.0–3.40	0.002–0.178	0.0009–0.018	
Прибалхашская зона	95	42	95.8	0.227	2.36	0.93	0.065	0.010	
			85.6–98.3	0.0–6.68	0.43–5.2	0.0–5.84	0.007–0.02	0.003–0.008	
II	Кеймир-Чикимлярская зона	67	7	93.3	2.49	1.05	2.25	0.015	0.005
				85.3–96.1	0.0–2.25	0.3–10.46	0.74–5.59	0.01–0.04	0.002–0.006
III	Керченский п-ов	120	11	91.3	1.14	4.02	3.00	0.022	0.004
				8.1–99.0	0.0-следы	0.0–91.7	0.0–6.30	0.004–0.087	<0.001–0.014
	Таманский п-ов	110	17	79.3	следы	18.52	0.98	0.023	0.004
61.1–99.4				0.0-следы	0.0–37.0	0.0–7.8	0.001–0.069	<0.001–0.014	
IV	Пугачевский район	16	2	90.1	следы	9.32	1.21	0.025	0.004
				61.4–83.0	следы	12.7–27.72	1.7–13.07	0.016–0.033	0.001–0.007
	Южно-Сахалинский район	10	1	67.63	следы	22.59	8.3	0.024	0.004
28.0–47.84				следы	42.74–70.5	1.5–9.2	0.007–0.016	0.002–0.007	
				38.99		56.39	4.6	0.012	0.004

\* Данные А.А.Якубова, Б.В.Григорянца, Ад.А.Алиева, 1980; И.М.Сырык, 1968; С.Д.Гемп и др., 1970.

В числителе дроби – пределы содержания компонента, в знаменателе – среднее значение.

I – Азербайджан, II – Западно-Туркменская впадина, III – Керченско-Таманская зона, IV – о.Сахалин.

лых углеводородных газов невелико, а инертные аргон, ксенон и криптон присутствуют лишь в долях процента.

В отличие от грязевых истинные, или магматогенные, вулканы практически не выделяют метан. В их газовой фазе накапливаются хлориды, углекислота, азот, сероводород, сернистый газ и даже фториды.

В последнее время геохимические исследования газовой фазы грязевых вулканов дополнились изотопными исследованиями. Работами В.Ю.Лаврушина с коллегами доказано отсутствие в природных газах мантийного гелия, что, по мнению авторов, однозначно указывает на коровый источник всех газовых составляющих (включая углеводороды) и их генетическую связь с осадочными толщами.

Глубину корней многие исследователи пробовали установить по стратиграфической привязке твердых выбросов,

в том или ином количестве всегда присутствующих среди грязевых выбросов. Предполагалось, что возраст самых древних включений должен соответствовать максимальной глубине проникновения корней вулканов в осадочный чехол.

Если следовать чисто формальным построениям, то можно думать, что корни грязевых вулканов Керченского п-ова не опускаются глубже миоценовых отложений, а вулканов Тамани и Западно-Кубанской впадины прослеживаются в эоцен-палеоценовых толщах и даже в мелу.

Корни же большинства грязевых вулканов Азербайджана связаны с меловыми и палеоген-миоценовыми отложениями. Однако по направлению к центру Южно-Каспийской впадины они переходят в более молодые плиоцен-четвертичные отложения.

В этой условной схеме большие сомнения вызывает мело-

вой возраст наиболее глубоко проникающих корней вулканов. Дело заключается в том, что во многих районах Юго-Восточного и Северо-Западного Предкавказья в палеогеновых отложениях широко развиты олигоцен-миоценовые горизонты, в которых глины содержат обломки меловых пород. Одни исследователи рассматривают их как палеогеновые фации береговых обвалов и оползней, другие – как тектонические брекчии или горизонты с включениями.

Каков бы ни был механизм образования олигоцен-миоценовых горизонтов, ясно одно: в них широко распространены обломки меловых известняков, поступивших сюда в более позднее время, когда меловые карбонатные формации уже сформировались. Захваченные в момент извержения грязевого вулкана и вынесенные на поверхность, они заставляют сильно «удревнять» привязку корней вулканов.

Скорее всего, корни грязевых вулканов Азербайджана, Тамани и Западно-Кубанской впадины не опускаются ниже глинистых отложений майкопа. Что же касается Южно-Каспийской впадины, то здесь они, по видимому, связаны с глинистыми плиоцен-четвертичными толщами.

В целом, данные по привязке твердых включений грязебрекчий к стратиграфической шкале региона хорошо согласуются с геофизическими и геохимическими данными.

### Строение и механизм образования грязевулканических очагов

Скопления грязевых вулканов тяготеют к нефтегазоносным впадинам альпийской зоны складчатости, в которых накапливаются терригенно-глинистые осадочные отложения и формируются мощные толщи глин со сверхвысокими пластовыми давлениями флюидов (СВПД). Грязевулканические провинции Крымо-Кавказского и Кавказско-Каспийского регионов не являются в этом отношении исключением.

Действительно, в пределах Керченского п-ова мощность майкопских глин достигает 1500 м, в Прикаспийско-Кубанском и Шемахино-Кобыстанском районах мощность майкопских и подстилающих их конских глин — 2000 м, а на Апшероне — 1600 м. Для всех этих районов особенно типичны огромные СВПД.

Нам представляется, что избыточные давления флюидов в мощных толщах глин формируются как правило за счет фазовых преобразований глинистых минералов в области высоких температур (и давлений), и в первую очередь — иллитизации смектитов (т.е. преобразования минералов группы монтмориллонита, обладающих высокой способностью к катионному об-

мену и содержащих 12–26% воды, в гидрослюды — группу трехслойных слюдоподобных минералов, имеющих сложный переменный химический состав и содержащих 8–9% воды).

Посмотрим на последний рисунок. В его верхней части приведен макет образования зоны разуплотнения и сверхвысоких поровых давлений в глинах. Мощный пласт преимущественно смектитовой глины опускается в глубь осадочного элизионного бассейна, последовательно занимая положение А, Б, В, Г по отношению к зоне критических температур и давлений, ниже которой смектитовая фаза существовать не может.

Процесс, реализующийся при фазовых превращениях глинистых минералов, изображен в левой части рисунка. Здесь показано, как блоки смектитовой глины (1,2,3,4) при погружении превращаются в иллитовые (1,2,3,4), уменьшаясь в объеме и выделяя кристаллизационную воду в зоне критических температур и давлений. Вблизи от границы иллитизации закладывается зона разуплотнения глин — пласт, в котором иллитовые блоки взвешены в выделившейся кристаллизационной воде.

Глубже новообразованные блоки сближаются под действием возросшего геостатического давления, и вся поровая вода отжимается вверх, в зону разуплотнения. Иллитовая глина уплотняется, а над ней возрастает поровое давление жидкости — в зоне разуплотнения образуется область СВПД.

Ширина зоны разуплотнения глин и величина пластовых давлений в ней в значительной степени зависят от мощности преобразуемой толщи и от ее положения по отношению к границе критических температур и давлений. Изначально эта зона и СВПД сравнительно невелики. Но по мере того, как опускающаяся в глубь стратисферы глинистая толща все больше охватывается иллитизацией, область

разуплотнения становится все мощнее, а СВПД — возрастают.

Процесс по сути своей в какой-то степени напоминает зонную плавку, предложенную А.П.Виноградовым и А.А.Ярошевским для объяснения значительных масс гранитной магмы, выплавляющейся из мантии.

Структурно-геохимическое изучение глин позволяет предположить, что мощность зоны разуплотнения может достигать 400–500 м [7].

В реальных условиях элизионных систем предложенная идеализированная схема фазовых превращений глинистых минералов существенно усложняется [8].

При погружении глинистых толщ в глубь осадочного бассейна и иллитизации смектита рост поровых давлений прекращается, когда в область СВПД попадает разлом, вертикальная зона трещиноватости или песчаный пласт-коллектор. Тогда поровые флюиды, накопленные в зоне разуплотнения, устремляются в поровые пространства песков или уходят по плоскости разломов, а поровые давления в глинах падают до обычных для данных глубин.

При существенной разнице поровых давлений в глинах и коллекторах могут, по видимому, возникать коллизии, существенно меняющие текстуру и характер залегания не только глин, но и других осадочных пород в разрезе. В нижней части схемы приводится один из механизмов формирования кластических даек и горизонтов с включениями. Когда пласт I входит в область разуплотнения и СВПД, он превращается в плавун. Пластичности песчаника и глины выравниваются, и они деформируются как весьма сходные породы.

Иногда перепад поровых давлений в глинах и песчаниках настолько велик, что их соприкосновение приводит к гидроразрывам. Под огромным давлением разжиженный песок инъецируется в трещины, заполняет их и после декомпрессии це-



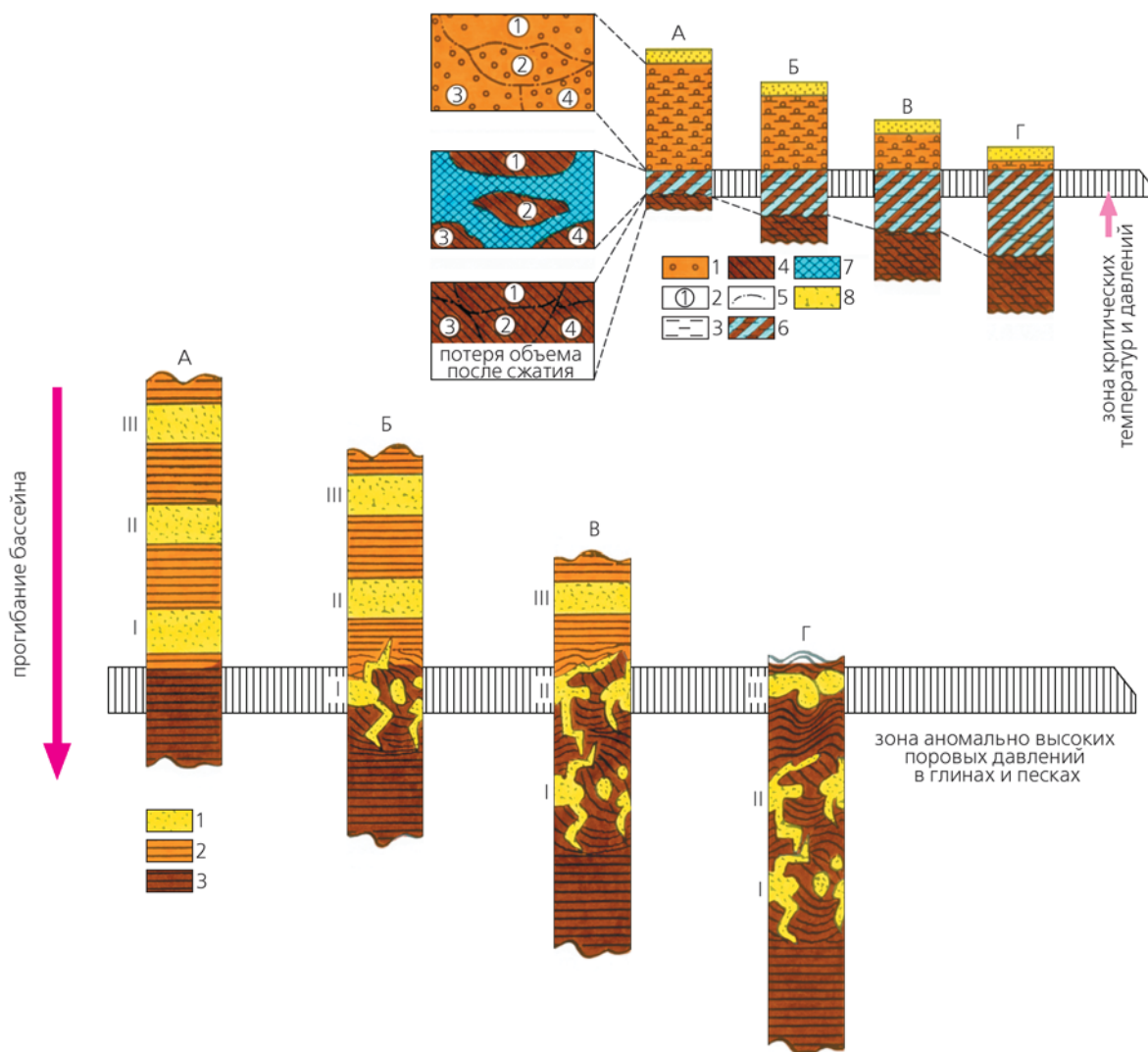


Схема фазового преобразования глин, формирования сверхвысоких пластовых давлений (СВПД), текстур песчаного диапризма и очагов грязевых вулканов. Вверху — модель формирования СВПД и зоны разуплотнения в смектитовых глинах. 1 — смектитовая глина; 2 — иллитовая; 3 — кристаллизационная вода в порах зоны разуплотнения; 4 — микроблоки глинистого материала; 5 — границы микроблоков; 6 — песчаники; 7 — глина; 8 — формирующаяся зона разуплотнения и СВПД. Цифры в кружках — блоки смектитовой глины, превращающиеся в иллитовые. Внизу — схема образования текстур песчаного диапризма (пластических даек и горизонтов с включениями) и очагов грязевых вулканов. 1 — песчаники, 2 — глины нормально залегающие, 3 — деформированные. I—III — пласты песчаников в глинах. А, Б, В, Г — положение разреза по отношению к зоне гидрослюдизации, разуплотнения и СВПД.

ментуруется компонентами, растворенными в пульпе.

Именно так формируются песчаные дайки, горизонты с включениями, диапировые апофизы и др. Они нередко ассоциируются с грязевыми вулканами, и это приводит к мысли, что в очаг подобных образований помимо разжиженных флюидами глин могут входить и раз-

жиженные пески-пльвуны. Их проявления особенно типичны для грязевых вулканов Туркмении, где грязебрекчии часто содержат песчаники самой причудливой формы.

Таким образом, очаг грязевого вулкана представляет собой тело, сложенное глинами, реже — песками, которые часто содержат большое количество

твердых обломков вмещающих пород и разжиженных гомогенизированными газоводными флюидами (водой, нефтью, газом разного состава). Оно формируется на больших глубинах за счет саморазвития элизионных систем и при благоприятных обстоятельствах питает корни грязевулканических построек.

Потенциальные возможности таких грязевулканических очагов хорошо раскрываются при исследовании аварий нефтяных скважин. Очень распространенный случай описан А.Г.Дурмишьяном и Н.Ю.Халиловым. Бурение скважины 42 на грязевом вулкане Дашгиль (Бакинский архипелаг) завершилось тем, что из забоя была выброшена вся колонна бурильных труб длиной в 2500 м, которая оказалась кольцеобразно уложенной вокруг буровой вышки. Значительно чаще инструмент вытеснялся пластичной глинистой массой, напоминавшей грязебрекчии, а затем эти скопления грязи выдавливались из ствола скважины наподобие диапира.

Другие случаи связаны с так называемыми буйными скважинами, широко распространенными в США (штаты Техас и Луизиана), а также в Бакинском архипелаге. Аварии сопровождались внезапными выделениями большого количества воды и газа, провалами буровых вышек и образованием округлых воронок диаметром 200—250 м. В течение длительного времени после аварии (8—10 лет) вода выносила на поверхность огромное количество глинистого материала.

Различия между этими крайними случаями заключаются в составе и строении грязевулканического очага и условиях его вскрытия скважинами. В первом — грязевулканический очаг реагировал на введение в него забоя скважины как единое тело, стремившееся занять больший объем, а в других — из него удалялись вода и газ, падало давление, образовывалось свободное пространство в недрах, а около устья скважины сформировалась кальдера обрушения и произошло проседание пластов.

Эти два разных вскрытия очага грязевого вулкана скважинами до некоторой степени аналогичны формированию крайних морфогенетических типов грязевых вулканов в предложен-

ной типизации. Первый случай сходен с образованием диапировых вулканов и вулканов с мощными грязевулканическими постройками, а остальные — с вдавленными синклиналиями, всегда близкими по форме к кальдерам обрушения.

Очаги грязевулканической деятельности можно рассматривать как разжиженные линзовидные слои-волноводы, залегающие согласно напластованию, но местами пересекающие стратиграфические границы. В тех местах, где они сталкиваются с трещинами и разломами, образуются ответвления — собственно корни грязевых вулканов, выше сменяющиеся жерловыми грязебрекчиями, а уже на поверхности — полями кратерных и сопочных грязебрекчий.

## Динамика развития

В развитии подавляющего большинства грязевых вулканов можно отчетливо различить три стадии:

- формирование грязевулканического очага, обусловленное особенностями эволюции элизионной системы;

- извержение грязевого вулкана, в значительной степени отражающее состав и условия залегания грязевулканического очага;

- возникновение пассивной грифенно-сальзовой деятельности, видоизменяющей последствия этого извержения и подготавливающей новый катаклизм.

**Первая стадия** протекает на фоне аккумуляции терригенно-глинистых отложений, углубления впадин и поступления флюидогенерирующих глин в области повышенных температур и давлений. Первичные свойства захороняемых глин определяют те соотношения компонентов во флюидах очага, которые играют большую роль в определении типа извержения и даже морфогенетического типа грязевого вулкана. В этом отношении грязевой вул-

канизм очень похож на лавовый, в котором, как известно, кислотность-щелочность магмы и коэффициент эксплозивности определяют особенности извержения и характер вулканической постройки.

Большое значение играет величина суммарного СВПД, возникающего в очаге. Она, как и компонентный состав флюидов, зависит от первичных палеогеографических, седиментационно-диагенетических, фациальных и тектонических условий залегания глинистых пород.

В целом формирование очага направлено в сторону интеграции и гомогенизации твердых, жидких и газообразных компонентов и в условиях закрытой физико-химической системы создает отличную от вмещающих отложений потенциально активную и подвижную среду слоя-волновода.

**Вторая стадия** начинается вскрытием грязевулканического очага системой разломов и трещин, в результате чего закрытая физико-химическая система переходит в открытую. Этот процесс сопровождается фазовой дифференциацией вещества и одновременным движением масс от очага к поверхности. Главный фактор, регулирующий извержение, — падение давления, связанное с таким перемещением. Снижение давления интенсивно воздействует на пластичность разжиженных глин. Как известно, уменьшение его превращает полужидкую массу в плотное глинистое тело.

Большую роль во время извержения играет потеря газовой составляющей. Она изменяет свойства остаточного раствора и нередко приводит к образованию аутигенных минералов. Так, например, потеря газообразного  $\text{CO}_2$  вблизи поверхности смещает карбонатные равновесия в сторону выпадения твердой фазы карбонатов. Последние цементируют до этого подвижные пески-пльвуны, образуя пробки-кольматации, перекрывающие грязевулканичес-

кий канал. Многократное повторение осаднения карбонатов и продавливание сквозь пробку газодных песчаных пльвунов может создать целую систему карбонатных песчаных труб.

Потеря метана способствует концентрации тяжелых углеводородов и формированию цементирующих пески битумоидных и асфальтовых образований.

Большое значение при извержении грязевого вулкана имеет и поведение воды. Ее резкое выделение из грязебрекчий и уход по каналу к поверхности может вызвать эффект «бешеной скважины», способствовать образованию дефицита массы на глубине и возникновению кальдеры проседания вокруг кратера.

Иногда запечатывание каналов вулкана происходит чисто механическим путем. В них могут застрять захваченные грязевым потоком обломки размерами до 5–10 м<sup>3</sup>.

Часто кратер вулкана забивается грязебрекчиями, объемы которых необычайно велики. По подсчетам А.А.Якубова и А.Д.Алиева, масса грязебрекчий, выброшенных на поверхность в результате деятельности 220 вулканов Азербайджана, составила 100–110 млн м<sup>3</sup>.

Как бы то ни было, процесс извержения грязевого вулкана в целом направлен на разделение компонентов, интегрированных в очаге. Он вызывает существенное падение СВПД в области питания системы, завершается за-

печатыванием ранее активно действующего канала и переходом к следующему, относительно спокойному этапу развития.

**Третью, сальзово-грифонную стадию**, с одной стороны, можно рассматривать как окончание извержения, а с другой — как подготовку следующего катаклизма. В этот период на глубине, в очаге вулкана, регенерируется СВПД, поскольку развивающиеся элизионные процессы в условиях замкнутой физико-химической системы способны восстанавливать свои исходные параметры (Р, Т). Одновременно уменьшается проницаемость пробки, запечатывающей грязевулканический канал.

Следует подчеркнуть, что грязебрекчий, перекрывающие каналы вулкана и формирующие кратерную площадку, редко представляют собой полностью непроницаемую систему. В них часто обнаруживаются трещины, зоны повышенной проницаемости и каналы, по которым в первую очередь двигаются и разгружаются газы. В истории многих грязевых вулканов уже после завершения активных извержений известны длительные периоды, когда огненные факелы украшали кратерные площадки. Они представляют собой газообразные углеводороды, сгорающие при выходе на поверхность.

В сальзово-грифонный этап развития по следам мигрирующих газов устремляются воды.

Они выносят из запечатывающих эруптивный канал грязебрекчий большое количество тонкого глинистого материала, расширяя и совершенствуя пути разгрузки. В то же время они захватывают и растворяют в себе такое большое количество глинистого материала, что превращаются в настоящий глинистый раствор, подобный искусственно создаваемому нефтяниками для нужд бурения.

В целом сальзово-грифонные воды грязевых вулканов по составу очень похожи на пластовые воды нефтяных и газовых месторождений региона. Любопытно также, что в пределах одного и того же кратерного поля каждая сальза выносит воды разного класса и типа.

Таким образом, период усиленной сальзово-грифонной деятельности нарушает монолитность грязевых скоплений, запечатывающих кратер. Эта разрыхленная масса грязебрекчий оказывается не в состоянии противостоять давлению грязевулканического очага и при первом же землетрясении, сейсмическом толчке, тектонической подвижке или другом нарушении равновесия вовлекается в новое извержение. И процесс начинается сначала. ■

**Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 01-05-64722 и 00-15-98483.**

## Литература

1. Якубов А.А., Али-Заде А.А., Зейналов М.М. Грязевые вулканы Азербайджанской ССР. Баку, 1971.
2. Якубов А.А., Али-Заде А.А., Григорьянц Б.В. и др. Грязевые вулканы нефтегазоносных областей Азербайджанской ССР. Баку, 1978.
3. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. Киев, 1986.
4. Шнюков Е.Ф., Науменко П.И., Лебедев Ю.С. и др. Грязевой вулканизм и рудообразование. Киев, 1971.
5. Холодов В.Н. Стратисфера — источник рудоносных растворов // Природа. 1990. №4. С.10—17.
6. Холодов В.Н. // Литология и полез. ископаемые. 2002. №3. С.227—241; №4. С.339—358.
7. Холодов В.Н., Недумов Р.И. // Литология и полез. ископаемые. 2001. №6. С.563—595.
8. Холодов В.Н. Постседиментационные преобразования в элизионных бассейнах (на примере Восточного Предкавказья). М., 1983.

# Джаныбек — граница и еще раз граница

В.И.Булави́нцев,

кандидат биологических наук

Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН  
Москва

Местечко Джаныбек — поселок и железнодорожная станция почти посередине между Саратовом и Астраханью. От Москвы всего лишь сутки поездом. Скажи кто лет двадцать назад, что ляжет здесь государственная граница, — сочли бы за сумасшедшего, а теперь Россия делит полупустынные просторы с Казахстаном. Но в 50-е годы 20-го столетия о разделе СССР никто и помыслить не смел. Заботы были другие. По сталинскому плану преобразования природы сажали в здешних безводных местах лесополосы. Даже научно-исследовательский стационар Академии наук организовали. Много и плодотворно работали известные почвоведы, ботаники, лесоводы, зоологи. Без малого 50 лет трудились в этих краях ученые, и вдруг, на тебе, — раздел владений!

Чудно вышло, как в анекдоте. Все постройки и большая часть лесных посадок оказались в пределах суверенного Казахстана, а в России — туалеты и остальные лесополосы. Вот такая история. Спишь за границей, на казахской стороне, а чуть что, бежишь в Россию, а что поделаешь, коль так граница пришлась?

Ну да Бог с ними, с границами. Они всего лишь плод недалекой людской суетности. Сколько их было за недолгую историю человечества, и что от них осталось? В лучшем случае

упоминание в пыльных фолиантах былых летописцев.

Но есть и другой рубеж — природно-климатический. Этот посерьезней будет, хоть и без погранстолбов, а существует веками, и ничего ему не делается\*. Здесь уже не степь, но еще и не пустыня. Полупустыня, одним словом.

Весна. Конец апреля. Сколь хватает глаз, раскинулись пятнистым ковром бескрайние просторы. В низинах степные травы колосятся, тюльпаны и ирисы цветут, а на пригорках полынные по засоленным сушим глинам на солнце млеют.

Под стать растительности пестро и население животных. Степные гадюки и пряткие ящерицы соседствуют с жителями полупустынь — серыми сусликами, устраивающими свои колонии где повыше. Видны они издали по желтым буграм выброшенной из нор глины. От спячки просыпаются суслики рано, в марте, когда в западинах еще снег лежит. Всю весну зверьки усиленно кормятся, торопятся жирок запасти, пока зелень не пожухла. Отъедаются всерьез, прибавляя в весе как минимум половину. Ведь к середине лета снова в спячку впадать, сначала самцам и холостым самкам, а вскоре и всем остальным.

\* В пределах глобальных изменений климата Земли природные границы тоже не постоянны. Они не единожды перемещались, как правило, в широтном направлении. Но кратковременность существования рода людского с этими изменениями не совместима.

Полупустыня не только царство серых сусликов, коих тут великое множество. С наступлением сумерек выходят из нор тушканчики, степные хори. Бродят, шурша прошлогодней ветшью, ежи, причем нос к носу могут встретиться обыкновенный и южный, ушастый. Но ночная жизнь животных малодоступна для стороннего наблюдателя, о том, что происходит под покровом ночной тьмы, чаще приходится судить по следам в дорожной пыли да остаткам перьев и шкурок, немым свидетельствам ночных кровавых пиршеств.

Вернемся в мир солнца и света. В лесополосах, посаженных 50 лет назад и уже порядком поредевших, где от засухи\*\*, а где и от злых рук с топором, гнездятся во множестве всеядные сороки, немало лесных голубей вяхирей, нет-нет да и захрипит в зарослях золотистой смородины серая куропатка или пробьет в изумрудной зелени луговины перепел, и повсюду, на земле и в воздухе, звенят песни жаворонков.

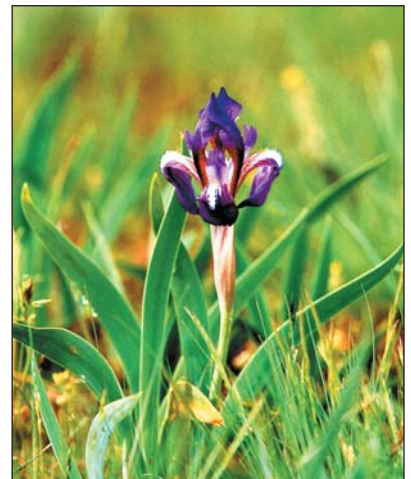
Как и положено для порубежья природных зон, живут здесь, рядом, обыкновенные полевые, степные и полупустынные обитатели — белокрылые жаворонки. Полевого жаворонка, пожалуй, все знают, по крайней мере слышали, серенький,

\*\* В прикаспийских полупустынях на 200—300 мм годовых осадков приходится ≈700 мм испарения.



Не степь, не пустыня — полупустыня.

Здесь и далее фото автора



Полупустынные растения в цвету: тюльпаны и ирис.



Полыни — доминирующие виды в окрестностях Джаныбека.

невзрачный, а голос — чистый хрусталь.

Степной жаворонок тоже цветом сер, но по бокам шеи украшен двумя черными пятнами, заметно больше полевого размер будет, крылья пошире, а поет — заслушаешься, такие трели в полнеба выводит, сказка, да и только.

Белокрылый жаворонок — бел только по заднему краю удлиненных крыльев. Шапочка, щечки и плечи нарядно коричневатые. Самочка чуть бледнее окрашена, но в целом на самца похожа, только что ведет себя потише, не заливается на всю округу, как красавец самец, сидя на сусличьих холмиках или распластавшись черно-белым крестиком в небесах.

Много и хищных пернатых. Все лето держатся в округе стаи черных коршунов. Десятки птиц водят нескончаемые хороводы в поднебесье. На ветвях отдельных невысоких деревьев темнеют грудами гнезда степных орлов. Говорят, случается, что гнездятся они и на земле. На высоких деревьях устраивают свои гнезда орлы могильники, существа сторожкие, к человеку недоверчивые. Насиживающая птица, издали завидя человека, загодя срывается с гнезда и уходит широкими кругами в небесную ширь, подалее от возмутителя птичьего покоя.



Суслик-сторож. Обеспокоенный присутствием человека, он кричит по-птичьи.



Серая цапля. Она только что снялась с гнездовья.



Павлиний глаз — далеко не единственный вид бабочек в Джаныбеке.



Удод. Его можно встретить в разных местах, чаще — возле человеческого жилья.



Вяхирь. Огромные стаи этого голубя бывают в Джаныбеке на пролете.



Уж в тростниковых зарослях.



Лягушка — обычная обительница арыков.



«Пастух» со стадом.

В старых сорочьих и грачиных постройках гнездятся мелкие соколы — пустельги и кобчики. Ближе к вечеру на луговых участках пасутся зайцы-руссаки. Рассядутся в травах, одни уши торчат. Скачут, кормятся, время от времени встают на задние лапки, тянутся, осматриваясь вокруг, нет ли врагов поблизости. А коль есть зайцы, то на них и лисы найдутся, обыкновенные, рыжие и степные, корсаки. Тут же, по соседству, на степных участках токуют, раздвывая черноперые шеи,

стрепеты. Ну и, конечно, какая же полупустыня без журавлей-красавок.

Открытой пресной воды мало, но уж если она есть, то живности около нее вдоволь. В бочагах и близ арыков, заросших тростником, настороженно замерли у гнезд серые цапли. Рядом, в завалах, устроили гнезда камышевые луни. В глубине «джунглей» по-бычьей бухает выпь, возятся, побрякивая, утки. Где посуше и тростник помельче, тревожно покрикивают, перепархивая, желтые трясогузки,

коим вторит неумолчный хор озерных лягушек и редкие трели зеленых жаб. По сухим окраинам и на откосах арыков греются ужи, по тревоге бесшумно стекающие черными ручейками в сырой хлам тростниковых зарослей.

Однако картина прикаспийской полупустыни была бы неполной без пасущихся лошадей, коров и редких в этих местах верблюдов, да еще овец. Ныне они заменили некогда многочисленных здесь сайгаков. ■

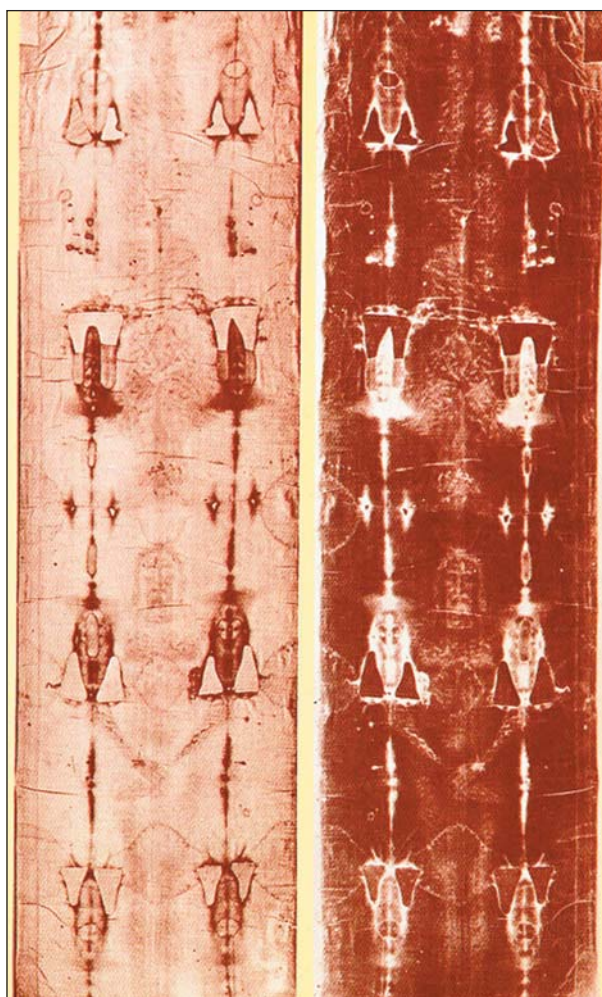
# Туринская плащаница

Амардео Сарма

В 2000 г. в Туринском соборе был возобновлен показ овеянной легендами плащаницы, которой якобы был накрыт Иисус после снятия с креста. Действительно ли тело Христа отпечаталось на холсте, или речь идет о средневековой фальсификации? Дискуссия о наиболее известной иконе христианского мира вспыхнула вновь. Спор ведется вокруг пожелтевшего куска материи длиной 4,36 м и шириной 1,09 м, на котором виден 1,8-метровый красноватого цвета отпечаток тела бородатого человека с ранами на голове, руках и ногах. Для одних это полотняное покрывало — святыня, а для других — художественное произведение. Уже несколько столетий Туринская плащаница будоражит воображение как верующих, так и скептиков. Нет сомнения, что речь идет об интересном памятнике культуры, в фокусе которого скрестились научные, исторические и богословские проблемы. Дискуссия о возрасте и происхождении этого памятника, безусловно, полезна, если она ведется в рамках научной этики и на профессиональном уровне\*. Поэтому мы предлагаем нашим читателям краткий перевод статьи Амардео Сарма (Amardeo Sarma) с изложением основных фактов о Туринской плащанице. Статья опубликована на страницах немецкого журнала «Skeptiker» (2000. №2. S.76—85). Автор — специалист в области телекоммуникации и активный участник ряда международных объединений ученых-скептиков, которые имеют целью объективную проверку сообщений о необычных явлениях — от НЛО и телекинеза до хиромантии и астрологии.

Мы надеемся, что приведенные ниже факты помогут нашим читателям прояснить для себя суть проблем, связанных с Туринской плащаницей.

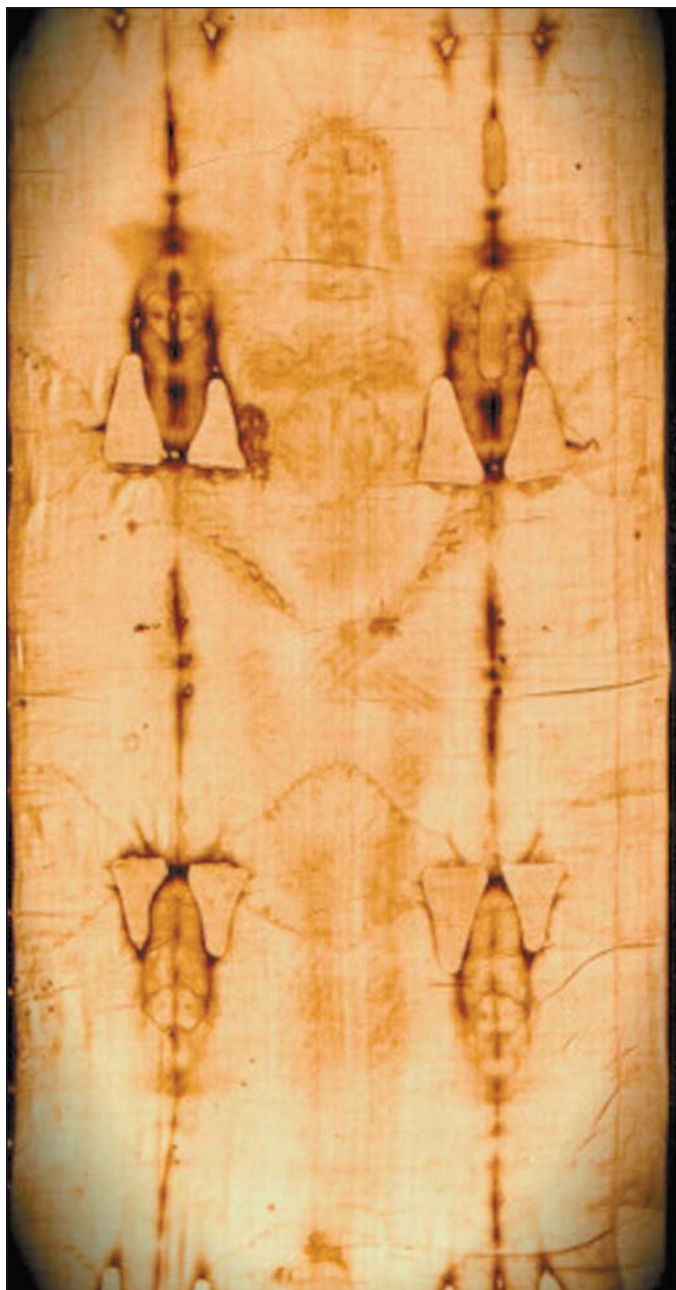
© Амардео Сарма



Туринская плащаница в развернутом виде. Слева — позитив. Справа — негатив. На длинном полотнище запечатлены передняя и задняя части фигуры.

\* Даже Российская академия наук вступила в дискуссию: «Вестник РАН» (2001. №10. С.915—918) опубликовал статью, критикующую выводы американских и европейских ученых о средневековом возрасте плащаницы и указывающую на возможность ее физической связи с Христом. Позднее, в другой публикации, журнал признал, что в статье допущены серьезные промахи (2002. №6. С.543), но это лишь усиливает интригу.





Фрагменты плащаницы, снятые такими способами, которые позволяют лучше разглядеть контуры тела и лица. Слева внизу — «портрет» Иисуса Христа. Изображение, взятое с плащаницы, обработано при помощи компьютера для усиления контраста и удаления «грязи». Негатив.

### Первым скептиком был епископ

Загадочное полотно вызвало к себе недоверие уже тогда, когда его впервые предъявили общественности. В 1357 г. владелец плащаницы Жофрей де Шарни (Geoffrey de Charny) передал ее французскому приходу

Лирей, к юго-востоку от Парижа, для показа публике. Вскоре это местечко наводнили паломники. Согласно автору нескольких книг о плащанице Джо Никелю, неизвестно достоверных исторических документов старше XIII в., сообщавших о существовании этой иконы [1, 2, 3].

Тот факт, что и Новый Завет не дает никаких сведений о покрывале с отпечатком тела Христа, послужил отправной точкой для его первого исследования 600 лет назад. Французский священник Улис Шевалье (Ulysse Chevalier) тщательно изучил более 50 документов,

Собор в Турине, где хранится знаменитая христианская реликвия.



имеющих отношение к интересующему нас предмету. Свои выводы он сформулировал в сочинении «Критическое исследование происхождения святой плащаницы из Лирей-Шамбери-Турина» [4]. Он сообщает, что якобы был даже найден художник, имевший отношение к портрету, а хозяин покрывала не смог правдоподобно объяснить, откуда оно взялось. В 1389 г. французский епископ Пьер Дарси (Pierre d'Arcis) докладывал Папе, что, исходя из корыстных побуждений, церковь наживается на покрывале, нарисованном «хитрым способом». Изображение мастерски нанесено на обе стороны ткани, в чем признался художник. Далее Дарси упрекает организаторов выставки в том, что они разрекламировали покрывало далеко за пределами Франции и наняли фокусников и артистов, чтобы имитировать удивление и перекачивать деньги из карманов верующих в копилку церкви. Владельцу плащаницы Жофрею де Шарни удавалось в течение длительного времени прятаться от епископа и неоднократно получать от властей разрешение на организацию выставки. Так, например, авиньонский анти-Папа Клемен VII

запретил епископу Дарси препятствовать выставке. И только благодаря упорству последнего критику не удалось задавить. Дарси сумел переубедить Клемена VII, и тот стал говорить о покрывале как об «изображении». Общественные выставки впредь разрешались только в особых случаях.

В 1453 г. внучка Жофрея де Шарни, Маргарет де Шарни, продала покрывало Луи и Анне Савойским, которые сначала держали его в Шамбери, а затем, при переносе столицы своего герцогства, забрали с собой в Пьемонт. В 1532 г. при пожаре покрывало было повреждено расплавленным серебром, что и сейчас хорошо заметно. В 1578 г. его перевезли туда, где оно хранится и поныне, — в Турин, и впоследствии плащаница перешла во владение церкви.

### Мнение церкви

Католическая церковь не признает Туринскую плащаницу как реликвию и официально считает ее иконой, предметом, приводящим людей к вере.

Как сказал Папа Иоанн Павел II на выставке плащаницы в Турине 24 мая 1998 г., она бро-

сает вызов нашему интеллекту. Она открывает свой сокровенный посыл только тем, кто наиболее близок ей своим смиренным и в то же время живым умом. Ее таинственное свечение ставит вопросы о происхождении и жизни исторического лица — Иисуса из Назарета. И так как это не имеет непосредственного отношения к вопросам веры, то церковь не может взять на себя смелость и ответить на них. Она доверяет науке задачу исследования того, что же случилось с полотном, в которое, по преданию, было завернуто тело нашего Спасителя. И церковь при этом настаивает, чтобы результаты исследования плащаницы были представлены общественности. Она предлагает ученым работать с чувством внутренней независимости и в то же время с вниманием к чувствам верующих.

Когда мы, христиане, замечаем папа Иоанн Павел II, рассматриваем Туринскую плащаницу, мы чувствуем глубочайшее успокоение, видя очевидную связь с тем, что сообщает нам Евангелие о страданиях и смерти нашего Господа Бога. Каждый приближающийся к плащанице чувствует, что она вызывает почтение не сама по себе, но лишь

указывает на того, чье доброе послание она нам доставила. Этот единственный в своем роде знак, указывающий на Иисуса Христа, воплощенное слово Создателя, призывает нас сверять нашу жизнь с ним, который пожертвовал собой ради нас\*.

## Историческая канва

До юбилейной выставки 2000 г. плащаницу в последний раз показывали в 1998 г. Тогда же появились книги, авторы которых старались доказать подлинность покрывала [5, 6, 7]. Эти исследователи называют плащаницу словом «синдон», а себя — «синдонологами». Слово «синдон» греческого происхождения; когда-то так называли кусок ткани, который можно использовать и как плащаницу (в отличие от лицевого платка для вытирания пота).

Среди поклонников подлинности плащаницы основную роль играет группа STURP (Shroud of Turin Research Project — Проект по исследованию Туринской плащаницы) из США. Эта группа была создана в 1970-х годах учеными Джоном Джексонем (John Jackson) и Эриком Джампером (Eric Jumper), но вскоре в ней остались только верующие. Первоначально в группу входил и микроаналитик Уолтер Мак-Крон, позже ставший критиком плащаницы. Одним из наиболее ярых поборников идеи подлинности был туринский патер П.Ринальди (Peter M.Rinaldi), который сохранял свои убеждения до самой смерти в 1993 г. В англосаксонском мире известен Ян Вильсон, который в своих книгах [8, 9] описывает предполагаемый маршрут передвижения полотна от Иерусалима до Турина.

Синдонологи до сих пор уверены: на холсте отпечатался контур тела Иисуса. Но некоторые из них, в том числе профессор теоло-

гии из Зальцбурга Вольфганг Вальдштейн (Wolfgang Waldstein), утверждают, что Христос оставил своей церкви образ: поскольку тогда не существовало фоторепортеров, он сотворил чудо. Пасхальным утром, в момент своего воскресения, он произвел вспышку света огромной энергии. Иначе сохранение его изображения на полотняном покрывале было бы невозможно.

Для доказательства того, что это именно Иисус Христос, синдонологи ссылаются на большое количество признаков изображения, которые согласуются с библейскими данными. Однако скептики обращают внимание на следующие строки в Евангелии от Иоанна (19, 40): «Итак, они взяли тело Иисуса и обвили его пеленами с благовоениями, как обычно погребают иудеи». И далее (20, 6 и 7): «Вслед за ним приходит Симон Петр и входит во гроб и видит одни пелены лежащие и плат, который был во главе Его не с пеленами лежащий, но особо свитый на другом месте». Итак, Иоанн указывает на иудейскую традицию: голова Христа была закрыта платком. В этом случае лик Христа должен был отпечататься очень бледно.

Известно, что во времена Христа евреи хоронили покойников обнаженными, с руками, скрещенными на груди. Руки, сложенные на гениталиях, как изображено на плащанице, впервые появились на картинах с XI в. — уступка стыдливости того времени.

Скептики напоминают: еще великий теолог Августин (IV—V вв.) жаловался, что нет никаких сведений относительно облика Христа. Представления художников о внешности Иисуса с течением времени менялись. До III в. его изображали с короткими волосами и без бороды. И только позже стали изображать с бородой и длинными волосами. Отпечаток на Туринской плащанице довольно точно соответствует традициям XIV в.

## Техника изображения

В 1898 г. в Турине фотограф-любитель Секондо Пиа (Secondo Pia) сфотографировал плащаницу и, проявив пластинку, заметил ошеломляющий эффект: на негативе все детали были видны гораздо отчетливее, чем на полотне. К тому же фотонегатив выглядел как позитив, настоящий, уже напечатанный снимок. Возникла идея, что изображение на плащанице — действительно негатив. Многие современники не доверяли Пиа, считая молодое фотоискусство шарлатанством. Но сегодня открытие Пиа служит у синдонологов одним из основных аргументов сверхъестественности плащаницы.

Однако техника рисования, известная как «негативное изображение», в средние века отнюдь не составляла секрета, она широко использовалась и в античные времена. Даже ребенок знает: если к монете прижать бумагу и потереть ее карандашом, то можно получить негатив монеты.

Впрочем, изображение на Туринской плащанице нельзя считать настоящим негативом, на котором волосы и кровь должны были выглядеть светлыми, что на позитиве дало бы темный цвет. В противном случае Иисус должен был быть блондином или седым, что маловероятно. К тому же тот, кто попадала кровь на одежду, знает, что эти пятна со временем чернеют. А кровь на покрывале все еще красная.

Если принять, что Туринская плащаница действительно зафиксировала изображение Христа, то это было сделано либо сверхъестественным способом (тело каким-то образом дало вспышку излучения), либо естественным — испарением масла или пота. Последняя гипотеза — предположение о «выпаривании» — вполне заслуживает внимания. Однако даже при беглом осмотре покрывала в глаза бросается ряд нелепостей:

\* Полный текст на сайте [www.vatican.va/holy\\_father/john\\_paul\\_ii/travels/documents/hf\\_jp-ii\\_spe\\_24051998\\_sindone\\_en.html](http://www.vatican.va/holy_father/john_paul_ii/travels/documents/hf_jp-ii_spe_24051998_sindone_en.html)

— когда покрывало облегает тело, оно прикасается к нему с разных сторон. Если мы снимем и разложим такое покрывало, то изображение будет выглядеть искаженным. Скажем, отпечаток лица окажется шире лица, наблюдаемого спереди. Но на плащанице этого нет;

— совершенно отсутствуют искажения и пустые места, которые должны появляться из-за складок. Изображение слишком гладкое, чтобы быть подлинным;

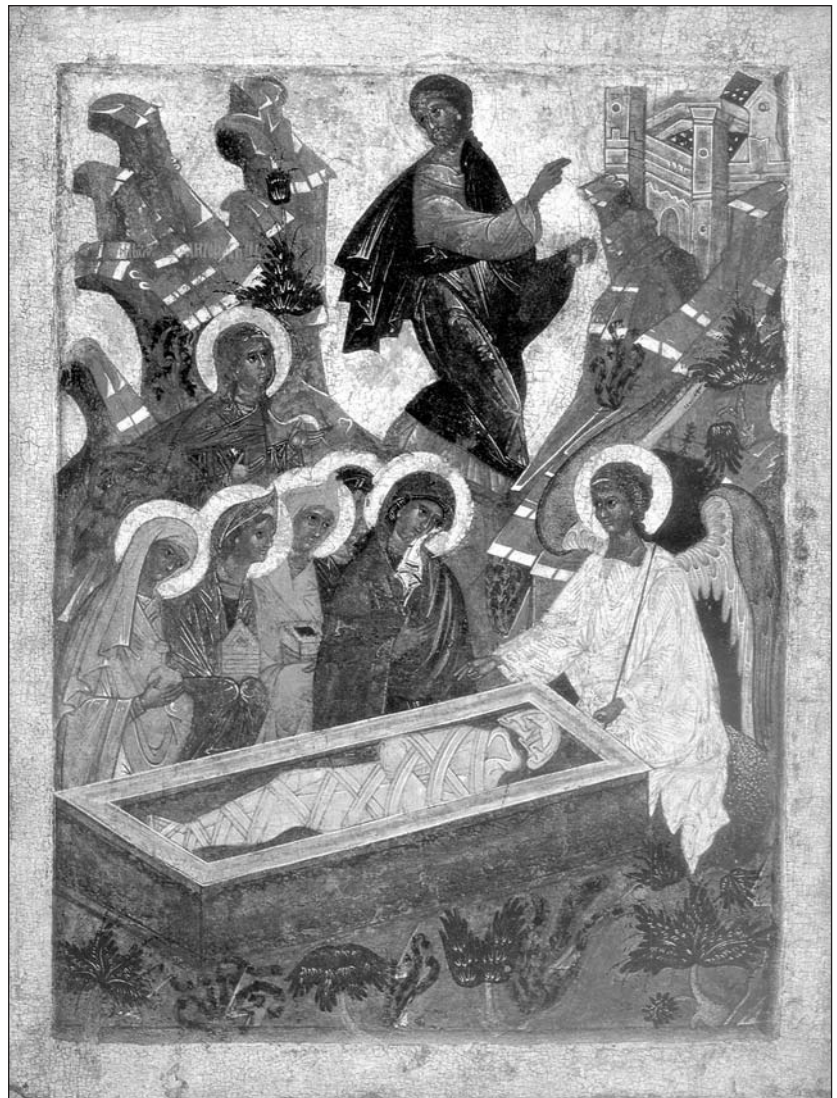
— отсутствуют пятна от рельефа задней части тела. Все выглядит так, как если бы тело было плоским и жестким, как доска;

— отпечаток окровавленных ступней на покрывале геометрически не соответствует положению ног. Ступни лежащего человека обычно направлены пальцами вверх, а здесь подошвы прижаты к покрывалу, что возможно лишь в том случае, если колени согнуты;

— волосы не спадают вниз, как это бывает у лежащего человека, а обрамляют лицо, как на картинах;

— руки и пальцы различной длины. То, что одна рука на 10 см длиннее другой, было бы отмечено, как нечто необычное;

— кровь течет тонкой струйкой и не сворачивается.



Псковская икона XVI в. Жены-мироносицы у гроба Христа.

## Кровь или краска?

Следующий вопрос: чем нанесено изображение? Убедительный ответ можно получить лишь с помощью химического анализа окрашивающего вещества. С согласия католической церкви такой анализ был проведен дважды.

Первый раз это было сделано в 1973 г. итальянской комиссией, в которую входили Джорджио Фраке (Giorgio Frache), Эуджения Ридзатти (Eugenia Rizzatti) и Эмилио Мари (Emilio Mari). Она пришла к заключению, что перед ней «работа художника». Все специальные тес-

ты на кровь дали отрицательный результат.

Второй анализ, в 1978 г., был проведен в основном группой STURP. Эксперты наложили на покрывало 32 клеевые полоски и затем осторожно их сняли: 14 полосок были взяты из областей плащаницы, расположенных вокруг изображения Иисуса, 12 полосок были наклеены на само изображение, а шесть — на «красочные» пятна. Полоски разрезали на две части и один набор отдали Уолтеру Мак-Крону, а второй — Рею Роджерсу (Rey Rodgers) для иссле-

дования частичек с поверхности и волокон покрывала, прилипших к полоскам.

Мак-Крон искал какие-либо признаки трупа, но ничего не нашел. Он выявил лишь неорганические компоненты, прежде всего — окись железа (ржавчину). Однако исходя из своей многолетней убежденности в подлинности плащаницы и не желая разочаровать своих коллег из STURP, он попытался мягко обойти противоречия, с которыми ему пришлось столкнуться. Он считал возможным античное происхождение по-

крывала и предположил, что краска была использована позже, для реставрации пожелтевших пятен, оставленных телом на покрывале.

Вначале Мак-Крон думал, что пигмент, который он обнаружил, впервые стали использовать лишь в XVIII в. Но позже узнал, что такой же пигмент встречается и на рисунках каменного века. Осторожные попытки указать на это были проигнорированы группой STURP и отцом Ринальди; тогда Мак-Крон начал сомневаться.

После подробного изучения волокон он нашел на них растворимую в воде темперу с окисью железа (железистая охра) и с киноварью. Этот второй компонент использовался старыми мастерами как алый цвет; получали они его из сернистой ртути. Частицы этих двух компонентов отождествляются вполне уверенно. Мак-Крону удалось показать, что обнаружить железистую охру можно только в области самого изображения. А краска из сернистой ртути встречается исключительно в «кровавых» областях. Тот факт, что в живописи XIII и XIV вв. киноварь часто использовалась для изображения крови, только усиливает предположение о подделке. Мак-Крон нашел следы и других частиц, многие из которых типичны для малярных красок.

Разумеется, члены группы STURP и отец Ринальди очень обиделись на Мак-Крона. У него отобрали клеевые полоски, и он не смог продолжить свои исследования. Как члену STURP ему было запрещено сообщать о своих результатах без согласия группы. Потеряв надежду переубедить соратников, Мак-Крон приостановил свое членство в STURP и начал публиковаться.

В поздней написанной книге [10] он приводит следующий курьезный случай: его жена, тоже исследователь, изучала клеевую полоску с одной старой французской картины. Результаты ее

анализа оказались так похожи на результат анализа плащаницы, что Мак-Крон подумал, будто жена перепутала свои и его полоски. Но выяснилось, что исследуемая женой картина была как раз из той области, где в XIV в. появилась Туринская плащаница. Мак-Крон заключает: все говорит в пользу искусственного происхождения плащаницы.

История на этом не завершается: Виктор Трион (Victor Truon) из Техасского университета в 1998 г. заявил, что обнаружил кровь на Туринской плащанице. Еще раньше то же самое заявляли члены группы STURP — Алан Адлер и Джон Геллер [11, 12]. Они указывали на присутствие железа, белка и других субстанций, встречающихся и в человеческой крови. Но эти же субстанции можно найти при химическом анализе темперы. Важнее то, что на ткани не удалось отождествить никаких других существенных составляющих крови, например калия, которого в крови в три раза больше, чем железа.

Правда, в последнее время появились утверждения, что на покрывале обнаружены следы ДНК. Конечно, наличие ДНК может свидетельствовать в пользу наличия крови, но это очень слабый аргумент. После того как столько людей на протяжении столетий прикасались к покрывалу, было бы чудом, если бы на нем не было найдено соответствующих следов.

### Сколько же в действительности лет плащанице?

В 70–80-е годы ученые неоднократно просили разрешения на проведение точной датировки плащаницы радиоуглеродным методом. Основан он на том, что в живых организмах доля радиоактивного изотопа углерода C-14 такая же, как в атмосфере Земли (где

она поддерживается почти постоянной под влиянием космических лучей). После смерти организма концентрация этого изотопа в нем постепенно снижается с периодом полураспада 5730 лет, что и служит показателем возраста. В 1970-е годы для проведения такого исследования требовалось большая площадь ткани, но позже стало возможным определить возраст по микроскопическому кусочку. Это обстоятельство позволило католической церкви в 1988 г. удовлетворить просьбу ученых.

Первоначально для исследований были выбраны семь лабораторий [13]. Это было зафиксировано в так называемом туринском протоколе специалистами по датировке под руководством председателя научного совета Ватикана. Были также намечены методы получения образцов, чтобы потом не возникло сомнений. Но позже, по настоянию Луиджи Гонелла (Luigi Gonella) — советника туринского епископа Баллестреро (Ballestrero), — число лабораторий было сокращено до трех, что увеличило риск случайных ошибок и в дальнейшем дало повод для критики. К тому же ученым не позволили присутствовать при получении образцов ткани.

В конце концов фрагменты покрывала были исследованы в трех местах: в лаборатории геофизики Аризонского университета (США), в лаборатории археологии и истории искусств Оксфордского университета и исследовательской лаборатории Британского музея, а также в Институте физики в Цюрихе. Результаты оказались сходными: радиоуглеродный возраст плащаницы составил  $691 \pm 31$  год. С учетом всех возможных погрешностей специалисты называют период рождения ткани плащаницы — 1260–1390 гг. [14]. Это убедительно подтверждает гипотезу о том, что Туринская плащаница — работа художника XIV в.

Нужно упомянуть и о недостатках этого исследования. Из-за отклонений от протокола, на которых настояла церковь, при получении образцов не проводилась непрерывная документация. Правда, специалисты исключают подмену ткани. И все же этот случай показывает, что может произойти, когда, исходя из политических или церковных интересов, нарушается установленная процедура. Например, на этой почве возникла якобы разоблачительная книга любителей сенсаций, журналистов Грубера и Керстена.

Ошиблись те, кто считал, что определение возраста плащаницы, проведенное в 1988 г., положит конец дебатам. Вскоре начались поиски предлогов для новых споров. Почитатели плащаницы допускали даже, что три избранные лаборатории могли договориться и давать согласованные показания, что исследуемый фрагмент ткани взят из места, которое подверглось штокке или было залатано. Но в докладе группы четко указано, откуда этот кусок.

Высказывалось мнение, что ткань загрязнена чуть ли не бактериями. В действительности же все образцы были очищены различными методами, включая ультразвук, и при этом во всех лабораториях получились практически одинаковые результаты. Кроме того, чтобы бактерии стали источником такой большой ошибки в возрасте, они должны быть в два раза тяжелее самого покрывала. Физик Томас Пиккет (Thomas Pickett) писал по этому поводу: «Правильнее было бы сказать, что нужно очистить бактерии от небольшого полотна».

## О чем рассказала пыльца

Несколько лет назад израильские ботаники Авиноам Данин и Ури Барух выступили перед прессой с заявлением, что

дополнительный анализ пыльцы и кровавых пятен на плащанице свидетельствуют о ее подлинности [15, 16]. Эти будто бы новые доказательства оказались по сути старой сказкой. Еще в 1970-х годах швейцарский криминолог Макс Фрей [17] писал, что нашел на ткани пыльцу как раз из тех районов, по которым Ян Вильсон проложил маршрут передвижения Туринской плащаницы. Но результаты Макса Фрея, который, впрочем, и фальшивый дневник Гитлера без всяких сомнений объявил подлинным, настолько неубедительны, что даже члены STURP воздерживаются от поддержки его выводов. И все же, раз эта пыльца остается предметом дискуссии, мы вынуждены привести контраргументы:

— другие исследования покрывала, даже те, что проводились сторонниками его подлинности, обнаружили так мало пыльцы, что ее не хватает ни для датировки, ни для определения маршрута передвижения покрывала по миру;

— пыльца, представленная в работе Фрея, выглядит вполне свежей, и очевидно, что ей не 2000 лет;

— видовой состав пыльцы не соответствует тому, что можно было бы предполагать. Исходя из истории плащаницы, можно ожидать преобладания европейских растений; 32 из 57 ее видов переносятся не ветром, а насекомыми. Микрорепалеонтолог Стивен Шаферсман [18] из Университета Майами считает, что эта пыльца не могла попасть на плащаницу без человеческого участия;

— пыльца обнаружена только на нескольких клеевых полосках. Здесь нужно вспомнить, что Фрей собирал пыльцу в Средиземноморье для сравнения, и похоже, что пыльца с клеевых полос как раз и есть часть его коллекции.

Но вернемся к Данину и Баруху. Существует предыстория их «сенсационного открытия».

В 1985 г. фотографы-любители Алан и Мэри Рэнглер (Alan and Mary Wrangler) увидели на старой фотографии плащаницы 1931 г. рядом с телом Христа отпечаток цветов, которые они бойко причислили к виду *Chrysanthemum coronarium* [7]. После этого они изучили и другие фотографии плащаницы и нашли на них сотни цветов, которые классифицировали и распределили по 28 видам растений. Кроме того, Рэнглеры разглядели изображение гвоздя, молотка, каната, колючки и губки. Они не долго были одиноки: вскоре и другие «исследователи» увидели на покрывале изображение римских надписей и римской монеты [6].

В число эпигонов Рэнглеров попал и Авиноам Данин. Он смог распознать на плащанице изображения *Chrysanthemum coronarium* и *Cistus creticus* [15]. Наиболее значимым растением Данин считает *Zygophyllum dumosum*, отпечаток листьев которого свидетельствует, что растение было сорвано весной. Во время выставки 1998 г. Данин совершенно серьезно, «собственными глазами», вооруженными лупой, смог увидеть на покрывале большой лист. По предложению Рэнглеров он собрал пыльцу тех цветов, которые были найдены, и попросил своего коллегу Ури Баруха сравнить ее с пыльцой, собранной Максом Фреем. Им было точно установлено, что некоторые виды пыльцы можно обнаружить только на Ближнем Востоке.

Похоже, мы столкнулись с явлением, хорошо известным в психологии: человек видит то, что хочет видеть, — цветы, молоток, римские монеты или надписи. Точно так же другие люди видят в облаке НЛО, в узоре обоев — лицо или в чернильном пятне — Дональда Дака. Не надо такое явление путать с научными доказательствами. Наше восприятие не должно окрашиваться нашими ожиданиями.

## Заговоры и заговорщицы

Естественно, обсуждаются различные варианты заговора. Один них описан в книге «Иисус умер не на кресте» (Керстен и Грубер вновь опубликовали свою старую книгу «Сговор против Иисуса», немного изменив ее и дав ей новое название). В ней говорится о сговоре между католической церковью и Британским музеем в Лондоне. Якобы плащаница свидетельствует о том, что Иисус пережил распятие, и эту «истину» пытаются скрыть. Другие подозревают масонов в заговоре против Ватикана.

Почитатели плащаницы рассматривают факты, заранее зная, какой результат они должны получить. Они страстно верят, что покрывало подлинное, и не боятся призвать Бога в свидетели и соучастники. Поэтому на сайте очень консервативного христианского издательства «Christiania» можно прочитать,

что в ночь 12 апреля 1997 г. Бог дал знак о подлинности плащаницы. Во время большого пожара в кафедральном соборе Св. Джовани Батисты один храбрый пожарный в последнюю минуту смог спасти от огня плащаницу. «Какой же вывод можно сделать?» — спрашивает автор, и сам же дает ответ: «Можно ли поверить, что Бог сотворил бы такое зрелищное чудо, если бы плащаница была фальшивой или была бы мошенничеством?» Если результаты научного исследования не согласуются с догмами почитателей, эти результаты объявляются фальшивыми. И только немногие нашли в себе силы изменить свое мнение, когда обнаружили, что результаты исследований указывают на обратное.

Перспективу, что общества поклонников плащаницы распадутся, я считаю иллюзорной. Они будут существовать и дальше, до тех пор, пока полотно не будет изучено до мельчайших

подробностей и пока результаты, что вполне вероятно, не станут более четкими, чем сегодня. А решение вопроса, почему, давая возможность исследовать плащаницу, верующие тут же начинают сопротивляться и, несмотря на однозначные и повторяющиеся доказательства, не принимают их, является задачей психологов и социологов. Конечно, не исключено, что настанет день, когда скептики убедятся в своем заблуждении и изменят свою позицию. Но на сегодняшний день я должен согласиться со Стивеном Шаферсманом, когда он пишет: «Все эмпирические свидетельства и логические аргументы, касающиеся Туринской плащаницы, при объективном и рациональном рассмотрении приводят к очевидному заключению, что плащаница — дело рук человека и создана она в XIV в.» [18]. ■

© Сокращенный перевод с немецкого **А.Г.Тогочева**

## Литература

1. *Nickell J.* Inquest on the Shroud of Turin. N.Y., 1987.
  2. *Nickell J.* Inquest on the Shroud of Turin — Latest Scientific Findings. N.Y., 1987.
  3. *Nickell J.* // Skeptical Inquirer. 1998, Juli/Aug. P.20—22.
  4. *Chevalier C.U.* Etude Critique sur l'origine du Saint Suaire de Lirey—Chambery—Turin. Paris, 1900.
  5. *Gruber E.R., Kersten H.* Das Jesus-Komplott. Muenchen, 1992.
  6. *Siliato M.G.* Und das Grabtuch ist doch echt. Augsburg, 1998.
  7. *Wrangler A., Wrangler M.* The Shroud of Turin: An Adventure of Discovery. TN. 1998.
  8. *Wilson I.* The Shroud of Turin. N.Y., 1979.
  9. *Wilson I.* The Blood and the Shroud: New Evidence That the World's Most Sacred Relic Is Real. N.Y., 1998.
  10. *McCrone W.C.* Judgement Day for the Shroud of Turin. N.Y., 1999.
  11. *Heller J.H., Adler A.D.* // Can. Soc. of Forens. Sci. 1981. V.14(3). P.81—103.
  12. *Jumper E.J., Adler A.D., Jackson J.P. et al.* A Comprehensive Examination of the Various Stains and Images on the Shroud of Turin // American Chemical Society, Adv. Chem. Ser. 1984. P.447—476.
  13. *Sarma A.* // Skeptiker. 1989. №1. S.19.
  14. *Damon P.E., Donabue D.J., Gore B.H. et al.* // Nature. V.337. P.611—615.
  15. *Danin A.* Pressed Flowers — Where did the Shroud of Turin Originale? A Botanical Quest // Eretz Magazine. 1997, Nov./Dez.
  16. *Danin A., Baruch U.* Floristic Indicators for the Origin of the Shroud of Turin // 3rd International Congress of the Shroud of Turin. Turin, 1998.
  17. *Frei-Sulzer M.* Wissenschaftliche Probleme um das Grabtuch von Turin // Naturwissenschaftliche Rundschau, 32. Jg. 1979. S.133—135.
  18. *Schafersman S.D.* Unravelling the Shroud of Turin // Approfondimento Sindone. Year II. 1998. V.2.
- Danin A. (1998): The origin of the Shroud of Turin from the Near East as Evidenced by Plant Images and Pollen Grains // [www.shroud.com/danin2.htm](http://www.shroud.com/danin2.htm).

# Виды сосуществуют в одной экологической нише

А.М.Гиляров,

доктор биологических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

В 1961 г. один из номеров журнала «American Naturalist» открылся статьей с интригующим заголовком «Планктонный парадокс». Ее автор — известный американский эколог Дж.Э.Хатчинсон назвал парадоксальной ситуацию, складывающуюся в планктонных сообществах, поскольку она противоречит принципу конкурентного исключения. Согласно этому принципу, количество устойчиво сосуществующих видов не может превышать числа факторов, ограничивающих рост их популяций. Но в поверхностном слое водной толщи озер, где хватает тепла и света, нередко живут вместе десятки видов водорослей и цианобактерий, конкурирующих за крайне ограниченный набор ресурсов — свет и несколько элементов минерального питания. К тому же, поскольку вода в поверхностном слое интенсивно перемешивается, обитающие в нем организмы разных видов не могут разойтись в пространстве, заняв, например, разные глубины, как это нередко бывает в водной толще, если она стратифицирована и неподвижна.

Принцип конкурентного исключения, нарушаемый «планктонным парадоксом», известен в литературе также как прин-

цип Вольтерры—Гаузе. Он непосредственно вытекает из математических моделей, предложенных еще в 20-х годах прошлого века итальянским математиком В.Вольтеррой, и из экспериментов, проведенных в начале 30-х годов нашим соотечественником — Г.Ф.Гаузе. В опытах Гаузе инфузории *Paramecium aurelia* и *P. caudatum*, которые получали одну и ту же пищу — бактерий, ежедневно добавляемых из чистой культуры\*, — не могли устойчиво сосуществовать: второй вид вытеснялся первым, хотя каждый успешно жил в тех же самых условиях при отдельном содержании. Графики, иллюстрирующие результаты этих опытов, теперь приводятся в школьных учебниках экологии, но авторы учебников обычно не объясняют механизм самого вытеснения. В данном же случае он сводился просто к различиям в скоростях, с которыми размножались инфузории, компенсируя периодическое прореживание культур. Дело в том, что Гаузе ежедневно сливал часть питательной среды вместе с содержащимися в ней инфузориями и добавлял

свежую среду (без инфузорий), имитируя таким образом проточную культуру, в которой всегда часть популяции выносятся со средой, а удерживаются лишь те организмы, которые, быстро размножаясь, способны противостоять такому изъятию.

Гаузе связал с конкуренцией представление об экологической нише — месте, занимаемом тем или иным видом в системе трофических связей, и сформулировал правило, согласно которому, два вида, занимающие одну и ту же экологическую нишу, не могут устойчиво сосуществовать [1, 2]. Именно в такой формулировке принцип конкурентного исключения и получил широкую известность среди биологов. Однако в дальнейшем понятие экологической ниши исследователи стали толковать по-разному, а по поводу самого принципа нередко высказывали крайне противоречивые суждения. Некоторые авторы (и надо сказать, не без основания) считали закон Гаузе просто положением, которое никогда нельзя опровергнуть, и, следовательно оно не может считаться строгой научной гипотезой. Ведь если виды сосуществуют, то всегда можно утверждать, что они занимают разные ниши, поскольку хоть какие-то различия найдутся даже между очень близкими вида-

\* Среда, в которой находились инфузории, была подобрана так, чтобы внесенные туда бактерии не размножались и можно было строго контролировать уровень обеспеченности пищей подопытных объектов.



ми. Ну а если один вид вытесняет другой, это можно рассматривать как подтверждение справедливости принципа.

Правда, наиболее проницательные исследователи (в том числе Хатчинсон) связывали принцип Вольтерры—Гаузе прежде всего с факторами, лимитирующими рост численности конкурирующих популяций. Формулировка самого принципа конкурентного исключения также постепенно оттачивалась. В 80-х годах его выражали уже следующим образом: число видов, неограниченно долго сосуществующих в гомогенном местообитании с постоянными (равновесными) численностями, не может быть больше, чем число зависящих от плотности факторов, ограничивающих рост их популяций [3]. Уточнение, касающееся равновесных численностей, важно, чтобы не рассматривать ситуации, когда вытеснение одного вида другим еще не закончилось. Под факторами же, «зависящими от плотности», понимались такие, удельное (т.е. в расчете на одну особь) влияние которых усиливается при возрастании плотности популяции. Таким фактором может быть, например, воздействие хищников, и тогда, согласно принципу Вольтерры—Гаузе, число сосуществующих конкурентов не может быть больше количества специализированных хищников, каждый из которых контролирует рост численности одного вида жертв. Гораздо чаще сказывается все же нехватка пищевых ресурсов, скажем, минеральных элементов (азота, фосфора, кремния и т.п.).

Что касается планктонных водорослей и цианобактерий, то при малом числе конкурирующих видов каждый из них может быть сильнее ограничен каким-то одним минеральным элементом, и тогда сосуществование видов не выглядит парадоксальным. Однако, если таких видов с десятков, ресурсов, по которым они могли бы «ра-

зойтись», явно не хватит, и объяснить парадокс придется как-то иначе.

Недавно к проблеме поддержания разнообразия бактерий, конкурирующих за один и тот же субстрат (пищу), с совершенной другой стороны подошел Т.Чарань из исследовательской группы по теоретической биологии при Венгерской академии наук и его коллеги из Нидерландов — Р.Хукстра и Л.Паги [4]. Предложенная ими математическая модель основывается на хорошо известной способности некоторых штаммов бактерий («штаммов-убийц») вырабатывать токсические вещества, угнетающие рост других штаммов (антибиотики, образуемые некоторыми грибами, тоже относятся к подобным веществам). Однако при этом «убийцам» требуются энергетические и материальные затраты как на синтез самих токсинов, так и на выработку средств собственной защиты от ядов. В результате скорость роста популяции такого штамма оказывается существенно ниже обычного чувствительного.

Противостоять «штамму-убийце» можно, только приобретя в ходе эволюции устойчивость к данному токсину. Но за это также приходится расплачиваться определенными ресурсами и соответственно — снижением скорости размножения. Поэтому резистентный (устойчивый) штамм уступает по скорости роста чувствительному, хотя и превосходит «штамм-убийцу» — ведь, в отличие от последнего, он ничего не тратит на выработку токсина. Таким образом, из трех штаммов («убийцы», резистентного и чувствительного) минимальная скорость популяционного роста оказывается у «убийцы», а максимальная — у чувствительного.

Модель была построена по принципу клеточных автоматов, заполняющих решетку (180 × 180 ячеек) на замкнутой тороидальной поверхности.

Каждая ячейка занята колонией только одного штамма, а распространиться в соседние ячейки он может лишь за счет выработки токсина, к которому у соседей нет резистентности, или если ячейка занята устойчивым штаммом с более низкой скоростью роста. Авторы допускают, что в результате мутаций появляются «штаммы-убийцы», вырабатывающие до 14 различных ядов, а также штаммы, резистентные и чувствительные по отношению к каждому токсину.

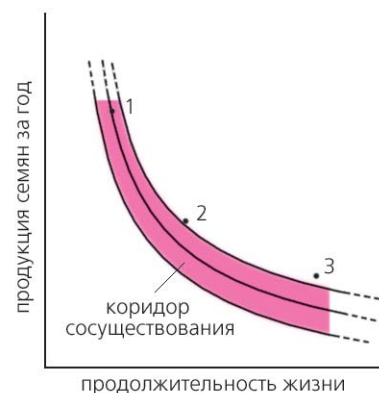
В одном варианте модели вначале не было «штаммов-убийц», они появлялись постепенно, как и штаммы, резистентные к их токсинам. В результате возникало то, что авторы назвали замороженным состоянием системы: сложная пространственная структура — мозаика из разных штаммов. Располагались они так, что соседи крепко-накрепко «запирали» друг друга, не позволяя изменять конфигурацию всей системы.

В другом варианте модели каждый штамм уже изначально обладал несколькими токсинами и несколькими генами устойчивости. Мутации же приводили к становлению квазиравновесного состояния системы, которое, будучи динамичным, допускало все же длительное сосуществование очень большого числа разных штаммов.

Таким образом, модель показывает, что сосуществование нескольких видов, конкурирующих за один и тот же ресурс, теоретически возможно только за счет выработки конкурентами средств нападения, средств защиты и неизбежной «расплаты» (скоростью размножения) за приобретенные свойства.

Чрезвычайно важно, что в смоделированной Чаранем и его коллегами системе все события разворачиваются на некой твердой поверхности, которая в ходе конкуренции может одними штаммами «отвоевываться» у других. Экспериментальное доказательство подоб-

Зависимость между годовой продукцией семян и продолжительностью жизни разных видов растений. Виды (1, 2, 3), производящие за жизнь одинаковое количество семян, оказываются на этой гиперболе. Именно они и сходны по своим требованиям к среде, благодаря чему не могут вытеснить друг друга. Правда, из-за флуктуаций область сосуществования представляет собой некий коридор вокруг гиперболы, в который попадают все виды деревьев из одного леса. Если какое-либо дерево умирает, на его месте с равной вероятностью, как в лотерее, может вырасти любое иное из того же леса.



ного захвата территории было получено 20 лет назад [5]. В то время Л.Чао и Б.Левин исследовали взаимоотношение двух штаммов *Escherichia coli* — колициногенного (т.е. производящего антибактериальный токсин колицин) и обычного, чувствительного к колицину. Когда оба штамма выращивали в перемешиваемой жидкой среде, второй выходил победителем в конкуренции: хотя и нес потери в численности, они с лихвой окупались за счет более быстрого размножения. Успех на долю колициногенного конкурента выпадал только при его очень высокой начальной концентрации. Но когда оба штамма жили на поверхности агаровой среды, колициногенный выигрывал соперничество в большинстве случаев: он сдерживал рост чувствительных бактерий по всему периметру колонии, а сам разрастался на освободившемся от них питательном субстрате.

Конкуренция не столько за сами ресурсы питания, сколько за пространство, на котором они располагаются (попросту говоря — за место под солнцем), чрезвычайно распространена среди растений. И здесь противоречие с принципом Вольтерры—Гаузе неотвратимо, поскольку на небольшой территории бок о бок могут расти многие виды, ограниченные в своем развитии крайне скудным набором ресурсов. Например, во влажном тропическом

лесу на площади в 1 га бывает до 100—150 видов деревьев, и всем им нужен свет, влага и несколько элементов минерального питания (азот, фосфор, калий и некоторые другие). По отношению к таким сообществам, да и другим, образованным организмами, которые прикреплены к субстрату, но имеют подвижные стадии расселения (семена, споры, планктонные личинки и т.п.), сейчас успешно используются так называемые лотерейные модели [6].

Суть их в том, что заселяемое пространство (например, участок земли, занятый лесом) рассматривается как совокупность конечного числа занятых или свободных мест. Если дерево погибает, на освободившееся место могут попасть семена того же вида или любого другого из данного леса, причем вероятность попадания и успешного прорастания семян определяется чисто случайно — как в лотерее. Таким образом, система всего сообщества сохраняет стабильность, но в разных участках занимаемого им пространства все время происходят непредсказуемые замены одних видов другими.

Модель предсказывает, что успех сосуществования разных многолетних видов зависит от соотношения средней продолжительности их жизни и среднего числа ежегодно образуемых семян. Если принять, что

оба эти показателя связаны гиперболической зависимостью (чем больше продолжительность жизни, тем меньше семян образуется за год), то сосуществовать могут виды, которые образуют за жизнь одинаковое число семян. Такие виды очень сходны по своим требованиям к окружающей среде и именно в силу этой одинаковости не способны вытеснить друг друга, хотя и могут с равной вероятностью поселиться на освободившемся месте. А если виды в сообществе отличаются семенной продукцией? Тогда те из них, у кого она сильнее отклоняется от средней величины, имеют больше шансов выпасть из сообщества.

Итак, условие длительного сосуществования конкурирующих видов — *не различие* их ниш (как это обычно утверждается в учебниках экологии), а *сходство*. Естественный отбор может, следовательно, работать не на увеличение различий между экологическими нишами (их дивергенцию), а наоборот — на возрастание их сходства, т.е. на конвергенцию. Логика лотерейных моделей, соответствующая такой точке зрения, по сути дела исходит из конкуренции за пространство как условия доступа к основным ресурсам. Правда, в моделях рассматриваются только закрепленные на субстрате организмы. Но отбор, направленный на достижение сходными

видами одних и тех же целей (например, на повышение эффективности потребления элементов минерального питания), может способствовать и конвергенции экологических ниш планктонных организмов, взвешенных в водной толще.

Автор данной заметки высказывал эти соображения еще 20 лет назад, когда изучал два близких вида дафний (*Daphnia cucullata* и *D.galeata*), живущих в одном озере [7]. Оказалось что их

сезонная динамика плодовитости и численности практически идентична, а значит, контролируется одними и теми же факторами. Принцип Вольтерры—Гаузе при этом, строго говоря, не нарушается, поскольку в перспективе остается возможность вытеснения одного вида другим. Но если виды очень похожи по своим жизненным требованиям, сосуществование может длиться очень долго, а случайные изменения в среде (неизбежный

«шум») способны повлиять на исход конкуренции в ту или иную сторону и сделать его практически непредсказуемым. К сожалению, предложенный тогда вариант объяснения «планктонного парадокса» (обитающие вместе виды должны занимать одну и ту же, а не разные ниши!) не был поддержан. Но сейчас сосуществование видов в одной экологической нише привлекает все больше внимания исследователей. ■

## Литература

1. Gause G.F. The struggle for existence. Baltimore, 1934.
2. Гаузе Г.Г. Борьба за существование. 1999. //www.gause.com/
3. Дегерменджи А.Г. // Смешанные проточные культуры микроорганизмов. Новосибирск, 1981. С.26—106; Романовский Ю.Э. // Журн. общ. биологии. 1989. Т.50. №3. С.304—315.
4. Czaplinski T.L., Hoekstra R.F., Pagie L. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2002. V.99. №2. P.786—790.
5. Chao L, Levin B.R. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1981. V.78. P.6324—6328.
6. Fagerstrom T. // Trends in Ecol. Evol. 1988. V.3. №11. P.303—306.
7. Гиляров А.М. // Доклады АН СССР. 1981. Т.257. №1. С.251—254; Ghilarov A.M. // Oikos. 1984. V.43. №1. P.46—52.

На севере Вьетнама в 1948 г. было найдено хвойное дерево, которое в 1999 г. систематики описали как новый вид. Недавно включенный в список дендрофлоры *Xanthocyparis vietnamensis* находится на грани исчезновения, поэтому, чтобы подтвердить существование вида, ботаникам пришлось ехать во Вьетнам повторно. В результате выяснилось, что это растение осталось лишь в нескольких экземплярах.

По мнению специалистов из Королевского ботанического сада Кью (Лондон), этот вид относится к новому роду и восполняет отсутствовавшее звено между настоящими и ложными кипарисами. Благоухающая древесина *X.vietnamensis* высоко ценится местным населением, ее используют для изготовления храмовой утвари.

Terre Sauvage. 2001. №168. P.23 (Франция).

У французского побережья в Средиземном море, неподалеку от мыса Ажд (департамент Эро), аквалангист-любитель обнаружил на восьмиметровой глубине две лежащие на песчаном дне статуи из бронзы великолепной работы. Одна, прекрасно сохранившаяся, изображает мальчика, облаченного в изящно исполненный костюм всадника. Вторая — Эрос (или Амур) с покрытой вьющимися волосами головой; у этой статуи отсутствуют руки. Находки, датированные I в. н.э., представляют собой крайне редкий случай встречи с античным искусством в зоне французского Средиземноморья. После реставрации эти образцы типовой скульптуры помпейских домов обогатят коллекции музея Кап д'Ажд.

Sciences et Avenir. 2002. №662. P.36 (Франция).

В феврале 2002 г. был закрыт научно-исследовательский реактор HFR в Петтене (Нидерланды), принадлежащий Объединенному исследовательскому центру Европейского союза. Вступивший в строй около 40 лет назад, он использовался как для научных целей, так и для производства более половины всех изотопов, применяемых в медицине. Еще 18 лет назад в его системе охлаждения была замечена микроскопическая трещина, которая теперь, вероятно, начала расширяться. Хотя голландский министр по охране природной среды и считает реактор безопасным, все же он настаивает на том, чтобы разрешение на его дальнейшую эксплуатацию было дано только после соответствующего заключения.

Science. 2002. V.295. №5557. P.945 (США).

# История клонально-селекционной теории

Г.И.Абелев

Понять явление в науке — значит увидеть его как часть некоей общей картины, принципа или закона. Наблюдая движение или взаимодействие физических тел, мы пытаемся выразить их как конкретный случай законов механики. Попадая в незнакомую местность, мы стремимся увидеть ее в контексте целого. Встретив неизвестное животное или растение, мы вносим их в общую систему. Без этого мы не поймем, с каким отдельным случаем имеем дело.

При работе с новым белком или геном первая задача — определить, к какому суперсемейству они относятся. Это сразу же укажет и на их происхождение, и на вероятную функцию. Все, что мы видим и анализируем, выражаем в виде частного случая общих законов, когда эти законы уже установлены. В ситуациях же, когда изучаемое явление не к чему отнести, когда его координаты неизвестны и оно «висит в воздухе», его используют как окно, позволяющее заглянуть в контекст и увидеть хотя бы контур общей картины. Именно так было с антителами, послужившими своеобразным «окном» в систему иммунитета.

## Токсины — антитоксины

Сейчас мы знаем, что в основе иммунитета специфического, приобретенного (в отличие от неспецифического, или врожденного) лежит принцип селекции антигенраспознающих клонов и что образование антител — частный случай реализации этого принципа [1]. Но более 100 лет назад — в 1892 г. — когда антитела были открыты, такой принцип не существовал даже в виде отдаленной гипотезы [2]. Вслед за открытием продукции дифтерийного и столбнячного токсинов, в пору повального увлечения вакцинацией, молодые со-



*Гарри Израйлевич Абелев, академик, ученик и последователь Л.А.Зильбера, заведующий лабораторией иммунологии Института канцерогенеза онкологического научного центра им.Н.Н.Блохина РАМН. Лауреат премии «Триумф». Основная область научных интересов — иммунохимия и иммунология рака.*

трудники Коховского института бактериологии в Берлине Э.Беринг и С.Китозато попытались иммунизировать животных против токсинов. Эксперимент сразу же удался. Сыворотка крови нейтрализовала токсины! Но что при этом появилось в крови? Дискретные вещества, нейтрализующие токсины (антитоксины), или некие измененные «коллоиды сыворотки крови»? Это оставалось неясным долгие годы. Яркий и глубокий немецкий исследователь того времени П.Эрлих, считавший, что токсины действуют на клетки, имеющие специфические рецепторы, с тех же позиций стал рассматривать и гипотетические антитоксины, и токсины. Согласно его гипотезе, токсины действуют на клетки, содержащие на своей поверхности связывающие их рецепторы. Антитоксины, по Эрлиху, — те же рецепторы, но синтезирующиеся в избытке и попадающие в кровь, где они связывают и нейтрализуют токсин [2].

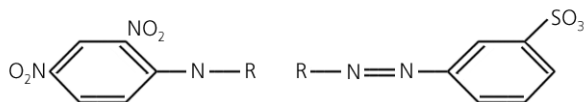
© Г.И.Абелев

Из гипотезы следовало, что антитоксины (будущие антитела) существуют до иммунизации (до попадания токсина в организм) в клетках всех чувствительных к токсину тканей и что разные антитоксины имеют различную химическую природу. Таким образом, гипотеза Эрлиха, единственная более или менее полная, предлагала токсин—антитоксиновый контекст для интерпретации и дальнейшего анализа нового иммунологического феномена, который, надо сказать, сразу дал колоссальный клинический эффект — спасение больных дифтеритом и столбняком. И хотя гипотеза Эрлиха в то время лишь графически объясняла образование антител, она предлагала взгляд на антитела как на химические реагенты, специфически узнающие антиген и образующие с ним определенный комплекс.

## Ключ к замку

В течение 30—40 лет после открытия антител их изучали независимо от гипотез о происхождении — просто как вещества сыворотки крови, реагирующие с антигеном. Такая задача не требовала общепризнанных гипотез о механизмах их образования, но они, конечно, высказывались (хотя и заметного влияния на ход дела не оказывали). Факты же об антителах накапливались, влияя, естественно, и на гипотезы об их образовании. Оказалось, что антитела образуются и на нетоксических веществах и на таких совсем безвредных клетках, как, например, эритроциты других особей или других видов животных.

Самым серьезным ударом для гипотезы Эрлиха стали классические работы австрийского исследователя К.Ландштейнера [2, 3]. Он вводил в состав белка-носителя посредством ковалентной диазосвязи небольшую молекулу, например, динитрофенила (ДНФ) или арсанитовой кислоты (рис.1) и иммунизировал таким конъюгатом кроликов. Полученные антитела к ДНФ-белку (анти-ДНФ) он использовал в тест-системе: анти-ДНФ + ДНФ-белок. Образование специфического осадка (реакция преципитации) подавлялась избытком ДНФ. Отсюда следовало, что антитела распознают ДНФ и реагируют с ним. Потом выяснилось, что взаимодействие анти-ДНФ с ДНФ высоко специфично и реакция подавления преципитации отличает ДНФ от три-нитрофенила (ТНФ), диффе-



Антигенные детерминанты (гаптены). Слева — динитрофенил, введенный в белок (R) через  $\xi$ -аминогруппу лизина. Справа — ази-фенилсульфоновая кислота, конъюгированная с тирозином белка R.

ренцирует орто- и мета-ДНФ и другие группировки, введенные в белок, такие как сульфаниловая или арсанитовая кислоты. Эти малые химические группы, сами по себе не вызывающие образование антител, но приобретающие эту способность при введении в белок и определяющие специфичность комплекса, назвали гаптенами.

Подобные опыты показали, что громадное количество веществ, даже не встречающихся в живой природе, приводят к появлению высокоспецифичных антител, хотя они заведомо не попадали в организм продуцента. Стало очевидным, что антитела необязательно антитоксины, что каждый антиген индуцирует антитела заново и в полном соответствии с его структурой и что они подходят друг другу, как ключ к замку. Значит, антитела не существуют до встречи с антигеном.

Эти представления позже получили название инструктивных гипотез образования антител, в которых антиген стали рассматривать как матрицу для синтеза комплементарных антител. Такие гипотезы предлагали, чтобы объяснить, как антигены инструктируют синтез антител, но биохимический механизм оставался непонятным. К началу или середине 30-х годов стало ясно, что антитела — это дискретные вещества, белки с определенным молекулярным весом, зарядом и другими физико-химическими параметрами, т.е. обладающие химической формулой. При этом их структура должна быть комплементарной структуре антигена (как упомянутый уже ключ к замку).

## Матричные гипотезы

Сначала гипотезы выдвигались химиками, а сама проблема представлялась чисто биохимической. Первая гипотеза прямой матрицы предполагала, что антитела синтезируются на поверхности антигена, на которой располагаются молекулы аминокислот, сшивающихся в цепочку, комплементарную конформации антигена. Антитела должны отличаться друг от друга первичной структурой, т.е. соотношением и последовательностью аминокислот в молекуле белка. Такой взгляд на структуру и образование антител полностью соответствовало тогдашним представлениям о синтезе белка на белковой же матрице.

Однако гипотеза прямой матрицы вскоре пришла в противоречие с представлением об идентичности первичной структуры антител (т.е. последовательности аминокислот). Данные, полученные английским биохимиком Р.Портером, впоследствии нобелевским лауреатом, свидетельствовали не только о сходстве первичной структуры антител, но и об их одноцепочечном строении. И то и другое оказались неверными. Но в начале 40-х годов эти представления воспринимались как доказанные. Вскоре место первой гипотезы прямой матрицы заняла вторая.

Л.Полинг (нобелевский лауреат по химии) и Д.Кембелл, известный иммунохимик, предположили, что до встречи с антигеном синтезируется «заготовка» для антител в виде полипептидной цепочки, не имеющей окончательной конформации. При контакте с антигеном оба конца полипептидной цепи приобретают комплементарность к небольшим участкам антигена и стабилизируются путем образования дисульфидных связей. Схему приняли с энтузиазмом — она объясняла существование огромного количества антител, возникающих на основе немногих вариантов аморфных заготовок — протоантител. Она указывала, как антиген инструктирует образование комплементарных, строго специфических антител, и соответствовала данным об идентичности первичной структуры антител и их двувалентности, равно как и распознаванию антителами небольших детерминантных групп в молекуле антигена.

Авторы подтвердили свою гипотезу экспериментально, получив антитела или их подобие *in vitro*, — добавляя в пробирке к денатурированным прогреванием белкам сыворотки крови химический гаптен. Впрочем, данные эти в дальнейшем не воспроизводились. Таким образом, гипотеза матрицы довольно просто объясняла специфичность и разнообразие антител на основе имевшихся тогда представлений. До середины 70-х годов она оставалась наиболее простой и естественной в объяснении разнообразия и специфичности антител. Гипотеза не предполагала предсуществования антител, т.е. некоего дополнительного принципа, требующего собственного объяснения, причем явно не тривиального, и не нуждалась в существовании неограниченного количества генов, контролирующих синтез рецепторов к антителам (антител рецепторов), которые вряд ли уместились бы в геноме животного.

Напомню, что матричные гипотезы создавали химики, решая химические и биохимические задачи — определение специфичности антител и ее возникновение в процессе биосинтеза белка. Но иммунитет не только химия, он не сводится полностью к специфичности, его неотъемлемое свойство — *horror autotaxis* — боязнь самоотравления, по выражению Эрлиха, или, как позже сформулировал Бернет, — способность отличать «свое от не своего».

Другая обязательная характеристика иммунитета — способность при повторном контакте с антигеном отвечать образованием антител быстрее, сильнее и специфичнее, чем при первом (иммунологическая память). На этом свойстве основана вакцинация, с которой и началось изучение приобретенного иммунитета. И наконец, самый «молодой» (1953) феномен — толерантность — утрата способности реагировать на данный антиген вследствие контакта его с организмом в ходе эмбрионального развития. Как можно было объяснить эти свойства матричными теориями? Какие

эксперименты предлагали они для исследования иммунитета? В чем их конструктивность?

А профессионала в первую очередь интересует именно конструктивность — план эксперимента, диктуемый гипотезой и дающий ему возможность по-новому подойти к проблеме. Конструктивность нужна исследователю для повседневной работы, и он нуждается в ней даже больше, чем в объяснении известных фактов и явлений. С точки зрения профессионала, гипотеза больше оценивается по ее конструктивности, чем по объяснительной способности.

Так что же диктовали матричные гипотезы? Для каждой из перечисленных особенностей иммунитета они требовали дополнительных допущений, но общая картина была мозаичной, лишенной цельности. А эксперименты, не совместимые с ней? Гипотеза не предвидела принципиально новых экспериментов. Возник теоретический вакуум, и потребность в новом взгляде висела в воздухе.

## Продукция антител

Австралийский ученый М.Бернет, работавший с вирусными инфекциями и знавший иммунитет как микробиолог, эпидемиолог и медик, думал преимущественно о его биологических особенностях. Он впервые четко сформулировал проблему: как объяснить с единых позиций главные особенности иммунитета — способность отличать чужеродные макромолекулы от собственных, память и толерантность [4]. Он, вероятно, чувствовал, что за этими, казалось бы разрозненными явлениями стоит единый принцип и стремился разглядеть его под поверхностью до банальности известной феноменологии. И он вглядывался немного со стороны — не был профессиональным иммунологом, не обязан был иметь готовый ответ. Главный сдвиг в понимании проблемы, сделанный Бернетом: не матрица отвечает за особенности иммунитета, а динамика антителообразующих клеток (АОК). Как возникают эти клетки — вопрос отдельный, но раз возникнув, популяция этих клеток и ее динамика определяют всю картину иммунитета. Сохранение памяти о первичном контакте с антигеном — это сохранение потенциальных продуцентов антител; усиленный и ускоренный вторичный ответ — готовая популяция предшественников антителообразующих клеток. Отсутствие ответа на собственные антигены еще оставалось загадкой, но допускалось, что собственные антигены имеют метку «своего», освобождающую их от иммунного ответа.

Эти взгляды сформулированы в 1949 г. в монографии Бернета и Феннера «Продукция антител» («The production of Antibodies»), где выдвинута гипотеза непрямо́й матрицы: антиген каким-то образом меняет структуру или конформацию РНК (наиболее вероятную в то время матрицу для син-

теза белка), которая обладает и самовоспроизводимостью, вследствие чего возникает клон клеток, синтезирующих комплементарные к антигену антитела. Гипотеза мало повлияла на ситуацию в иммунологии и не заполнила теоретический вакуум. Она не отвечала на вопрос: как и почему РНК реагирует на антиген адекватными изменениями, ведущими к синтезу антиген-специфических антител? Она не заменяла «классической» матрицы. Один тупик заменялся другим.

Выход намечился в другой, вполне независимой серии работ. Оказалось, что сродство антител к антигену варьирует чрезвычайно широко — от полного соответствия к уменьшению вплоть до сродства неспецифического глобулина. Выяснилось также, что с помощью высокочувствительных методов, например используя в качестве антигена бактериофаг\*, соответствующие антитела можно обнаружить в очень малых количествах в крови неиммунного животного и до введения антигена.

Возникла мысль, что в крови предсуществует весь спектр возможных антител (в ничтожно малых количествах и с низким сродством), который создается микровариантами глобулинов нормальной сыворотки. Антиген, попадая в кровь, находит свое антитело, образующийся комплекс поглощается антителообразующими клетками (тогда думали, что это макрофаги) и стимулирует продукцию данного варианта антител. Антиген отбирает наиболее аффинные антитела, и процесс повторяется, приводя и к индукции соответствующих антител, и к повышению их специфичности. Процесс иммунизации — аналог естественного отбора, а антиген — его ведущий фактор. Так вновь появилась идея о предсуществовании антител и о сути иммунизации. Идея принадлежала датскому иммунологу Н.Йерне (Jerne) и была опубликована в 1955 г. Ее сильная сторона заключалась в новом подходе к специфичности: высокоспецифичные антитела возникают из малоспецифичного предшественника путем «естественного отбора». В остальном — в механизме памяти и толерантности, а также в конструктивности — большого прорыва не было.

Но эта мысль была услышана Бернетом и дала недостающий толчок его представлениям [4]. Он разместил популяцию предсуществующих антител в виде рецепторов на поверхности предшественников антителообразующих клеток так, чтобы рецепторы одной специфичности были на мембране одной клетки. Одна клетка — одно антитело. Антиген, попадая в организм, находит свой рецептор на своем предшественнике АОК и стимулирует его к пролиферации, образуя клон данной специфичности. При этом специфичность антителообразующих клеток непрерывно повышается в процессе иммунизации, так как отбираются специфичные варианты, обладающие более высоким сродством к антигену. Толерантность с этой точки

\* Инактивация бактериофагов относится к наиболее чувствительным иммунологическим реакциям.

зрения — выпадение клонов АОК, реагирующих с антигеном в ходе эмбрионального развития. Тот же механизм ведет к отсутствию реакции на «свое» — соответствующие клоны выпадают в онтогенезе, при созревании иммунной системы.

Нужно оценить смелость гипотезы и потому, что в то время не была установлена природа ни антителообразующих клеток, ни их предшественников, еще не было показано, что антитела или их предшественники присутствуют в виде рецепторов на поверхности АОК, что антиген стимулирует пролиферацию предшественников АОК, не говоря уже о господствовавшем тогда мнении, что одна антителообразующая клетка продуцирует антитела лишь одной специфичности.

## Взлеты и падения клональной теории

Надо ли говорить, как была встречена новая клонально-селекционная теория Бернета? С радостью — из-за возможности ее легко опровергнуть, в штыки — из-за полного несоответствия общепринятой матричной точке зрения. Она была высоко конструктивна: диктовала совершенно новые эксперименты, призванные ее полностью опровергнуть.

Первое: одна клетка — одно антитело. Не более двух. (Если структура антител определяется геном, то пара хромосом в антителообразующей клетке может контролировать два антитела.) Совершенно ново, вполне проверяемо, и если одна клетка продуцирует несколько антител — теория не проходит.

Второе: критический минимум клеток, необходимый для индукции иммунного ответа. Он должен быть не менее числа специфичностей антител, в противном случае произвольно взятый антиген не найдет предшественника АОК и не включит его в «естественный отбор».

Наконец: несколько феноменов, плохо совместимых с клонально-селекционной теорией — аутоиммунные болезни, т.е. принципиальная возможность синтеза антител против «своего», и конкуренция антигенов при иммунизации. Если иммунная система — это мозаика клонов, то как объяснить конкуренцию антигенов?

Клонально-селекционная теория, опубликованная Бернетом в 1957 г. (в развернутом виде, как монография — в 1959-м [5]), была услышана всеми, но вызвала массовое неприятие и энтузиазм, направленный на ее опровержение.

Одновременно и независимо от Бернета тот же принцип был высказан американским исследователем Д.Тэлмеджем [6]. Исследуя кривые образования антител, он увидел, что они идентичны кривым экспоненциального размножения клеточной популяции. На этом основании Тэлмедж предположил, что в основе продукции антител лежит проли-

ферация клона антителообразующих клеток, синтезирующих антитела определенной специфичности. Роль антигена заключается в том, чтобы найти и запустить в пролиферацию клон клеток, предназначенных к синтезу данных антител. Антигена для сохранения «памяти» уже не требуется. Правда, работа Тэлмеджа не вызвала ни положительного, ни отрицательного резонанса. Реакция иммунологического сообщества была направлена на Бернета — на опровержение его теории.

Итак, одна клетка — одно антитело. Это положение казалось наиболее уязвимым. Самые первые опыты, поставленные молодым сотрудником Бернета Г.Носселом и американским профессором Дж.Ледербергом, подтвердили гипотезу. В их опытах использовались сальмонеллы (брюшнотифозные бактерии), имеющие соматический (О) и жгутиковый (Н) антигены. Антитела к О-антигену давали агглютинацию по одному типу, а анти-Н склеивали бактерии по другому (рис.2). Одиночные клетки селезенки, взятые от иммунизированного целыми бактериями животного и помещенные в микрокапли, которые содержали взвесь бактерий, давали агглютинацию одного типа — либо О, либо Н. Клеток, продуцирующих антитела к Н и О, авторы не обнаружили. Это был первый и притом поразительно четкий и красивый положительный результат.

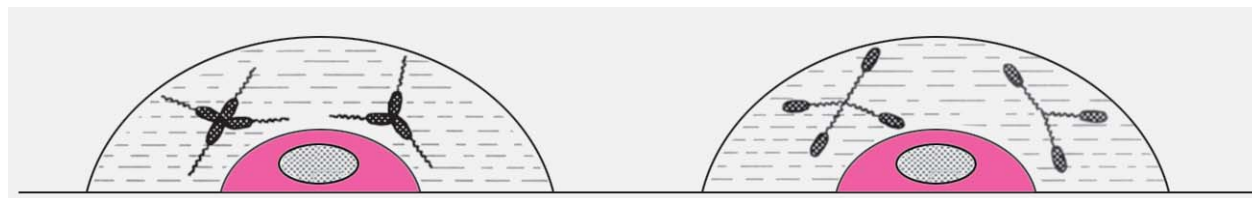
Однако в последующие годы стали появляться данные о продукции клеткой двух или трех антител, что было несовместимо с клонально-селекционной теорией. Со временем эти результаты не подтвердились, а гипотеза «одна клетка — одно антитело» получала доказательства с разных сторон. К началу 70-х годов стало ясно, что даже при иммунизации одним белком в организме возникают антителообразующие клетки, продуцирующие антитела к различным детерминантам одной и той же молекулы. Исключения из этого правила были вызваны экспериментальными ошибками. Правда, все эти данные относились к зрелым АОК, а не к их предшественникам, постулируемым теорией Бернета. Вполне возможно, что моноспецифичные АОК возникали из полипотентных предшественников, активированных антигеном или даже одной его детерминантной группой [3].

Проблема «критического минимума» клеток, необходимых для индукции иммунного ответа, также прошла через ряд драматических этапов.

Сначала сам Бернет разработал наглядную систему выявления иммунологического ответа лейкоцитов *in vitro* по их видимой реакции на клетки хориоантлантоисной оболочки. При реакции лейкоцитов на антигены полупрозрачной оболочки появлялись четкие бляшки. Бернет определил, сколько клеток крови донора надо, чтобы возникла бляшка у иммунологически несовместимых кур. Оказалось — 70, что по крайней мере на два-три порядка меньше, чем требовала клональная гипотеза. По расчету, необходимая для реакции с любым, произвольно взятым антигеном антителообразующая клетка должна бы присутствовать в популяции с частотой не менее  $1/10^4$ — $1/10^5$ . Поскольку детерминантная группа белка состоит из четырех-пяти аминокислот, предельное число сочетаний по четыре или пять из 20 дает величину, существенно меньшую (не  $10^4$ — $10^5$ , а соответственно  $5 \cdot 10^3$ — $15 \cdot 10^3$ ). При меньшей частоте (а в опытах Бернета —  $1/10^2$ ) гипотеза себя отвергала. Однако в этих опытах нельзя было определить, сколько антигенов участвовало в реакции (их могло быть очень много), да и частота иммунного ответа на антигены тканевой совместимости, как оказалось в дальнейшем, исключительно высока (до  $1/10$ ), что и сегодня весьма загадочно. Во всяком случае такая система для проверки клональной теории не годилась. Но самый серьезный удар был нанесен, когда *in vivo*, в селезенке облученных мышей, были получены клоны кровяных клеток. Они восстанавливали иммунный ответ у тотально облученного животного. Оказалось, что смесь клеток из четырех или семи клонов восстанавливает иммунологический ответ животного на произвольно взятый антиген, т.е. четыре—семь клонов вместо постулируемых  $10^4$ — $10^5$ .

Эти данные были доложены на международной конференции в 1963 г., и Бернет публично отказался от своей теории, перенес принцип селекции внутрь клетки. Конечно, такая модификация если и не сводила на нет весь смысл клонально-селекционного принципа, то существенно его обесценивала. Но данные в пользу теории продолжали накапливаться. Прямое определение числа клеток, способных реагировать с произвольно взятым меченым антигеном, соответствовало  $1/10^4$ — $1/10^5$ .

Иммунокомпетентность облученных животных восстанавливалась трансплантацией клеток костного мозга, селезенки или лимфатических узлов,



Агглютинация бактерий в микрокаплях, содержащих одну антителообразующую клетку (выделена цветом). Соматическая агглютинация антителами к О-антигену (слева) и жгутиковая к Н-антигену.



если их количество соответствовало ожидаемому, т.е.  $10^4$ — $10^5$ . Удаление с помощью иммуносорбента иммунокомпетентных клеток, реагирующих на данный антиген, лишало эту популяцию способности реагировать на него, не снижая реактивность на другие антигены. Опыты моделировали и толерантность, основанную согласно теории, на выпадении предсуществующих клонов. Одним из самых результативных стал метод Йерне, позволявший идентифицировать АОК и определять их число при ответе на антигены чужеродных в видовом отношении эритроцитов или на любые антигены, химически конъюгированные с эритроцитами. Антителообразующие клетки определялись в суспензии клеток селезенки, смешанных в геле агарозы с эритроцитами, взятыми для иммунизации. Добавление комплемента\* после кратковременной инкубации приводило к гемолизу эритроцитов вокруг клеток, продуцирующих антитела. Метод Йерне позволил построить количественную кривую динамики антителообразующих клеток, которая полностью соответствовала восходящей части кривой антителообразования. Стало ясно, что эта кривая отражает динамику популяции АОК, а не интенсивность матричного (или иного внутриклеточного) синтеза антител.

## Признание

Итак, теория явно набирала предсказательную и конструктивную силу, несмотря на, казалось бы, сокрушительную, ниспровергающую ее аргументацию. Со временем выяснилось, что кроветворные колонии в селезенке облученных мышей образованы полипотентными стволовыми клетками кроветворной ткани на очень ранней стадии дифференцировки. Эти клетки дают предшественников всех ветвей дифференцировки кроветворной ткани, в том числе предшественников антителообразующих клеток, находящихся еще на стадии доклональной дифференцировки. Поэтому клоны стволовых клеток совсем не соответствуют клонам предшественников антителообразующих клеток, что впоследствии и подтвердилось.

\* Система комплемента вызывает лизис эритроцитов (гемолиз), на которых фиксированы антитела.

## Литература

1. *Абелев Г.И.* Основы иммунитета // Соросов. образоват. журн. 1966. №5. С.4—10.
2. *Ульянкина Т.И.* Зарождение иммунологии. М., 1996.
3. *Гауровитц Ф.* Иммунохимия и биосинтез антител. М., 1969.
4. *Бернет М.* Целостность организма и иммунологические реакции. М., 1963.
5. *Burnet M.* The clonal selection theory of acquired Immunity. Cambridge, 1959.
6. *Talmage D.* Is this theory necessary // Immunology 1930—1980 / Ed. P.Mazumdar. Toronto, 1990. P.67—72.
7. *Абелев Г.И.* Моноклональные антитела // Соросов. образоват. журн. 1998. №1. С.16—20.
8. Энциклопедия современного естествознания. Т.II. Общая биология. Раздел «Иммунология» / Под ред. В.Н.Сойфера и Ю.П.Алтухова. М., 1999. С.207—240.

Таким образом, к началу 70-х годов клонально-селекционный принцип прочно вошел в иммунологию, хотя никто не показал, что матрица или антиген не «инструктируют» синтез антител. Контуры общей теории иммунитета выразительно прорисовывались. В основу системы иммунитета легла совокупность микроклонов, отличающихся непрерывным спектром моноспецифических рецепторов, которые реагируют с любым антигеном. Роль антигена сводилась к взаимодействию с клоном, несущим комплементарный рецептор, и к стимуляции пролиферации этого клона. Это представление утвердилось к середине 70-х годов и не требовало уже специальных доказательств.

Но окончательно теория была доказана с помощью метода, позволившего получать моноклональные антитела [7]. Выяснилось, что клоны антителообразующих клеток, ранее не жизнеспособные в длительной культуре, моноспецифичны, несут на своей поверхности антительные рецепторы и существуют до встречи с антигеном. Более того, были получены гибридомы (гибриды опухолевой клетки с цитотоксическими лимфоцитами), которые также клонированы, моноспецифичны, несут на своей мембране антигенраспознающие рецепторы и существуют до встречи с антигеном. Принцип селекции клонов приобрел универсальность. Встали на свое место и плазматомы — опухоли антителообразующих клеток, продуцирующие строго гомогенные, моноклональные иммуноглобулины, и многочисленные лимфомы — злокачественные клоны клеток предшественников антителообразующих клеток или цитотоксических лимфоцитов.

Итак, клонально-селекционная теория иммунитета постулировала их предсуществование. Но не объясняла, как оно возникает — на основе конформационных вариантов протоантител, имеющих идентичную первичную структуру, или же отличающихся по первичной структуре, а значит — генетически? Каков генетический контроль синтеза иммуноглобулинов? Как возникают миллионы предсуществующих антител? Очевидно, эта проблема, получившая название генерации разнообразия антител, — фундаментальна для иммунологии. Несмотря на свою кажущуюся неразрешимость, она была блестяще решена и вошла в число основополагающих принципов иммунологии [8]. ■

# Новости науки

## Астрофизика

### Найден источник космических лучей?

Космические лучи — частицы высоких энергий (в основном протоны) — проникают в атмосферу Земли со всех направлений. Внеземная природа этих частиц была впервые установлена в 1912 г. австрийским физиком В.Гессом. Хотя с тех пор накоплен обширный наблюдательный материал и появилось немало теоретических работ, общепринятого представления об источнике космических лучей и механизме их ускорения пока нет. Между тем благодаря своему изобилию и высокому энергиям они играют важную роль в динамическом балансе нашей Галактики, а также инициируют химические реакции в плотных холодных межзвездных облаках.

Еще в 1933 г. американские астрономы В.Бааде и Ф.Цвикки предположили, что адекватным источником энергии для космических лучей могут служить вспышки сверхновых, для чего необходимо, чтобы в энергию этих лучей переходило не менее нескольких процентов полной механической энергии, вырабатываемой Галактическими сверхновыми. Ускорение частиц — главным образом протонов — происходит в ходе взаимодействия ударной волны, образующейся при вспышке сверхновой, с окружающим ее межзвездным газом. Предположение о связи между сверхновыми и космическими лучами представляется естественным, однако до сих пор оно подкреплялось лишь теоретическими аргументами.

Наблюдательным подтверждением этой гипотезы могли бы стать гамма-кванты с энергиями

порядка нескольких ТэВ ( $10^{12}$  эВ), источник которых находился бы в остатке вспышки сверхновой. Такие гамма-кванты генерируются при распаде короткоживущих  $\pi^0$ -мезонов, которые в свою очередь образуются при взаимодействии ускоренных ударной волной протонов с межзвездным газом. Это гамма-излучение называется адронным, поскольку порождающие его протоны и  $\pi^0$ -мезоны относятся к адронам. Трудность заключается в том, что в остатках сверхновых действует еще один механизм генерации гамма-лучей «нужной» энергии, но он связан с ускорением электронов, а не протонов. Это излучение генерируется в результате обратного комптоновского рассеяния фотонов реликтового микроволнового фона на ускоренных вспышкой электронах и называется лептонным. По счастью, спектры адронного и лептонного излучений отличаются друг от друга. Лептонное обнаружено уже в нескольких остатках сверхновых, а все попытки зафиксировать в них адронное излучение до сих пор оборачивались неудачей. Это заставляло предполагать, что связь между ускорением космических лучей и сверхновыми, несмотря на кажущуюся очевидность, отсутствует. Однако Р.Эномото (R.Enomoto; Токийский университет) и его коллегам впервые удалось доказать, что невозможность регистрации адронного гамма-излучения остатков сверхновых связана не с его отсутствием, а всего лишь с недостаточной чувствительностью наблюдательной техники.

С помощью японо-австралийского телескопа CANGAROO (Collaboration of Australia and Nippon for a GAMMA Ray

Observatory in the Outback), в котором регистрируется черенковское излучение, возникающее при прохождении гамма-квантов через верхние слои атмосферы, они обнаружили жесткое гамма-излучение остатка сверхновой RX J1713.7–3946. Спектр этого источника в гамма- и других диапазонах согласуется с адронным происхождением жестких фотонов и не согласуется с другими механизмами.

Интенсивность гамма-излучения от остатка RX J1713.7–3946 говорит о том, что оно рождается в относительно плотной среде, вероятно в расположенном неподалеку от сверхновой молекулярном облаке с массой  $10^5 M_{\odot}$ , которое было замечено при наблюдениях этого участка неба в инфракрасном диапазоне. Пик яркости остатка RX J1713.7–3946 в гамма-диапазоне приблизительно совпадает с этим облаком; moreover, невысокая позиционная точность телескопа CANGAROO не позволяет утверждать это с уверенностью. На ту же область приходится и пик нетеплового рентгеновского излучения.

Таким образом, учеными из Японии и Австралии впервые доказано, что в остатках сверхновых происходит ускорение протонов до околосветовых скоростей. Чтобы надежнее установить связь между этим явлением и космическими лучами, нужно будет еще доказать типичность остатка RX J1713.7–3946, т.е. обнаружить адронное гамма-излучение и от других подобных остатков. Вероятно, это удастся сделать с помощью новых гамма-детекторов, ввод которых в ближайшее время планируется в США, Европе и Австралии. Nature. 2002. V.416. №6882. P.823 (Великобритания).

## Недавняя катастрофа в поясе астероидов

В жизни Солнечной системы столкновения астероидов играли и играют большую роль. На ранних этапах ее эволюции в результате подобных событий астероиды наращивали массу и постепенно превращались в планетезимали — зародыши планет. В современном поясе астероидов столкновения сбивают малые планеты с привычных орбит и могут направить их в центр Солнечной системы, где они станут потенциально опасными для Земли.

При каких условиях астероид в результате столкновения разрушается? Что происходит с обломками? Как влияют на разрушение астероида трещины в его теле? Не исключено, что однажды перед землянами встанет необходимость разрушить астероид, угрожающий нашей планете глобальной катастрофой. Можно ли попытаться устранить опасный астероид с помощью ядерного взрыва или лучше поискать более безопасные методы? Смоделировать этот процесс в лаборатории вряд ли когда-нибудь удастся в полном объеме, поэтому ученым приходится довольствоваться теми экспериментами, которые устраивает для них природа.

Предполагается, что именно в результате столкновений возникают семейства астероидов — группы малых планет на близких орбитах и со сходными спектрами отражения. К сожалению, большинство подобных групп возникли очень давно, сотни миллионов лет назад, и потому восстановить эволюцию их орбит в подробностях не представляется возможным. Многочисленные хаотические внешние факторы (столкновения членов семейства друг с другом, гравитационные возмущения от планет и крупных астероидов, негравитационные силы и пр.) до неузнаваемости меняют орбиты астероидов, затрудняя восстановление картины образования семейства и его идентификацию.

Но есть, оказывается, и замечательные исключения. Проанализировав базу данных об элементах орбит астероидов с помощью специального алгоритма, Д.Несворны (D.Nesvorny; Юго-Западный исследовательский институт в Боулдере, США) и его коллеги обнаружили, что в семействе малой планеты Коронис, образовавшемся около миллиарда лет назад, выделяется меньшая группа из 39 астероидов, орбиты которых гораздо ближе друг к другу, чем обычно бывает в таких семействах. Новоявленную группу назвали семейством Карин — по имени самого крупного в нем астероида.

Проинтегрировав обратно во времени орбиты 13 самых больших тел из семейства Карин, авторы работы обнаружили, что 5.8 млн лет назад все они пересеклись в одной и той же точке пространства. Вероятность того, что такое взаимное расположение 13 орбит возникло случайно, не превышает  $10^{-6}$ . По астрономическим меркам, 5.8 млн лет — срок небольшой, поэтому в орбитах еще сохранилась «память» о столкновении, и именно потому его дату впервые удалось определить с такой высокой точностью.

В семействе Карин диаметры наиболее крупных астероидов равны 19 и около 14 км; размеры остальных членов этой группы заключены в пределах от 7 до 2 км. По оценкам авторов, они были фрагментами 25-километровой малой планеты, с которой на скорости 5 км/с столкнулся трехкилометровый астероид. Численные модели предсказывают, что при ударном разрушении монолитного тела образование двух почти равных обломков маловероятно. По-видимому, их родительский астероид был изначально пронизан трещинами.

В будущем семейство Карин, вероятно, станут использовать в качестве стандарта для проверки моделей динамической эволюции астероидов. Комментируя результаты Несворны и его коллег, Д.Ричардсон (D.Richardson; Мэрилендский университет, США) полагает, что малые планеты из этого семейства

следует обязательно принимать во внимание при планировании будущих космических экспедиций в пояс астероидов. Молодость группы Карин означает, что поверхности сколов лишь в малой степени подверглись действию космического выветривания, а значит, представляют собой допланетное вещество в первозданном виде. Nature. 2002. V.417. №6890. P.720 (Великобритания).

## Метеоритика

### Зафиксирован электрофонный звук болидов

С давних времен очевидцы падения метеоров указывали, что их полет изредка сопровождается треском или хлопком. Еще в XVII в. ученые отмечали, что эти звуки не могут быть обычной акустической волной, образующейся при сгорании метеора в атмосфере: все наблюдавшие подобные явления сходились в одном: звук возникает одновременно с появлением метеора или даже за долю секунды до него. Из-за скудности наблюдательных данных эта загадка существовала до 1980-х годов, когда появилась первая, электрофонная, теория генерации звуков, разработанная К.Кэем (C.S.L.Keay; Университет г.Ньюкасла, Австралия) и российским ученым В.А.Бронштэном<sup>1</sup>. Они предположили, что турбулентность в «кильватерной струе» за метеором может изгибать силовые линии магнитного поля Земли, генерируя электромагнитные волны сверхнизкой частоты (СНЧ). Эти радиоволны распространяются со скоростью света и потому достигают наблюдателя одновременно с появлением метеора. Звук же возникает в результате индуцируемой СНЧ-волнами вибрации обычных объектов с диэлектрическими свойствами. Однако для проверки этой теории нужны были точные наблюдательные данные.

В 1998 г. ученые из Физического общества Хорватии и Кентуккского университета (США) от-

<sup>1</sup> Бронштэн В.А. // Астрон. вестн. 1983. Т.17. №2. С.94—98.

правились в Монголию, чтобы во время максимума метеорного потока Леонид попытаться инструментально зафиксировать звучание метеоров. Экспедиция расположилась далеко от населенных районов, чтобы до минимума снизить уровень посторонних радиои аудиощумов. В эксперименте использовались видеокамера, СНЧ-радиоприемники, открытые и акустически изолированные от наблюдателей микрофоны. Интенсивность потока Леонид в ночь с 16 на 17 ноября была относительно невысока (около 150 метеоров в час), тем не менее почти все метеоры оказались яркими болидами, что делало их потенциальными источниками электрофонных звуков.

За все время наблюдений удалось надежно зафиксировать два электрофонных звука. Первый был порожден болидом с блеском  $-6.5^m$  в 19:33 Всемирного времени 16 ноября 1998 г. Одновременно с его появлением два наблюдателя услышали кратковременный хлопок; по данным акустической системы, это был низкочастотный (ниже 250 Гц) и короткий (менее 0.12 с) звук, раздавшийся за 0.7 с до максимума блеска метеора. Час спустя второй звук, более громкий, сопровождал полет болида с яркостью  $-12^m$ . Его услышали уже шесть человек. Согласно данным акустической системы, звук появился за 0.6 с до максимума блеска болида, длился 0.074 с, а частота его равнялась приблизительно 40 Гц. Сопоставление записей с микрофонов заставляет предположить, что звук, зафиксированный изолированным микрофоном, возникал в деталях его конструкции. Ни для одного из двух электрофонных звуков сопутствующее радиоизлучение не зарегистрировано. Скорее всего это объясняется тем, что оба звука оказались очень низкими. Приемное оборудование Хорватской экспедиции было чувствительно лишь к радиосигналу с частотой свыше 500 Гц (если звук действительно генерируется электромагнитной СНЧ-волной, их частоты должны совпадать).

К сожалению, представленные результаты теоретической ясны-

ти не добавили. Метеоры из потока Леонид имеют скорость  $\sim 70$  км/с, а порождающие их тела довольно хрупки: они испаряются в малоплотных слоях атмосферы на высотах более 70 км. В момент появления электрофонных звуков болиды находились на высоте  $\sim 100$  км. Поэтому возникновение развитой турбулентности в их следах маловероятно. Обобщив полученные данные, исследователи заключили<sup>2</sup>, что существующие теории не в состоянии объяснить наблюдаемые характеристики электрофонных звуков. Более того, по их мнению, всей энергии электромагнитных волн, которые способны излучить метеор, недостаточно для генерации слышимого звука на таком большом расстоянии. Г.Зграблич (G.Zgrablic) и его коллеги предполагают, что метеор служит лишь «спусковым крючком» какого-то более широкомасштабного явления в ионосфере.

© Д.З.Вибе,  
кандидат физико-математических наук  
Москва

## Электроника

### Гонка за создание магнитной оперативной памяти

Ведущие компьютерные компании включились в гонку за первенство в изготовлении энергонезависимых магнитных оперативных запоминающих устройств (МОЗУ), действие которых основано на эффекте гигантского магнитосопротивления. У запоминающих устройств, произведенных компанией IBM, время записи равно 2.3 нс (что соответственно в 1000 и 20 раз меньше, чем у энергонезависимых полупроводниковых флэш-ЗУ и сегнетоэлектрических ЗУ), а время считывания — 3 нс (в 20 раз меньше, чем у полупроводниковых динамических оперативных ЗУ). Фирма уже изготовила тестовые образцы одномогабайтного МОЗУ и готовится к выпуску в 2004 г. коммерчес-

<sup>2</sup> <http://fizika.org/ilwcro/results/newsrelease.html>

кой версии 256-мегабайтного устройства, которое сделано по технологии, позволяющей получать рисунок с разрешением 0.13 мкм (0.13 мкм-технологии). «Motorola» в 2004 г. планирует массовый выпуск МОЗУ емкостью 4 Мб.

Не собирается отставать от лидеров корпорация «Taiwan Semiconductor Manufacturing Co». Совместно с государственным предприятием «Electronics Research and Service Organization» она разрабатывает технологию осаждения и травления тонких магнитных пленок, структуру базовой ячейки и тестовые схемы. Тестовые структуры — магнитные туннельные переходы (многослойные «сэндвичи» из диэлектриков и магнитных материалов) — будут изготавливаться по 0.18 мкм-технологии. Формирование равномерного диэлектрического слоя толщиной не более 10 Å между двумя ферромагнитными слоями на пластине диаметром 200 мм — непростая, но чрезвычайно перспективная задача.

[http://www.siliconstrategies.com/printablearticle?doc\\_id=oeg20020322s0028;](http://www.siliconstrategies.com/printablearticle?doc_id=oeg20020322s0028)  
[http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/2\\_09/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/2_09/index.htm)

## Зоология. Этология

### Зайцы-лесорубы

Хорошо известно, что зимой зайцы питаются молодыми ветками и корой подростов лиственных деревьев и кустарников, например ив. При этом зверьки или скусываю молодые побеги, до которых могут дотянуться (наиболее предпочтительный вариант), либо обгрызают кору и луб с более толстых побегов, а при полной бескормице — и со стволов, «кольцуя» их. Последний способ питания с трудом обеспечивает энергетические потребности зверьков.

И вот недавно зоологи из Якутска Ф.Е.Пшенников (Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН) и В.И.Поздняков (Международная биостанция «Лена—Норденшельд») описали новый тип питания зайцев-беляков, наблюдавшийся ими в различных районах Якутии. Оказывается,

зверьки могут целенаправленно подгрызать стволы ивы или ольхи диаметром до 4,5 см и высотой до 4 м, валить их и затем спокойно лакомиться молодыми побегами, иначе для них недоступными. Ствол на небольшом участке подгрызается наискось с какой-либо одной стороны (в отличие, скажем, от бобров, которые работают «на конус»). При этом зайцу приходится сгрызать до 10 см<sup>3</sup> совершенно несъедобной для него древесины, т.е. о случайном падении ствола речи не идёт. Веток и коры на одном сваленном дереве бывает достаточно, чтобы обеспечить суточный рацион зайца.

Как отмечают исследователи, отсутствие в литературе сведений о столь оригинальном способе добывания пищи может объясняться его редкостью, появлением лишь в периоды высокой численности вида при острой нехватке кормов. В противном случае надо предположить, что в популяции зайца-беляка в Якутии появились особи с новой тактикой добывания корма, закрепление которой предоставляет возможность для выживания вида в экстремальных условиях и освоения новых местообитаний.

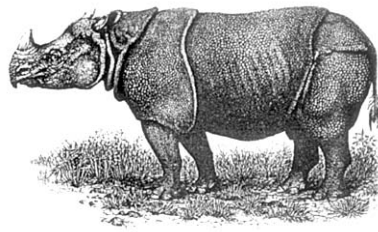
Зоологический журнал. 2002. Т.81. №4. С.510 – 512 (Россия).

### Охрана природы

#### У яванских носорогов прибавление

На протяжении последних двух лет в индонезийском национальном парке «Уджунг Кулон», расположенном на севере о.Ява, родилось четыре детеныша яванского носорога (*Rhinoceros sondaicus*) — на это убедительно указывают не только характерные следы животных и анализ навоза, но и снимки, сделанные скрытыми фотокамерами.

В настоящее время в парке обитает 50 особей яванского носорога. Биологи считают, что эта популяция — последняя, способная к воспроизводству (во вьетнамском национальном парке «Кат Тьен», например, осталось лишь несколько представителей



Яванский носорог.

этого исчезающего вида). Специалисты филиала Всемирного фонда дикой природы в Индонезии и сотрудники парка надеются, что численность яванского носорога возрастет здесь до 80 особей.

Terre Sauvage. 2001. №167. P.25 (Франция).

### Охрана природы

#### Уникальный лес погибает

На о.Суматра (Индонезия) произрастает тропический лес Тессо-Нило, который в биологическом отношении считается самым богатым среди равнинных лесов мира. Здесь на площади 1950 км<sup>2</sup> обитают тигры, гиббоны, тапиры. Богатством отличается и местная флора. Недавно ботаники провели выборочную перепись на девяти лесных участках площадью по 200 м<sup>2</sup> и обнаружили в общей сложности 218 видов сосудистых растений. Это значительно превосходит даже такие известные своим разнообразием и плотностью растительного покрова регионы, как Бразилия, Камерун и Новая Гвинея.

В отчете, который по поручению Международного фонда дикой природы составлен под руководством австралийского эколога Э.Гиллисона (A.Gillison; Центр изучения биоразнообразия в штате Квинсленд), сказано, что лес находится на краю гибели.

Главный враг сохранения уникальной среды — лесопромышленные компании, чьи наемные рабочие подряд валют гигантские деревья. Подготовленный специалистами план разумного использования природных ресурсов сорван в результате коррупционных действий местных властей, неле-

гальной порубки и слабого контроля за исполнением собственного законодательства со стороны правительственных органов. Если вырубка будет продолжаться, тропический лес Тессо-Нило к 2005 г. практически исчезнет. Science. 2002. V.295. №5557. P.963 (США).

### Геология

#### Когда возникла земная кора?

Планеты Солнечной системы образовались примерно 4,5 млрд лет назад. Древнейшей коре Земли около 4 млрд лет. Промежуток в полмиллиарда лет принято называть гадесской эрой — от древнегреческого слова «Гадес», обозначающего в античной мифологии место пребывания человеческих душ после смерти, нечто вроде ада. Судя по всему, условия на Земле в то время были под стать названию и не годились для проявления какой-либо жизни. Однако в древнейших осадочных породах геологи находят свидетельства фотосинтеза. А это означает, что на Земле, едва преодолевшей гадесскую эру, уже была вода в жидком виде и, возможно, некие формы жизни. Надо сказать, что на Венере тогда существовала парниковая атмосфера, которая постепенно и навсегда теряла водную составляющую. Так что особенности среды, которые позволили Земле избежать судьбу Венеры, следует, видимо, искать в гадесской эре. Однако о тектонике и геодинамике того времени мы знаем крайне мало; вопрос относительно места, которое занимала земная кора в гадесе, остается неясным. Значительный интерес в связи с этим представляет работа, выполненная немецкими геофизиками и геохимиками Э.Шерером, К.Мюнкером и К.Мецгером (E.Sherer, C.Munker, K.Mezger; Институт минералогии при Мюнстерском университете).

Континентальная кора Земли — явление, вероятно, уникальное во всей Солнечной системе: она порождена процессами частичного плавления в мантии погружившихся в нее пород океанической коры, насыщенных водой. Имея повы-

шенное содержание алюминия, кремния, кальция и натрия, континентальная кора отличается меньшей плотностью, чем океаническая, и потому остается на земной поверхности в продолжение миллиардов лет. Она концентрирует в себе также фосфор, калий и молибден, которые плохо «подходят» к решетке мантйных минералов, а в ходе выветривания становятся доступными для живых организмов. Выветривание силикатных пород ведет к окислению  $\text{CO}_2$  с образованием осадочных карбонатных пород. В течение геологического времени это служило главным механизмом изъятия  $\text{CO}_2$  из атмосферы, предотвращающим усиление парникового эффекта. Можно сказать, что существование континентальной коры решительно изменило облик нашей планеты.

Древнейшие образцы коры (от 3.7 до 4.0 млрд лет) геологи находят в Западной Гренландии, Канаде и в Западной Австралии. Поиски еще более древних пород пока ничего не дают. И тем не менее свои следы сверхдревняя кора должна была оставить. Так, в метаморфизованных осадочных породах района Джек-Хиллс (Западная Австралия) встречаются обломочные зерна циркона, которые по U/Pb-датированию показали возраст, близкий к 4.3 млрд лет, а одно из таких зерен насчитывает даже 4.4 млрд лет. Разумеется, одни только зерна еще не образуют кору планеты. Но циркон содержит гафний, и это открывает «окно» в период возникновения коры. Дело в том, что изотоп  $^{176}\text{Lu}$ , распадаясь, превращается в  $^{176}\text{Hf}$ . Таким образом, отношение  $^{176}\text{Hf}$  к  $^{177}\text{Hf}$  в любой системе возрастает пропорционально распространенности лютеция.

При частичном плавлении пород, погрузившихся в мантию, там сохраняется больше Lu, чем Hf. В результате в континентальной коре отношение Lu к Hf становится намного меньшим, чем в целом на Земле. В мантии же отношение Lu к Hf увеличивается со временем благодаря массообмену (в соответствии с балансом в системе кора—мантия). Высокое отноше-

ние  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ , наблюдаемое ныне в мантии Земли, указывает, следовательно, на то, что большое количество вещества континентальной коры некогда было изъято из мантии.

Циркон содержит до 12% (весовых) гафния и лишь следы лютеция. Таким образом, этот минерал характеризуется низким отношением Lu к Hf и с течением времени изотопный состав Hf в нем слабо изменяется. Эти обстоятельства используются для определения источника магмы, в которой древний циркон кристаллизовался. Цирконы гнейсов из Акасты (северо-запад Канады) и обломочные зерна цирконов Джек-Хиллс, очевидно, порождены континентальной корой. Остальные (из Итсака в Западной Гренландии, Пилбары в Северо-Западной Австралии и Варбертоны в Южной Африке), вероятно, образовались в мантии с аномально высоким отношением  $^{176}\text{Hf}$  к  $^{177}\text{Hf}$ , что указывает на интенсивное «производство» новой коры в раннем гадесе. Однако такая интерпретация основывалась лишь на оценке общей эволюции Земли с принятой ранее постоянной величиной скорости распада  $^{176}\text{Lu}$ . Именно это предлагают пересмотреть Шерер с коллегами. Согласно их определению, этот процесс идет значительно медленнее, чем считалось до сих пор, что не противоречит недавним экспериментальным данным.

В результате время первичного образования континентальной коры следует отодвинуть в глубь веков примерно на 200 млн лет. В таком случае это событие произошло не 4.1, а 4.3 млрд лет назад и последующий ход дифференциации вещества после возникновения планеты шел исключительно быстро.

Science. 2001. V.293. №5530. P.569, 619, 683 (США).

### Геофизика

#### Исследование древней океанической коры

Земная кора океанического типа составляет около двух третей твердой оболочки планеты, и, ве-

роятно, эта ситуация сохраняется со времен совсем молодой Земли. До сих пор предполагалось, что в архейскую эру (более 2.5 млрд лет назад), когда мантия была разогрета втрое сильнее, чем ныне, образующаяся в процессе спрединга океаническая кора имела иной состав. Это можно проверить по сохранившимся образцам архейской океанической литосферы. Обычно литосфера многократно перерабатывается, возвращаясь в мантию при субдукции, но отдельные ее фрагменты, именуемые офиолитовыми комплексами, сохраняются в зонах столкновения плит и горообразования. Изучением офиолитов, которые недавно были обнаружены в 250 км к северо-востоку от Пекина, в зоне северокитайского кратона, занималась группа геофизиков из Пекинского и ряда американских университетов.

Северокитайский кратон включает большой участок коры с гнейсами, амфиболитами, слюдяными сланцами, доломитизированным мрамором и т.п. Он разделен на два крупных блока, между которыми тянется Центральный орогенический пояс. Недавно открытые офиолиты комплекса Дунваньжи — наиболее достоверные «кандидаты» в представители архейской океанической коры. Они включают все основные породы, которые наблюдаются в типичных офиолитах фанерозоя, не расчленены и не метаморфизованы до неузнаваемости. Таким образом, перед нами, как минимум, исходная точка для проверки гипотез, описывающих зарождение и эволюцию земной коры с самых ранних этапов существования планеты.

Участники работы определили возраст офиолитового комплекса по соотношению в его породах урана и свинца как близкий к  $2505 \pm 2$  млн лет. Таким образом, обнаружены свидетельства того, что 2.5 млрд лет назад на окраинах расходящихся плит уже работал механизм образования коры океанического типа, сходный с существующим сегодня.

Science. 2001. V.292. №5519. P.1076, 1142 (США).

**Палеоботаника**

**Древнейшее травянистое растение**

Происхождение и эволюция покрытосеменных (цветковых) растений до сих пор окончательно не выяснены, что связано главным образом с отсутствием убедительного ископаемого материала предковых форм. Считается, что возникли покрытосеменные в начале мелового периода (около 125 млн лет назад) и уже в его середине благодаря своей высокой эволюционной пластичности распространились за несколько миллионов лет по всему земному шару, заняв доминирующее положение в растительном мире. Первичными цветковыми растениями могли быть деревья с вечнозелеными листьями и обоопольными цветками, собранными в примитивные соцветия. Превращение древесных форм в травянистые произошло, как полагали до сих пор, еще на заре эволюции покрытосеменных растений.

Настоящей сенсацией для палеоботаников стала находка ископаемого цветкового растения на северо-востоке Китая, в провинции Ляонин. Каменный отпечаток *Archaeofructus sinensis*, обнаруженный в 2000 г. палеоботаником Цянь Цзи из Геологического института Китайской АН (Пекин), впоследствии был тщательно изучен китайскими и американскими учеными. Выяснилось, что *A.sinensis* — древнейшее (возраст отпечатка примерно 125 млн лет) травянистое растение высотой около 25 см. Его цветок содержит андроцей (мужской генеративный орган) в виде попарно расположенных тычинок и геницей (женский орган) в виде простого пестика; в отличие от современных покрытосеменных растений он лишен чашелистиков и лепестков. Растение развивалось быстро, но быстро же и погибло, что типично для древних цветковых.

Отпечаток обнаружен в донных отложениях давно исчезнувшего озера. Водное происхождение *A.sinensis* подтверждается присутствием в содержащей его поро-

де остатков древних рыб. Кроме того, на отпечатке видны следы, оставленные своеобразными поплавокми, которые позволяли растению удерживаться на поверхности воды.

Анализ находки вызвал активную дискуссию среди специалистов и, видимо, приведет к пересмотру теории эволюции покрытосеменных растений. Science. 2002. V.296. №5569. P.821 (США).

**Этнология**

**Откуда пошло скотоводство**

Миллионы африканских жителей занимаются скотоводством, однако история происхождения здешнего домашнего скота оставалась неясной. По одной из гипотез, около 10 тыс. лет назад на северо-востоке Африки человек приручил дикого первобытного быка, или тура (*Bos primigenius*); согласно другой, уже одомашненный рогатый скот был пригнан сюда людьми, переселившимися с Ближнего Востока, где его приручили в глубокой древности<sup>1</sup>.

В общем же предполагалось, что пастбищное хозяйство возникло на востоке Сахары 7800 лет назад (тогда она еще не была пустыней), в ее центре — 7200, на севере — 5600, в речных долинах Западной Африки — 4000, в Эфиопии и Эритрее — 4800, по берегам озер на Восточно-Африканском плоскогорье — 3700 и на юге континента — 1600 лет назад<sup>2</sup>. Но эти весьма приблизительные данные нельзя считать окончательными в попытках установить хронологию распространения скота по всей Африке. К тому же оказалось, что африканский домашний скот имеет примесь крови азиатского горбатого быка, зебу (*B.indicus*). Его изображения появились на стенах гробниц египетских фараонов лишь XII династии, т.е. во 2-м тысячелетии до н.э., а до того скот, очевидно, был безгорбым.

<sup>1</sup> The Beginnings of Agriculture. British Archeological Report. №496. Oxford, 1989.

<sup>2</sup> The Origins and Development of African Livestock. L., 2000.

Если судить по генетическим исследованиям, выполненным группой специалистов во главе с О.Аноттом (O.Hanotte; Международный институт исследования домашнего скота в Найроби, Кения), источников одомашнивания было три. Еще 8 тыс. лет назад бык служил под ярмом человеку в районе, протянувшимся дугой от юго-восточных берегов Средиземноморья (мимо Сирийской пустыни и Аравии) к Персидскому заливу. А примерно через 2 тыс. лет зебу уже был сельскохозяйственным животным в долине Инда, на территории современного Пакистана. Пиктограммы на камнях и в пещерах Сахары свидетельствуют, что уже прирученный скот пришел в Африку вместе с человеком с Ближнего Востока через Суэцкий перешеек не позднее 7800 лет назад.

Группа Анотта провела генетический анализ образцов ткани от 50 пород коров, разводимых в 23 африканских странах. Выяснилось, что два источника одомашнивания находились за пределами Африки. В район Африканского Рога попал уже прирученный скот, ведущий свое происхождение от зебу. И скорее всего — с Аравийского п-ова, с которым были связаны древние торговые пути, причем не через Египет, а по морю. Рогатый же скот, обычный в остальной Северной Африке, был пригнан по суше с Ближнего Востока, через страну фараонов. Третий источник — сама Африка. На юге континента и сегодня встречаются потомки дикого предка нынешней коровы. Но тысячелетия назад здесь не было крупных диких жвачных. Значит, скот одомашнили ранее где-то в другом месте.

Из результатов генетического анализа следует, что центр одомашнивания находился, вероятнее всего, на северо-востоке Африки. По археологическим данным, сперва полудикий, а потом уже домашний скот прошел вдоль всей Восточной Африки, пока не достиг тех областей, где его пасут нынешние зулусы, бушмены, масаи и другие народности ЮАР. Science. 2002. V.296. №5566. P.236, 336 (США).

# Творческое долголетие

Ю.Д.Нечипуренко,  
кандидат физико-математических наук  
Институт молекулярной биологии РАН  
Москва

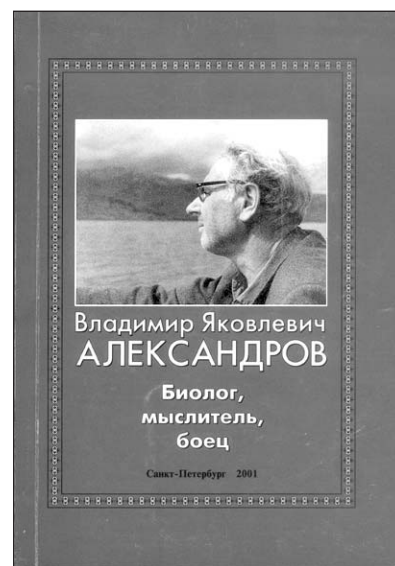
**В**ладимир Яковлевич Александров (1906—1995) прожил долгую и насыщенную жизнь — мало кто может похвастаться 70-летием научной деятельности! Крупнейший ученый в области общей биологии и цитологии, эволюционист, теоретик и экспериментатор, он был одним из создателей Института цитологии РАН.

Судьба хранила сына провизора и учительницы, выходца из украинского города Черкассы. В жизни его было по крайней мере три серьезных испытания. Первым можно считать поступление на биологическое отделение физико-математического факультета Петроградского университета, с которого он был едва не отчислен как «классово чуждый элемент» (отец Александрова в прежние времена владел аптекой). Вторым труднейшим этапом стала служба военным фельдшером на Ленинградском фронте, куда он пошел добровольцем в июле 1941 г. вместе со своим учителем, профессором Дмитрием Николаевичем Насоновым. И третий — отчисление в 1950 г., во время гонений на биологию, из Всесоюзного института экспериментальной медицины (ИЭМ) по доносу (за участие в масонской ложе, председателем которой якобы был А.Я.Гуревич, один из основателей неовитализма, «наиболее реакци-

онного идеалистического учения»). Тогда же сняли с поста директора ИЭМ Насонова, вспомнив его «дворянские корни».

Владимир Яковлевич с честью вышел из этих испытаний, не только не поступившись принципами, но и проявив изрядную долю остроумия. После увольнения из ИЭМ к нему домой явился милиционер и стал обвинять в том, что он нигде не работает, что должен быть выселен из Ленинграда по закону как тунеядец. Владимир Яковлевич немедленно нашелся: «Но у меня работает жена, а я — домашний хозяин. Почему женщина может быть домохозяйкой, а мужчина — нет? Ведь по Конституции мужчина и женщина равны в правах». Милиционеру нечем было крыть, и он удалился. Этот эпизод в книге приводит Ю.М.Васильев, который в своих воспоминаниях называет остроумие Александрова «формой борьбы» с проходимцами, занявшими высокие посты в биологической науке.

Александров обладал в самые тяжелые времена непрерываемым авторитетом, но авторитет этот был своеобразным — Владимир Яковлевич никогда не изрекал приговоров, чаще всего шутил, высмеивая то, по поводу чего негодовал. Шутки эти были часто смертоносными для их объектов. Более того, они были единственным оружием, которым профессор-одиночка мог «достать» таких



ВЛАДИМИР ЯКОВЛЕВИЧ АЛЕКСАНДРОВ: БИОЛОГ, МЫСЛИТЕЛЬ, БОЕЦ. Отв. ред. Н.И.Арронет и Д.В.Лебедев; Сост. Н.И.Арронет.

СПб.: ООО «Любавич», 2001. 284 с.



псевдоученых, как Т.Д.Лысенко, О.Б.Лепешинская и их подручные, поддерживаемых всей мощью власти. Заметим, что сам Владимир Яковлевич написал о тех временах весьма объективную книгу «Трудные годы советской биологии», в которой постарался передать дух эпохи. Он считал, что это необходимо для «понимания природы человека и уяснения реакций людей в экстремальных ситуациях». Александров прежде всего был ученым: в начале второй мировой войны он вместе с Насоновым суммировал опыты над клетками, описанные в книге «Реакция живого вещества на внешние воздействия».

Книга, посвященная Владимиру Яковлевичу, была задумана его другом и соратником Даниилом Владимировичем Лебедевым. В ней кратко изложены полученные Александровым результаты экспериментальных и теоретических исследований клеточной и макромолекулярной ауторегуляции, а также механизмов эволюции видов, связанной с изменением температуры среды. В этих областях науки он поставил задачи на десятилетия вперед, указав возможные пути их решения.

Наиболее полно представлена статья о поведении клеток и их компонентов. Александров в сущности заложил новый раздел биологии клетки — цитозеологию.

Работы самого Владимира Яковлевича, материалы о его борьбе против лысенковской лженауки, биографический очерк, воспоминания коллег и фотоархив — все это вошло в книгу. Она представляется актуальной сейчас, когда научное общество переживает серьезные испытания, — мудрый взгляд на вещи, опыт Владимира Яковлевича очень нужны нам. Конечно, никто не запрещает сейчас заниматься генетикой. Однако закрываются не только отделы, но и целые отраслевые институты, да и в академических дела обстоят неблагоприятно. Мы все чаще узнаем о тех или иных безобразных действиях администра-

ции, вновь расцветает вандализм — даром что форма его проявлений иная, подоплека та же (борьба за площади, ставки, сведенные счетов).

Преследовали Александрова в свое время из-за подобных, вполне «земных» причин — не всем нравился яркий ученый, его незаурядная личность. Может быть, поэтому Александров и не стал академиком, несмотря на ряд пионерских работ. В частности, он первым пришел к выводу, что температура существования вида коррелирует с температурой тепловой денатурации белков именно из-за конформационной (конфигурационной) подвижности белков, которая необходима для выполнения ими каталитических функций.

Наследие Владимира Яковлевича включает в себя, кроме ставших «классическими» работ, учебников по цитологии, и воспоминания, и оригинальную книгу афоризмов. Многие помнят его высказывание времен торжества идей Лысенко: «Ген — неприличное слово из трех букв». Некоторые афоризмы Александрова можно считать не только остроумными, но и парадоксальными.

*Удивление — лучший повод для исследования.*

*Стареют только теории, поддерживающие долю истины.*

*Факты — сырье науки, гипотезы — полуфабрикаты, законы — готовая продукция.*

*В науке интуиция ищет работу, логика производит работу, эстетика определяет ее окончание.*

*Самое опасное для теории — это ее дальнейшая разработка.*

*У каждой теории свой период полураспада.*

*Стимулирующее значение хорошей гипотезы прямо пропорционально ее необоснованности.*

*Осознанное незнание — одна из форм знания. Чем примитивнее человек, тем скуднее запас его осознанных незнаний.*

*Предсказание полезно для науки, если оно сделано не слишком рано.*

*Настоящее мгновенно, будущее временно, прошлое вечно...*

*Философия — наука, изучающая важнейшие проблемы, не поддающиеся научным методам исследования.*

*Отклонение художника от общечеловеческой логики может привести к созданию нового стиля в искусстве; отклонение ученого от общечеловеческой логики — катастрофа.*

*И научные труды, и литературные произведения нередко страдают избытком упаковочного материала.*

*Основной результат прогресса в биологии — это переход от ложного знания к истинному незнанию.*

*В процессе биологической эволюции адаптивные признаки создавались для удобства вида без учета того, насколько удобно будет их систематизировать исследователю.*

*Каждое рождение человека — дезоксирибонуклеиновая лотерея.*

*Всякая патология имеет свой прообраз в норме.*

*Молекулярный биолог подчас из-за молекул клетку не видит.*

*Лаборантами можно возместить нехватку времени, но не отсутствие таланта.*

*Чтобы стать гением, нужно им быть.*

*Ничто так не способствует признанию заслуг ученого, как его кончина.*

*Жизнь — это игра, о которой нам сообщили правила, забыв сказать, в чем выигрыши.*

И хотя сам Александров утверждал, что «биолог, пишущий книгу, подобен художнику, взявшемуся писать картину быстро выцветающими красками», мы позволим себе с ним не согласиться. Книга, собранная и написанная о нем учениками, дает такие свидетельства времени, которые не устаревают, и передает обаяние личности замечательного ученого, остроумного человека, кого судьба одарила одним из самых щедрых даров — творческим долголетием. ■

## Физика. Техника

**Ю.С.Кузьминов.** ФИАНИТЫ: Основы технологии, свойства, применение. М.: Наука, 2001. 280 с.

В монографии описана новая технология получения высокотемпературных диэлектрических кристаллов, в том числе широко известных фианитов, стекол и плавящихся керамических материалов. В основе технологии лежит метод прямого индукционного плавления в холодном контейнере. Изложены физические основы технологии, описаны технологические установки (возможности и преимущества новых), указаны свойства полученных новых материалов.

Особое внимание автор уделяет кристаллам фианитов, получение которых другими методами практически невозможно.

## Медицина

**Н.Г.Арцимович, Т.С.Галушина.** СИНДРОМ ХРОНИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ. М.: Научный мир, 2001. 221 с.

В 80-е годы в США наблюдалась вспышка заболевания, известного как синдром хронической усталости (СХУ). В тот период, по данным официальной статистики, эпидемия охватила более 200 тыс. американцев. Однако появилось много скептиков, считавших, что болезнь существует только в воображении. Долгое время такого же мнения придерживались и наши ведущие специалисты, ссылаясь на общую усталость общества. Однако за последние годы в США ежедневно регистрируется в среднем 100 новых случаев СХУ.

Заболевание характеризуется внезапной слабостью. Возникают усталость, лихорадка, мышечные и суставные боли, а так-

же другие соматические реакции. Недуг может проявиться как острое инфекционное заболевание, которое не проходит месяцы и годы, или же в результате физического и психоэмоционального стресса. Заболевание имеет давнюю историю и великое множество нерешенных проблем.

В монографии изложено современное представление о синдроме хронической усталости. Обсуждается роль вирусов, а также значение нервной, иммунной и эндокринной систем, определяющих этиологию, патогенез и клинические проявления этого заболевания.

## Палеогеография

**В.П.Галахов.** ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ ГОРНОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ. По материалам исследований на Алтае. М.: Наука, 2001. 167 с.

В монографии подробно рассмотрена имитационная модель расчета режима горного ледника, с помощью которой сделан прогноз оледенения в бассейне р.Актау на 2025 и 2050 гг. Определены колебания средней летней температуры за последние 20 тыс. лет. В выбранных опорных бассейнах выполнены палеогляциологические реконструкции и проведена синхронизация существующих комплексов.

Полученный материал послужил основой для построения более простой схемы расчета последнего похолодания. Это позволило определить распространение оледенения в различных регионах Алтая: горном узле Табын-Богдо-Ола, верхней части бассейна р.Катуни (до устья Аргута), бассейне р.Башкаус и верховьях р.Чарыш. Особо выделена реконструкция древних ледниково-подпрудных озер.

## Археология

**О.А.Мурашко.** КУЛЬТУРА АБОРИГЕНОВ ОБДОРСКОГО СЕВЕРА В XIX ВЕКЕ: По археолого-этнографическим коллекциям Музея антропологии МГУ. М.: Наука, 2001. 155 с.

В монографии опубликована археолого-этнографическая коллекция, собранная в 1909 г. в низовьях р.Оби. Центральное место в книге занимают описания погребального обряда и вещевых комплексов. Иллюстративный материал дополнен серией чертежей погребений и фотографиями необходимого инвентаря — изделий из дерева, кости, олова. Особо выделены украшения из металла.

Отдельные главы посвящены проблемам датировки материала и этнической принадлежности погребений. Показана преемственность в сфере материальной и духовной культуры, их взаимодействия. В приложении даны полевые дневниковые записи собирателя коллекции Д.Т.Яновича.

## Этнография

**А.В.Смоляк.** НАРОДЫ НИЖНЕГО АМУРА И САХАЛИНА: Фотоальбом. М.: Наука, 2001. 318 с.

А.В.Смоляк — известный российский этнограф. Собранные ею фотоматериалы, сделанные в 40—70-е годы прошлого века, стали событием в отечественном сибиреведении.

Автор углубленно занимается исследованиями по археологии и этнографии народов Севера: ульчей, нивхов, ороков, нанайцев, удэгейцев, орочей. Опубликованные снимки уникальны, поскольку зримо воссоздают материальную и духовную культуру народов Нижнего Амура и Сахалина, во многом уже утраченную.

# Резюме Периодическая система элементов: стройность и предсказательная сила

М.М.Левицкий

Москва

**П**ериодическая система химических элементов, получившая в бытовой речи исключительно удобное название — таблица Менделеева, — изображена во всех учебниках химии и знакома, видимо, каждому. Поначалу многие воспринимают ее как некую скучную инвентарную ведомость, и только те, кто интересуется химией, со временем начинают понимать ее величие.

В статье Н.С.Имянитова «Уравнения для... закона Менделеева» (Природа. 2002. №6) подробно рассказано о поисках новой, более совершенной формы периодической таблицы. Примечательно, что среди тех, кто предлагал свои варианты, были даже нобелевские лауреаты Н.Бор и Г.Сиборг.

Как бессмертные творения Рафаэля каждое поколение воспринимает по-своему, так и таблицу Менделеева каждая эпоха видит по-новому и непременно старается представить в ином виде. Можно уверенно сказать, что она обладает какой-то внутренней притягательной силой, и ее воздействие на людей с годами не ослабевает.

Стремление найти совершенную форму невольно маскирует другие, поистине удивительные свойства этой таблицы. Она обладает мощной предска-

зательной силой даже в наше время, потому так привлекательны поиски аналитических способов ее описания. Один из удачных примеров приведен в статье Имянитова. Вполне возможно, что будут найдены способы вычислять широкий

спектр физико-химических свойств элементов, исходя только из порядкового номера. Автор статьи справедливо отмечает, что полученные зависимости могут восприниматься как чисто корреляционные. Но не исключено, что позже для некото-

	s	d	g																
1	H																		
2	Li	Be																	
3	Na	Mg																	
4	K	Ca	Sc																
5	Rb	Sr	Y																
6	Cs	Ba	La																
7	Fr	Ra	Ac																
8																			

рых эмпирических коэффициентов удастся найти физический смысл, как он был установлен — далеко не сразу — для коэффициента в уравнении газового закона Ж.Гей-Люссака или в уравнении, выведенном Б.Клапейроном и доведенном до совершенства Д.И.Менделеевым. Благодаря ему газовая константа  $R$  приобрела физический смысл: это работа расширения 1 моля идеального газа при нагревании на 1 К.

Периодическая система не стала неким гранитным монументом, вошедшим в учебники и навсегда застывшим без изменений, подобно большинству фундаментальных законов, изучаемых в школьной программе. Таблица Менделеева живет и постоянно развивается.

Менделеев, открыв в 1869 г. периодический закон, предсказал существование галлия, скандия и германия. Это был триумф

нового закона, а таблица довольно быстро приобрела всемирную известность, ее изображение появилось даже на почтовых открытках.

Второй триумф пришелся на 1914 г., когда А.Ван ден Брук и Г.Мозли показали, что порядковый номер любого элемента точно равен заряду его ядра. Можно себе представить, какое впечатление произвело это открытие на современников. Периодическая система была создана в то время, когда ученые ничего не знали ни о строении атома, ни об элементарных частицах, и тем не менее она содержала в скрытом виде информацию об их количестве в атоме каждого элемента. Трудно назвать какое-либо другое фундаментальное открытие, которое хранило бы в себе нераспознанную информацию почти полвека.

Начиная с этого времени периодический закон перестает

быть «личным достоянием химиков» и становится также одним из важнейших в физике.

Заселением атомных орбиталей электронами командует квантовая механика, но окончательные результаты представляют собой иногда столь простые закономерности, что с их помощью строить прогнозы сможет каждый, используя современные знания о строении атома.

Посмотрев внимательно на периодическую систему, мы обнаружим, что в каждом периоде находится только два  $s$ -элемента, максимальное количество  $p$ -элементов внутри одного периода — шесть,  $d$ -элементов — десять. Эти величины не случайны, они соответствуют количеству возможных орбиталей каждого типа:  $s$ -орбиталь у атома лишь одна,  $p$ -орбиталей — три, а  $d$ -орбиталей — пять. Согласно принципу Паули, на каждой ор-

$f$																		$d$										$p$					
																												$s$					
																												He					
																												B C N O F Ne					
																												Al Si P S Cl Ar					
																												Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn Ga Ge As Se Br Kr					
																												Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te I Xe					
Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu																												Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Po At Rn					
Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr																												Rf Db Sg Bh Hs Mt					
(с петлей)																												(с петлей)					

Неполученные пока элементы обозначены символами с петлей.

битали может быть не более двух электронов, поэтому найденные в таблице количества элементов каждого типа представляют собой удвоенный ряд чисел 1-3-5. А сколько может быть у атома *f*-орбиталей? Продолжив нечетный ряд, получим 7, и, значит, *f*-элементов в каждом периоде должно быть равно 14. Именно это мы и обнаружим в таблице: лантаноидов и актиноидов в соответствующих периодах как раз по 14.

Предположим, что когда-то начнется заселение неких новых орбиталей, для которых, кстати, уже существует название — *g*-орбитали. Определим, сколько их окажется, тем же способом. В результате получим ряд 1-3-5-7-9. Следовательно, *g*-орбиталей будет девять, а *g*-элементов — 18 в одном периоде. Осталось решить, в каком именно периоде их следует ожидать. Периодическая система позволяет ответить и на этот вопрос. Итак, *p*-орбитали начинают заселяться во втором периоде, *d*-орбитали — в четвертом, *f*-орбитали — в шестом, т.е. получаем ряд четных чисел 2-4-6. Следующим должно быть число 8. Это и есть период, в котором могут впервые появиться *g*-элементы\*. К их экспериментальному получению человечество подошло почти вплотную, предыдущий, седьмой период практически завершен, замыкающий его элемент №118 уже существует — великолепный финал 20-го столетия!

Теперь попытаемся узнать, сколько окажется элементов в восьмом периоде. Для этого сложим количество электронов на всех орбиталях, учитывая, что на каждой может располагаться только два электрона:

$$(1+3+5+7+9) \cdot 2 = 50 \text{ элементов!}$$

Если на заполнение седьмого периода, содержащего 32 элемента, ушло целое столетие, то сколько же времени потребуется для заполнения этого ги-

гантского периода? Не будем забывать, что сложности при получении каждого нового элемента постоянно возрастают.

С какого же порядкового номера могут начаться *g*-элементы? Воспользуемся той схемой, которую подсказывает сама таблица. Появлению в ней *f*-элементов (лантаноидов) предшествуют два *s*-элемента (Cs и Ba) и один *d*-элемент (La). Поступим точно так же с восьмым периодом. В его начале окажутся два (пока еще не полученных) *s*-элемента (№119 и 120) и один *d*-элемент (№121), затем должны следовать все *g*-элементы, потом *f*-, *d*- и *p*-элементы, т.е. так, как в шестом и седьмом периодах. Подобный порядок элементов определяется энергетическими характеристиками, однако мы, ничего не зная об этом, просто копируем принцип, подсказанный таблицей, и приходим к правильному результату, подтвержденному к настоящему времени специальными расчетами. Не правда ли, скрытая от глаз внутренняя стройность периодической системы, позволяющей делать такие прогнозы, производит впечатление!

Приведенные рассуждения становятся предельно наглядными, если все изобразить в виде таблицы, которую предложил в 1969 г. американский химик, лауреат Нобелевской премии по химии 1951 г., Г.Сиборг (1912—1999). Этот ученый достиг феноменального результата, заполнив десять пустующих клеток таблицы Менделеева. Он — единственный, чье имя было увековечено в названии химического элемента еще при жизни: открытый им элемент №106 — сиборгий.

Таблица имеет интересное свойство. По мере того как в нее входят *d*-, *f*- и *g*-блоки, *s*- и *p*-элементы все дальше отодвигаются друг от друга. Таким образом, при появлении новых элементов таблица удлиняется не за счет роста «хвоста» (так думают многие), а как бы разрастается изнутри.

Составляя таблицу, Сиборг воспользовался еще одной закономерностью периодической системы: каждый нечетный период полностью воспроизводит расположенный над ним четный. В итоге он получил девятый период, длина которого и набор элементов каждого типа повторяют восьмой период, и уверенной рукой истинного мастера присвоил номера первым пяти элементам (169—173).

По-видимому, столь дальний прогноз оказался излишним. Долгое время ученые полагали, что сиборговский вариант таблицы правильный, однако проведенные сравнительно недавно компьютерные расчеты показали, что ожидаемая простая закономерность в конце восьмого периода должна нарушиться, в нем будет не 50, а 46 элементов. Кроме того, согласно расчетам, в девятый период войдет всего восемь элементов, как во втором и третьем, что несколько неожиданно. Периодическая система как бы начнет свое существование заново.

Эти результаты вызвали среди ученых не разочарование, а, скорее, чувство удовлетворения. Они показывают, что на периодическую систему элементов распространяются те же два правила, которым подчиняются все естественнонаучные фундаментальные законы: они работают абсолютно надежно; имеют определенную область применения, вне которой не действуют.

Сегодня мы можем с некоторой долей уверенности утверждать, что стройность и предсказательная сила периодической системы должны постепенно исчезнуть в конце восьмого периода, что будет экспериментально подтверждено, видимо, в конце нашего века. Впрочем, предположения, касающиеся темпов развития науки, самые ненадежные, наука постоянно опережает подобные прогнозы. И это замечательно! ■

\* Скорее всего восьмого периода не будет из-за неустойчивости ядер со столь большим числом протонов. — *Примеч. ред.*

# Имя в истории аграрной науки

Г.В.Белых

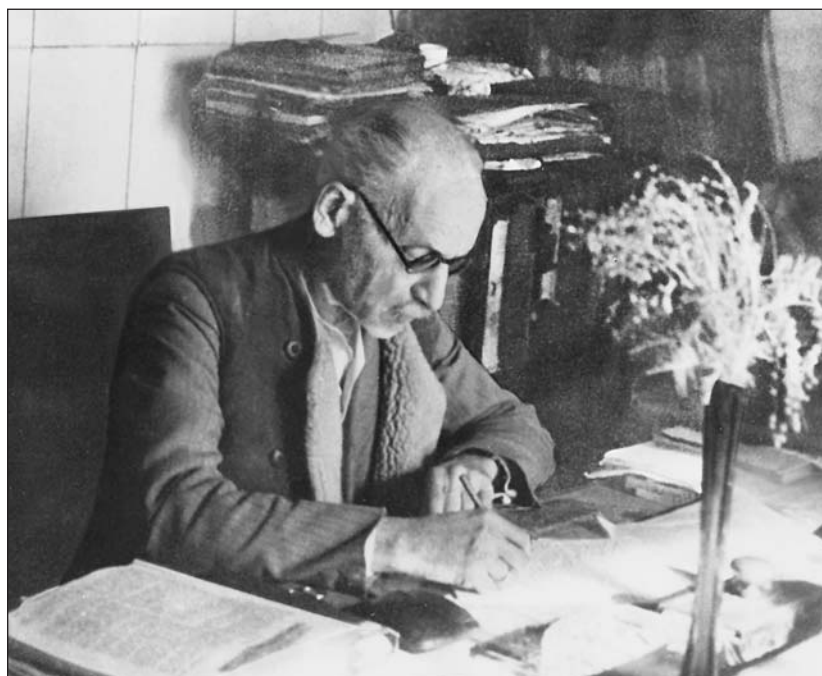
*Московская сельскохозяйственная академия им.К.А.Тимирязева*

До войны небольшую и тихую столичную улицу Ивановскую называли в народе улицей академиков. Тогда здесь жили со своими семьями знаменитые ученые Тимирязевской академии. И до нашего времени сохранились дома Д.Н.Прянишникова, И.Е.Лискуна и П.И.Лисицына. Но лишь последний — как мемориальный музей, где почти 20 лет работал крупнейший российский селекционер и биолог, питомец двух престижных вузов — Московского университета и Петровской земледельческой и лесной академии.

Полвека назад это была окраина Москвы с садами и огородами, где все так напоминало деревенскую жизнь. «Отсюда, — показал рукой в сторону Савеловского вокзала старожил района В.В.Кочетков, — до Виндавской железной дороги простиралось поле лисицынской ржи».

Петр Иванович Лисицын родился в 1877 г. в Калужской губернии. Его родители происходили из крестьян, но все 13 детей получили хорошее образование.

В мемориальном кабинете Лисицына есть фотография К.А.Тимирязева с теплой надписью: «На добрую память от сердечно признательного». История этого экспоната такова. Еще



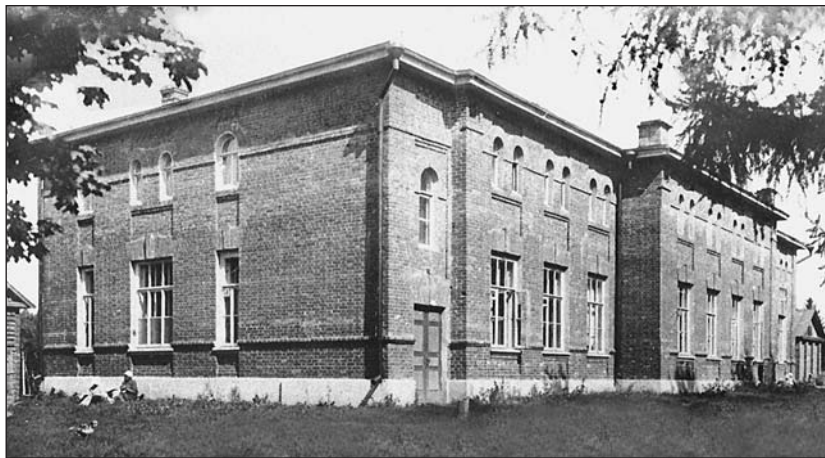
Петр Иванович за работой.

в гимназии Петр изучал работы Климента Аркадьевича, не предполагая о встрече с Тимирязевым в Московском университете, где будет учиться на естественном факультете, — на лекциях, а также в лаборатории известного ученого. В октябре 1901 г. Петру Лисицыну был подарен портрет Тимирязева.

Спустя два года Лисицын с дипломом университета посту-

пает на третий курс Петровской академии, как это раньше сделал Прянишников, с которым они будут жить на одной улице. Дмитрий Николаевич и Петр Иванович навсегда останутся добрыми коллегами и единомышленниками. На каникулах Лисицын едет домой, здесь у него на опытных участках растут рожь, пшеница, овес. Он занимается землемером в почвенную лабораторию.

© Г.В.Белых



Шатиловская станция. Лаборатория селекции. 1925 г.

На недавней научной конференции, посвященной 125-летию со дня рождения знаменитого селекционера, было сказано: «Некоторые сорта, выведенные Лисицыным, не утратили актуальности до нашего времени». Так, сорт гречихи «Богатырь» возделывается в четырех регионах, а сорт клевера «Среднерусский» — в трех. Но не только этими культурами ограничивалась научная деятельность Лисицына. Диапазон его исследований был широк и многообразен. Но вернемся к годам молодости.

После возвращения из Нижнего Тагила, где Петр Иванович был в ссылке как неблагонадежный молодой ученый (1906—1908), лишенный права проживания в столицах, по приглашению А.Н.Лебеяднцава, своего товарища по гимназии, университету и академии, едет на Шатиловскую станцию [1]. Здесь он проработает 20 лет, добьется немалых достижений в отечественной селекции и семеноводстве, приобретет значительный научный опыт. И навсегда останется верен творческой лаборатории на Орловской земле. Первое время Петр Иванович уделяет агротехнике, изучая влияние растений на плодородие почвы. Он сам и пашет, и сеет, разбрасывая семена из лукошка. Объ-

екты его исследований — рожь, картофель. Он начинает селекцию овса, неприхотливого к внешним условиям, ржи и клевера. Имя Петра Лисицына уже известно в аграрной науке. Начинаются его многочисленные экспедиции (более 45) — вначале по сбору дикого клевера в соседних областях, а потом и по всей стране. В коллекции ученого уже есть сорта из Европы, Англии, Америки. Удивляет мощь таланта, энциклопедичность этого человека. На Шатиловской станции при Лисицыне «было два человека и еще круглая печать», — вспоминал его сын Александр Петрович Лисицын, — а уже через несколько лет станция стала всемирно известным научным учреждением.

Предложение ученого о создании селекционного отдела при Шатиловской станции было удовлетворено. К тому времени Лисицын уже испытал 96 сортов овса. Он вновь берется за рожь. Исходный материал — всего лишь 40 наиболее продуктивных сортов — выделен из многих тысяч местных растений. Шесть лет исследований показали, что по урожайности они превосходят исходные образцы на 15.6%: более крупное зерно, высокая зимостойкость, хорошие хлебопекарные качества. Этот сорт назовут «Лисицынский»...

Лисицын мечтал о времени, когда поля будут засеиваться только отборными, высокоурожайными сортами. Он едет в Москву. Шла зима 1919 г. В России — голод, разруха. Ни с чем он возвращается домой. Новая поездка, уже в Наркомзем. Проект одобрен, но забыт. Помог случай: замнаркома земледелия, объезжая губернию, зашел в селекционный отдел Шатиловской станции и на стене увидел схему Лисицына. 13 июня 1921 г. Декрет о семеноводстве был подписан Лениным, а 4 января 1922 г. утверждено «Положение о Госсемкультуре», в результате чего был создан государственный центр селекции сельскохозяйственных культур. Директором назначили Лисицына. В его распоряжение выделили 11 хозяйств в Тульской и Орловской губерниях. Казалось, задуманному быть, но Наркомфин снял с обсуждения всю смету. «Совсем снял. Ни копейки!» — пишет Лисицын. И тут же добавляет: «Не было ни семян, ни лошадей, ни продовольствия, ни рабочих. Ничего не было!» Было от чего прийти в отчаяние. Но смету власти все-таки утвердили. Через несколько лет шатиловская Госсемкультура давала в год около 80 тыс. ц сортовых семян. В последующем было создано еще девять Госсемкультур, дававших до 230 тыс. ц сортовых семян в год.

Особо надо отметить экспедиции за клевером — на Памир, в Забайкалье, на Печору и Мезень, п-ов Канин, в Закавказье. Там отбирались дикорастущие сорта для улучшения культуры. Работа велась 35 лет. До Лисицына никто в мире селекцию клевера не вел. Им собрано и изучено 428 образцов этого растения — уникальная коллекция. Природа сама веками производила их отбор. В годы Отечественной войны Петр Иванович посылал письма сыновьям — в Польшу, Чехословакию, Германию с просьбой собирать семена дикого клевера. Чудак,

да и только, подумает кто-то. А он мечтал о создании первого в мире Института клевера, Института льна и клевера и еще о Музее клевера. Результаты своих многолетних исследований Лисицын изложил в монографии «Вопросы биологии красного клевера», за которую в 1948 г. был удостоен Сталинской премии I степени (уже посмертно). В книге есть посвящение — «Полям моей Родины».

Значительную роль в судьбе Лисицына сыграл Н.И.Вавилов. Когда ректор Тимирязевской академии обратился к Николаю Ивановичу с просьбой порекомендовать кандидата на должность завкафедрой селекции и семеноводства, тот ответил, что «из крупных селекционеров, которых можно выдвинуть на кафедру, естественно, на одно из первых мест нужно поставить П.И.Лисицына. Лучшего кандидата выдвинуть по селекции трудно. Пребывание его в Москве будет полезно во всех отношениях».

Их дружба продолжалась долгие годы. Вавилов бывал на Шатиловской станции, а позже приезжал из Ленинграда в деревянный дом на Ивановскую.

Немногие знают, что у истоков ВНИИ зерна и продуктов его переработки стоял Лисицын. Командированный в 1930 г. в США с целью приобретения опыта, он посещает хлебозаводы, лаборатории, мельницы, научные институты. По его проектам на родине стали строиться крупные элеваторы и мелькомбинаты, создан первый в Москве хлебозавод-автомат №9. Петр Иванович участвовал и в организации на юге России совхоза «Гигант».

В 1931 г. Лисицыну поручили создать Мосселекцентр — научно-исследовательский центр по селекции и семеноводству в пос. Немчиновка под Москвой, ставший в будущем ВНИИ сельского хозяйства Нечерноземья. Новое назначение было обусловлено неблагополучием сельского хозяйства: поля засева-



Лисицын проверяет качество обмолота ржи. 1946 г.

лись низкокачественными семенами, несортным зерном. Не хватало зерноочистительных машин, сушилок, хранилищ. Огромны были потери. Через год А.И.Микоян обращается к Лисицыну с просьбой поехать с семьей в США, где Л.Бербанк вывел новые сорта плодовых. Петр Иванович отказался: «Если мы уедем, то кто же будет кормить людей».

Лисицын не избежал участи многих. Не всем нравились его принципиальность, нежелание приспособляться, несогласие с Т.Д.Лысенко, предлагавшего исключить материалы по генетике из вузовских программ. Лисицы-

на обвиняли в том, что сортов клевера как не было, так и нет. Репрессии приближались к ведущим ученым — Н.И.Вавилову, Д.Н.Прянишникову, П.Н.Константинову, А.Г.Лорху, А.Р.Жебраку, Е.Ф.Лисуну.

Работать становилось все труднее. В книге «Суд палача. Николай Вавилов в застенках НКВД» в числе других неоднократно упоминается фамилия Лисицына как изобличенного следственными материалами в подрывной деятельности в сельском хозяйстве СССР [2]. «В Москве Вавилов находился в очень тесной и дружеской связи с профессором Лисицы-



ным», — такое обвинение могло привести к предсказуемым последствиям.

Академик Лисицын был единственным, кто 10 сентября 1947 г. при подготовке к так называемому суду чести над профессором Жебраком написал письмо члену Политбюро ЦК ВКП(б) А.А.Жданову, в котором опроверг обвинения в антипатриотизме и низкопоклонстве перед буржуазной наукой, тем самым защитив Антона Романовича. В этом поступке — весь Лисицын.

«Самое важное в жизни — найти самого себя. Я до 30 лет искал самого себя и принадлежу к тем немногим удачникам, которые посвящают все свои силы любимому делу». Он имел право так сказать. Венцом селекционной работы Петра Ивановича были многочисленные высокоурожайные сорта: рожь «Лисицынская», овес «Шатиловский-033» и «Шатиловский-56»,

гречиха «Богатырь». Лисицын называл клевер «шоколадом для скота». А еще он занимался коноплей, горохом, пшеницей; выращивал лен, клевер, люцерну, вика, просо. Собирался написать книгу об ученом Петровской академии Д.Л.Рудзинском, создавшем первую в России (на территории нынешней Тимирязевки) селекционную станцию.

Большая рукопись по селекции ржи была украдена у него в электричке. Труд многих десятилетий пропал безвозвратно. Его звали выступать на радио, писать статьи в газеты и журналы, участвовать в заседаниях, но он уже не мог этого сделать. В 1948 г. Лисицын умер.

Люблю бывать в небольшом деревянном доме Лисицына, кажущемся игрушечным среди стандартных коробок. Раз пять собирались сносить, но спасли его академики А.П.Александров, П.П.Вавилов, Н.А.Цицин, В.Н.Ремесло, И.С.Шатилов. Остановил

бульдозер и известный полярник И.Д.Папанин. Дом, в котором бывали удивительные люди, бережно хранит память о них. Более полувека здесь все сохраняется так, как было при жизни Петра Ивановича. Уникальная библиотека в несколько тысяч томов, статьи, публикации разных авторов, работы самого Лисицына, его дневники, письма, архив фотодокументов. На стенах — фотографии, картины, сноп лисицынской ржи. В углу — скрипка, а под ней — чемодан с бельем на случай ареста.

Сегодня родословная Лисицыных насчитывает 150 человек, среди которых есть и герой Бородинского сражения. Сын Петра Ивановича, Александр Петрович Лисицын, вспоминает: «Меня удивляло, что в разговорах его сподвижников часто звучало: “Что бы там ни было, наше дело — кормить Россию”. Этому посвятил свою жизнь Лисицын. ■

## Литература

1. Поляков А.Н. Пионеры лесоводства России // Природа. 2000. №4. С.90—93.
2. Левина Е.С. Памяти погибших ученых // Природа. 2001. №1. С.85—87.

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы  
**О.О.АСТАХОВА**  
**Л.П.БЕЛЯНОВА**  
**Е.Е.БУШУЕВА**  
**М.Ю.ЗУБРЕВА**  
**Г.В.КОРОТКЕВИЧ**  
**К.Л.СОРОКИНА**  
**Н.В.УЛЬЯНОВА**  
**Н.В.УСПЕНСКАЯ**  
**О.И.ШУТОВА**

Литературный редактор  
**М.Я.ФИЛЬШТЕЙН**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор  
**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:  
**П.А.ХОМЯКОВ**

Набор:  
**Е.Е.ЖУКОВА**

Корректоры:  
**В.А.ЕРМОЛАЕВА**  
**Е.А.ПИМЕНОВА**

Графика, верстка:  
**Д.А.БРАГИН**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

Учредители:  
Президиум РАН,  
Издательско-производственное  
и книготорговое  
объединение «Наука»  
Адрес издателя: 117997,  
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,  
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-26-33  
Подписано в печать 15.10.2002  
Формат 60×88 1/8  
Бумага типографская №1,  
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 6712  
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6