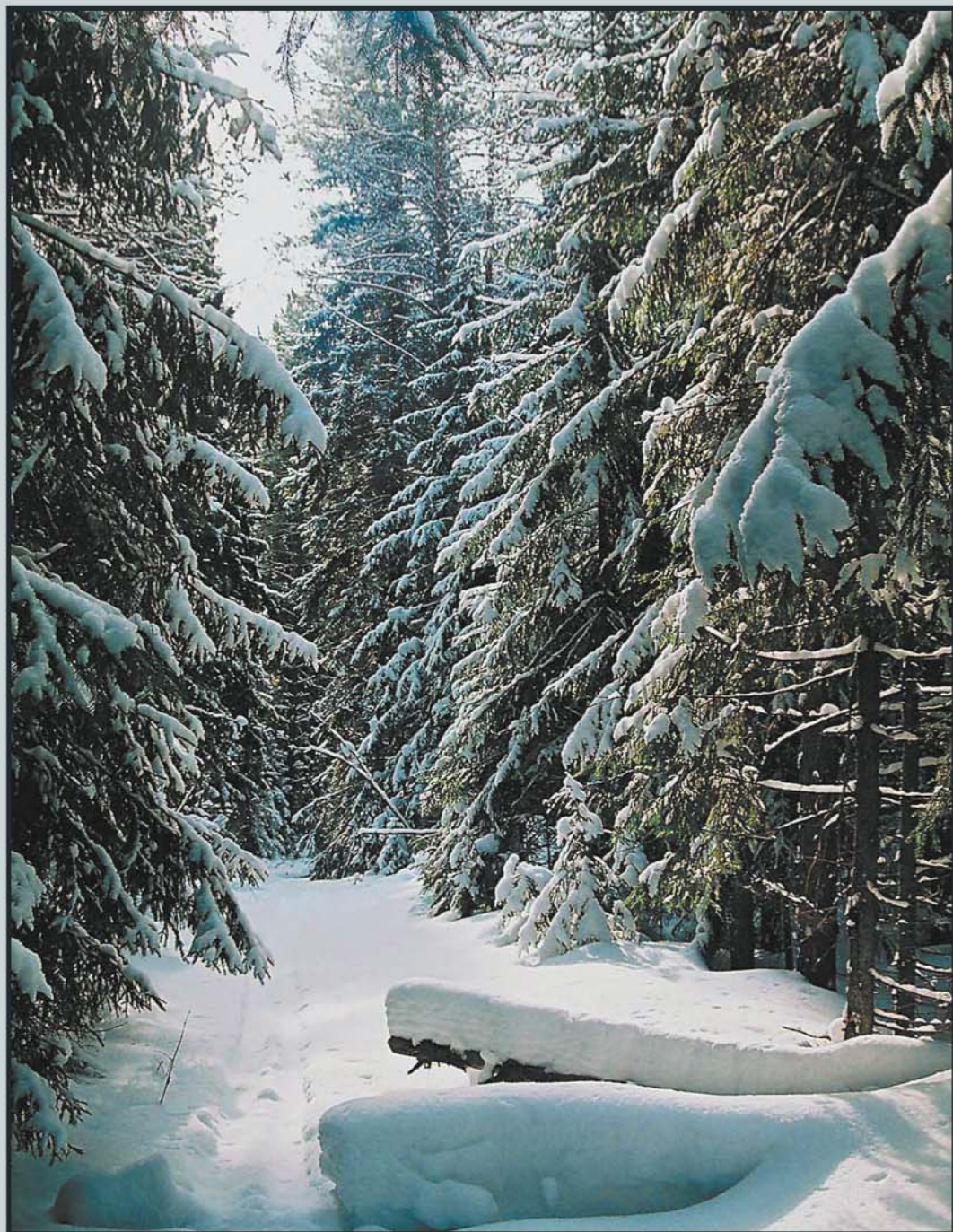


ПРИРОДА

2 10



В НОМЕРЕ:**3 Гендон Ю.З.****«Свиной» грипп: страсти и факты**

Еще недавно всех пугали прогнозы возникновения пандемии, вызванной вирусом гриппа птиц, которые, к счастью, не подтвердились. О пандемии гриппа, связанной с вирусом свиней, уже официально объявлено. Однако так ли опасен этот вирус для людей?

9 Шibaев А.В., Карабельская О.А.**Мицеллы — самоорганизующиеся структуры**

Амфифильные молекулы поверхностно-активных веществ способны самоорганизоваться в различные надмолекулярные комплексы. Разнообразие образующихся в растворах структур порождает широкий спектр интересных свойств.

18 Акатов В.В.**Есть ли иммунитет у растительных сообществ?**

В последние годы внедрение инородных организмов в местные экосистемы стало столь массовым, что не может не вызывать беспокойства. Способны ли этому противостоять хотя бы некоторые растительные сообщества?

25 Беленицкая Г.А.**Последствия нефтяных катастроф глазами седиментолога**

Нефтяные разливы могут рассматриваться как аналоги природных очагов разгрузки с обширными ореолами влияния и аномальными экосистемами, в которых гибель доаварийных высокоорганизованных сообществ сочетается со взрывом продуктивности микробных биоценозов.

35 Степанов А.Л.**N₂O — веселый газ: есть ли повод для веселья?**

Изучение микробного цикла закиси азота в основных типах почв европейской части России показало, что возрастающий поток этого газа в атмосферу связан с антропогенным воздействием на почвы.

41 Четверин А.Б., Четверина Е.В.**История одного метода**

В виде колоний могут расти не только бактерии, но и... молекулы. Метод, позволяющий их размножать, изобретен отечественными учеными. Теперь он используется для молекулярно-генетических работ во всем мире.

49 Томилин М.Г., Шевцова В.А.**В Никольском на Валдае**

Как начиналось российское рыбоводство

Наследие**57 Авруцкая Т.Б.****«И мы вместе пойдем, нас нельзя разлучить»****О чем писала «Природа»****69 Садовникова М.П.****Аммофила и помпил**

Очерки сравнительной психологии

Вести из экспедиций**73 Сапелко Т.В., Колпаков Е.М.****След человека в истории Канозера****77****Новости науки**

Обнаружено самое большое кольцо Сатурна. Ашимбаева Н.Т. (77). Energy harvesting: энергия, собранная по крохам (78). Нановзгляд на рост кристаллов (79). Токсичны ли для человека углеродные нанотрубки? (79). «Полезные знакомства» с азотфиксаторами. Мухина В.С. (80). Газогидраты Беринговоморского региона (81). Подземные льды российской Субарктики (81). Внеочередной съезд Русского географического общества. Зубрева М.Ю. (82). Вымирание мегафауны в Северной Америке (83). Условия существования Янской палеолитической стоянки (84).

Рецензии**85 Антонова Е.В.****Прародина металла**

(на кн.: Авилова Л.И. Металл Ближнего Востока: модели производства в энеолите, раннем и среднем бронзовом веке)

88**Новые книги****Встречи с забытым****90 Закгейм А.Ю.****Параллельные жизни**

CONTENTS:

- 3 Gendon Yu.Z.**
«Swine» Flu: Horrors and Facts
Only recently everybody was afraid by prognoses of outbreak of pandemic caused by avian flu virus, which fortunately failed to materialize. The pandemic caused by a swine flu virus was already officially announced. But is this virus really so dangerous for humans?
- 9 Shibaev A.V., Karabelskaya O.A.**
Micelles – Self-organizing bItructures
Amphiphilic molecules of surface-active substances are capable of self-organizing into different supra-molecular complexes. The diversity of structures formed in solutions produces a wide range of interesting properties.
- 18 Akatov V.V.**
Do Plant Communities Possess Immunity?
In recent years invasions of foreign species into local ecosystems became so widespread that this can't be observed without concern. Can at least some plant communities resist invasions?
- 25 Belenitzkaya G.A.**
Aftermath of Catastrophic Oil Outflows in the Eyes of a Sedimentologist
Oil outflows can be considered to be analogues of natural discharge foci with extensive migratory haloes of influence and anomalous ecosystems in which the destruction of prefault highly organized communities is going with explosive productivity of microbe biocenoses.
- 35 Stepanov A.L.**
N₂O – Laughing Gas: Is there a Reason for Gaiety?
Studies of microbe cycle of nitrous oxide in main types of soils of European part of Russia show that growing emission of this gas into atmosphere is caused by anthropogenic impact on the soils.
- 41 Chetverin A.B., Chetverina E.V.**
A History of a Method
Not only bacteria, but molecules as well can grow in colonies. A method allowing cultivate them was invented by Russian scientists. Now it is used worldwide for studies in molecular genetics.
- 49 Tomilin M.G., Shevtzova V.A.**
In Nikolskoje at Valdai Hills
 How Russian fish-breeding originated
- 57 Avrutzkaya T.B.**
«And we shall go together, we could not be separated»
Heritage
- 69 Sadovnikova M.P.**
Beach Grass and Pompilus Wasp
 Brief notes in comparative psychology
What «Priroda» Wrote About
- 73 Sapelko T.V., Kolpakov E.M.**
Human Imprint in History of Kanozero
News From Expeditions
- 77**
Science News
 The Largest Saturn Ring Is Discovered. **Ashimbaeva N.T.** (77). Energy Harvesting: Energy Gathered by Tiny Bits (78). Nanoscale View of Crystal Growth (79). Are Carbon Nanotubes Toxic for Humans? (79). «Useful Contacts» with Nitrogen-Fixing Organisms. **Mukhina V.S.** (80). Gas Hydrates of Bering Sea Region (81). Underground Ice in Russian Subarctic Areas (81). Special Meeting of Russian Geographic Society. **Zubreva M.Yu.** (82). Megafauna Extinction in North America (83). Geological Structure of Yana River Paleolithic Site (84).
- 85 Antonova E.V.**
Ancient Homeland of Metal
 (on a book: L.I. Aviliva. Metal of Middle East: models of production in eneolith, early and middle bronze age)
- 88**
New Books
- 90 Zakheim A.Yu.**
Parallel Lives
Encounters With Forgotten

«Свиной» грипп: страсти и факты

В 2006 г. паника возникла в связи с вирусом гриппа птиц H5N1, который вдруг стал заражать людей и мог, по мнению некоторых специалистов, в любой момент вызвать пандемию*. К счастью, эти прогнозы не подтвердились**. Теперь страсти разгорелись вокруг вируса гриппа свиней H1N1. Мы вынуждены вернуться к проблемам изучения изменчивости вирусов гриппа и вновь обратились за разъяснениями к специалисту.

Ю.З.Гендон

В марте 2009 г. около г.Мехико возникла эпизоотия гриппа свиней, от которых был выделен вирус A/H1N1. Он оказался способен инфицировать людей и передаваться от человека к человеку. Эпидемия началась в марте в Мексике, а уже в апреле распространилась в США и Канаду, а затем и в другие страны всех континентов. В связи с этим Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в июне 2009 г. объявила о пандемии гриппа, вызванной вирусом гриппа свиней H1N1. Штамм этого вируса получил название H1N1/Калифорния/04/2009 по месту и времени его выделения от заболевшего человека. Нашлось немало специалистов и еще больше неспециалистов, которые стали предсказывать заболевание этим вирусом сотен миллионов людей и смертность десятков миллионов. Действительно ли вирус H1N1/Калифорния/04/2009 столь опасен для людей, как это предсказывали?

* Подробнее см.: Львов Д.К., Забережный А.Д., Алипер Т.И. Вирусы гриппа: события и прогнозы // Природа. 2006. № 6. С. 3—13.

** Подробнее см.: Гендон Ю.З. Пандемии гриппа: прошлое и будущее // Природа. 2008. № 5. С. 3—9.

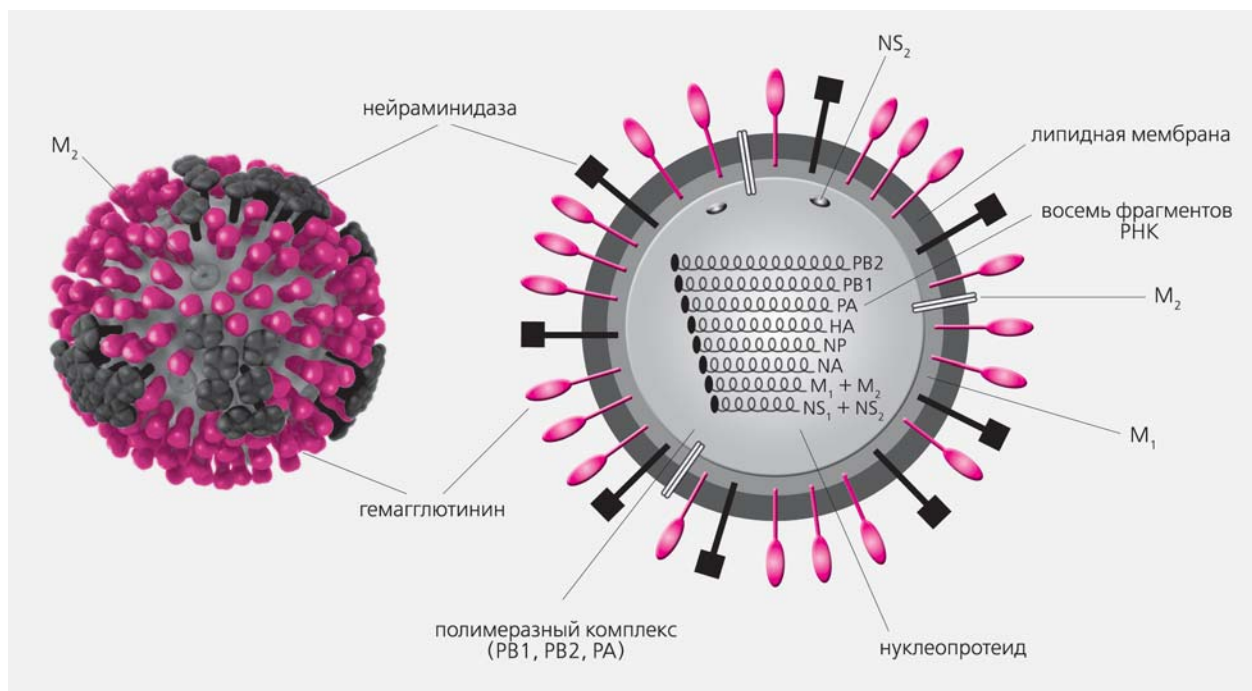


Юрий Захарович Гендон, доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории РНК-содержащих вирусов Научно-исследовательского института вакцин и сывороток им.И.И.Мечникова РАМН, заслуженный деятель науки РФ (2000), главный вирусолог Всемирной организации здравоохранения (1985—1995). Область научных интересов — борьба с вирусными инфекциями и разработка противовирусных вакцин.

Досье на вирус H1N1

Из достоверных источников известно, что вирус гриппа H1N1 повинен в пандемии 1918—1919 гг., которая, как полагают, зародилась в Китае, затем перекинулась в США и вскоре охватила весь мир, унеся жизни 40 млн человек. Правда, установить «личность» вируса удалось не сразу. Во время пандемии он выделен не был, поэтому его «опознание» велось по изучению оставленных им следов — ретроспективному анализу антител в сыворотках людей, болевших гриппом в 1918 г. [1]. Идентифицированный вирус заподозрили в родственных связях с вирусом гриппа свиней H1N1, поскольку он нейтрализовался антителами людей, переживших пандемию [2].

С появлением методов молекулярной генетики удалось реконструировать вирус H1N1 по фрагментам его генома, сохранившимся в телах людей, умерших от гриппа в 1918 г. и захороненных в районах с вечной мерзлотой [3]. Проанализировав весь геном (РНК) реконструированного вируса, ученые пришли к выводу, что он не относится ни к одному из известных вирусов гриппа свиней



Структура вириона вируса гриппа А. Диаметр вирусной частицы — 80—120 нм. В центре находится главный структурный белок вируса — нуклеопротеид (NP), содержащий восемь фрагментов РНК, которые кодируют 10 вирусных белков. Матриксный белок М1 формирует внутренний слой липидной мембраны, на поверхности которой выступают гликопротеины двух типов. Гемагглютинин (НА), взаимодействуя с клеточными рецепторами, обеспечивает прикрепление вируса к клетке. Нейраминидаза (NA) отвечает, с одной стороны, за проникновение вирусной частицы в клетку, с другой — за выход из нее новых вирионов. Белки полимеразного комплекса (PB1, PB2 и PA) обеспечивают синтез вирусной РНК внутри клетки хозяина. Матриксный белок М2 образует в мембране вириона ионные каналы. NS1 и NS2 — неструктурные белки, включающиеся в работу в зараженной клетке, при этом NS1 ингибирует действие интерферона, а NS2 обеспечивает трансляцию вирусной мРНК и транспорт полимеразного комплекса через ядерные поры в цитоплазму. Нуклеопротеид постоянен по своей структуре и определяет тип вируса (А, В и С). Поверхностные белки, напротив, чрезвычайно изменчивы и определяют разные штаммы одного типа вируса (H1N1, H5N1 и т.д.).

или птиц [3]. Изучены были и свойства воссозданного вируса, а также его гибридов (реассортантов), сконструированных с использованием обычных (вызывающих ежегодные эпидемии) вирусов человека H1N1 и содержащих только один ген пандемического (реконструированного) вируса. Оказалось, что его исключительно высокая агрессивность (степень патогенности, или вирулентность) связана с мутациями в генах, кодирующих синтез поверхностных белков (гемагглютинина и нейраминидазы, которые отвечают за проникновение вируса в клетку), а также внутреннего белка PB1, участвующего в производстве вирусной РНК [4].

Вирус гриппа человека H1N1 циркулировал до 1957 г. и, очевидно, он замешан в создании нового высоковирулентного штамма H2N2 — поделился с ним генами, которые кодируют синтез внутренних белков, отвечающих за размножение вируса [5]. В 1957 г. вирус H2N2 вызвал пандемию, во время которой погибло 4—5 млн человек. В 1968 г. причиной пандемии стал вирус

H3N2, унесший 2—3 млн жизней, а вот в 1977 г. вновь появился вирус H1N1. Хотя заболеваемость и смертность тогда были умеренными, ВОЗ объявила о пандемии, поскольку штамм распространился повсеместно. Гриппом тогда болели в основном люди до 20 лет, т.е. родившиеся после 1957 г., когда вирус H1N1 уже исчез. Молодые люди с ним не встречались, и потому у них не было к нему иммунитета. В 1918—1919 гг. 99% умерших от гриппа людей были в возрасте 20—40 лет. Те, кто был старше 60—65 лет, по-видимому, уже встречались с этой антигенной разновидностью вируса H1N1 и выжили [1].

К слову, при пандемиях 1957 и 1968 гг., как и в 1918 г., грипп также значительно реже поражал пожилых людей, чем молодых [6]. В сыворотках, которые были взяты до начала пандемий у людей, живших в конце XIX в. — начале XX в., найдены антитела к пандемическим штаммам вируса гриппа H2 и H3 [7]. Значит, сходные с ними штаммы, видимо, уже циркулировали за 60—70 лет до начала пандемий.

Вирусы гриппа свиней

Вирус гриппа свиней впервые выделен в 1931 г., а вирус гриппа человека — в 1933 г. В 1936 г. поросят попытались инфицировать ранними штаммами вируса гриппа человека, но признаки заболевания у животных практически не проявились [8]. Даже заражение свиней пандемическим штаммом H2N2 не привело к развитию инфекции — у животных не выявили ни самого вируса, ни антител к нему [9].

Известно, что вирус гриппа может проникнуть в клетку только при соответствии рецепторов на ее мембране составу аминокислот рецепторного участка гемагглютинаина вируса. Это — важный компонент видовой специфичности вирусов гриппа. Именно поэтому контакт людей с вирусами гриппа других животных (птиц, лошадей и т.д.), как правило, не приводит к развитию инфекции, равно как птицы и лошади обычно не заражаются вирусами гриппа человека.

Однако у свиней в эпителии трахеи есть по крайней мере два рецепторных участка, с которыми могут взаимодействовать вирусы гриппа не только свиней, но и птиц, а также человека [10]. При одновременном размножении этих вирусов в клетках свиньи образуются фрагменты их геномов, из которых собираются новые вирусные частицы (вирионы). Так происходит реассортация вирусов.

Конечно, не все гибриды (реассортанты) становятся жизнеспособными и инфекционными. Все зависит от комбинации генов. Поскольку антигенную специфичность вируса определяет гемагглютинин, наибольшее внимание стали уделять тем реассортантам, у которых ген, кодирующий синтез этого поверхностного белка, заимствован от одного из вирусов гриппа человека, и таких оказалось немало. В 1949 г. в Корее у свиней обнаружили вирус гриппа, гемагглютинин которого по антигенной специфичности был сходен с H1 вируса гриппа человека [11]. В 1959 г. в Литве у заболевших свиней обнаружили вирус с таким же гемагглютинином, как у первых штаммов вируса гриппа человека WS/H1N1, выделенных 26 лет назад [12]. В 1970 г. на Тайване во время эпидемии гриппа одновременно среди людей и свиней циркулировали схожие по гемагглютинину вирусы серотипа H3N2 [13].

До 1990-х годов вирусы гриппа свиней были относительно стабильны по антигенной специфичности. Затем одна за другой стали появляться публикации о выделении у свиней тройных реассортантов. В 1993 г. в Италии от свиней был выделен гибрид, несущий гены вирусов гриппа свиней, птиц и человека [14]. Кроме того, обнаруженные тогда вирусы свиней H1N1 и H3N2 были близки по антигенной специфичности и последовательности нуклеотидов гемагглютининов с H3 и H1 вирусов человека. Гемагглютинин вирусов, выделенных

в конце 1990-х годов в США у свиней, хотя и отличался по 12 аминокислотам, все же напоминал H3 вируса человека [15]. Крайне похож на него и гемагглютинин вируса H3N2, который нашли в 1997 г. в Канаде у поросенка. Правда, в его организме вирус размножился слабо и в популяции свиней не распространился [16]. Вирус свиней H1N1, выделенный в США в 1998 г., содержал гены классического вируса свиней (гены белков M, NS и NP), а также гены вирусов птиц (гены PA и PB2) и человека (гены гемагглютинаина, нейраминидазы и белка PB1) [17]. В марте 2009 г. около г. Мехико возникла эпизоотия гриппа свиней, от которых выделили вирус H1N1 [17]. Штамм оказался также тройным реассортантом, к тому же способным заражать людей, но об этом чуть позже...

Преодоление видовых барьеров

Первый случай заражения человека вирусом гриппа свиньи был отмечен в 1928 г., т.е. за три года до открытия самого вируса. В 1970 г. в США у 45% людей, которые в связи с профессией часто контактируют со свиньями, в сыворотках крови обнаружили антитела к недавно выделенным штаммам вирусов гриппа свиней [18]. Возможность заражения людей вирусами свиней подтвердилась и в специальных исследованиях на добровольцах. Выяснилось, что вирусы H3N2 вызывают более слабые клинические проявления, чем H1N1 [19].

Начиная с 1970 г. единичные случаи заражения людей вирусами гриппа свиней описывались неоднократно. За последние 35 лет в мире выявлено 50 таких случаев, однако передача инфекции от человека к человеку отмечалась крайне редко. У большинства людей, инфицированных тройными реассортантами вирусов гриппа свиней H1N1 (до недавних событий таких случаев было 11 из упомянутых 50), инкубационный период длился от трех до пяти дней, а клинические проявления, как правило, не отличались от симптомов, вызванных обычными вирусами гриппа человека [20]. Лишь однажды заражение группы людей вирусом свиней H1N1, произошедшее в США в 1976 г., вызвало серьезные опасения [21]. Тогда заболело пять солдат, из них один умер. Кроме того, еще у 230 человек выявили антитела к тому же вирусу, но инфекция протекала бессимптомно. Поскольку в то время полагали, что пандемию 1918 г. вызвал вирус свиней H1N1, возникло предположение о новой пандемии гриппа, которая, к счастью, не состоялась [22]. В общей сложности до марта 2009 г. от вирусов гриппа свиней погибло семь человек [20].

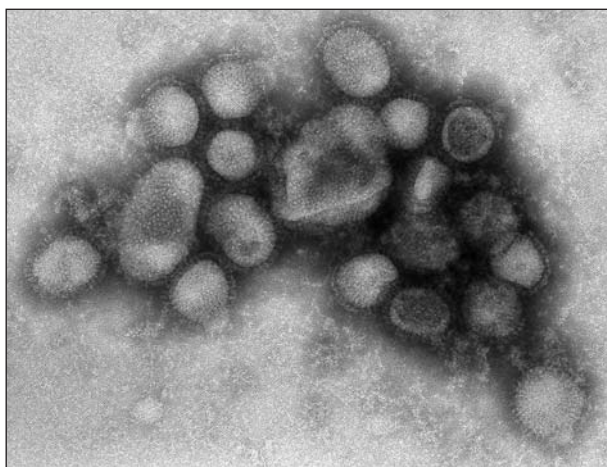
Почему вирусы свиней, гемагглютинин которых такой же, как и у вирусов человека, столь редко заражали людей? Возможно, у многих из них выработался иммунитет, поскольку они уже встре-

чались с вирусами человека с подобным гемагглютинином. Однако более вероятно другое объяснение. Гемагглютинин вирусов человека помогает реассортантам вирусов свиней проникнуть в чужую клетку, но для их размножения этого, видимо, недостаточно. Известно, что вирусы гриппа птиц и человека отличаются не только рецепторными участками гемагглютинина. Столь же плохо в клетках человека функционируют и внутренние белки вирусов животных — PA, PB1, PB2, NP, NS, NA, отвечающие за синтез вирусной РНК, защищающие от действия интерферона и обеспечивающие сборку новых вирионов. Вероятно, нечто подобное происходит и с белками вирусов гриппа свиней, поэтому им необходимы либо дополнительные мутации в определенных белках, либо особая композиция реассортанта, что, видимо, возникает крайне редко.

Пандемия или эпидемия?

Вирус H1N1, впоследствии названный A/H1N1/Калифорния/04/2009, циркулировал некоторое время среди свиней в Мексике и на юге США, не вызывая заболевания ни у свиней, ни у людей. Но в марте 2009 г. на свиноферме около г.Мехико вспыхнула эпизоотия гриппа свиней. Какие же произошли изменения, превратившие ранее апатогенный вирус в вирулентный?

Подобные истории происходили с вирусами гриппа птиц H5N2 (в 1983 г. в Пенсильвании) и H7N1 (в 1999 г. в Италии). Их вирулентные варианты отличались от апатогенных одной-двумя мутациями в участке расщепления гемагглютинина [5, 23]. Однако это превращение произошло в пределах одного вида животных (кур). По-видимому, чтобы инфицировать человека и распространить-



Микрофотография вируса A/H1N1/Калифорния/04/2009, сделанная в лаборатории по изучению гриппа Центра контроля заболеваний (Center for Disease Control).

<http://www.cdc.gov>

ся в его популяции, вирусу необходимы более серьезные генетические изменения, что, очевидно, и произошло в 2009 г. с вирусом гриппа свиней, когда возник штамм H1N1/Калифорния/04/2009. По антигенной специфичности он сильно отличался от вируса H1N1/Брисбен/59/2007, который участвовал в сезонных эпидемиях гриппа в последние годы [17].

В США расшифровали геномы вирусов гриппа свиней H1N1, выделенных в 2009 г. от 76 инфицированных людей в Мексике и США [17]. Вирус H1N1/Калифорния/04/2009 оказался тройным реассортантом, которому от вирусов свиней достались гены гемагглютинина, NP, NS (от классического штамма), нейраминидазы и белка М (от евроазиатской линии), от вируса птиц — гены белков PB2, PA и от вирусов человека — ген PB1. Однако никаких мутаций, связанных с повышением вирулентности других вирусов, у H1N1/Калифорния/04/2009 не нашли. Не удалось выяснить, и какие именно изменения позволили ему начать инфицировать людей: рецепторный участок его гемагглютинина типичен для вирусов гриппа свиней, но не человека.

Но, как бы то ни было, эпидемия, вызванная вирусом свиней H1N1/Калифорния/04/2009, вспыхнула в марте 2009 г. в Мексике, в апреле перекинулась на США и Канаду, а затем охватила и другие страны. Через три месяца (к началу июля) вирус циркулировал уже в 137 странах, где заболели 94 512 человек, из которых 429 умерли. Через полгода (к началу октября) общее количество больных гриппом выросло в четыре раза — до 378 223 человек, из которых 4525 умерли. Это, конечно, немало, однако не стоит забывать, что при сезонных эпидемиях гриппа в мире погибает гораздо больше людей — от 250 тыс. до 500 тыс. человек.

По данным ВОЗ, основанным на многолетних наблюдениях за гриппом в более чем 80 странах, при ежегодных эпидемиях гриппом болеет от 20 до 30% детей и от 5 до 10% взрослых (в среднем — 10%). В разных странах Северного полушария сезонные эпидемии гриппа могут протекать в разное время: обычно с декабря по апрель, но порой тянутся до конца мая. Таким образом, в Европе, где проживает около 700 млн человек, за пять месяцев эпидемии гриппом может заболеть около 70 млн человек и умереть не менее 50 тыс. За тот же период вирус H1N1/Калифорния/04/2009 во всех странах Европы поразил 59 тыс. человек, из которых 193 умерло.

В США, где проживает около 280 млн человек, при обычных сезонных эпидемиях гриппа болеет около 20 млн при смертности 40 тыс. человек. С апреля по июль вирус H1N1/Калифорния/04/2009 инфицировал 33 902 человека, из них 170 умерло. Пик заболеваемости наступил в начале октября (к этому времени во всем американском регионе заболело 146 016 человек и умерло 3 292), а к концу ноября она резко снизилась.

Замечу, что в 1957—1958 гг. только в США от гриппа погибло 89 тыс. человек, а в 1968—1969 гг. — 30 тыс. Но это были пандемии средней тяжести. При наиболее агрессивной пандемии 1918 г. в этой стране в первые два месяца (с сентября по ноябрь) еженедельно умирало по 10 тыс. человек, а в общей сложности — 675 тыс. В Африке эта пандемия за несколько недель унесла 1.5—2 млн жизней, а в Индии — 7 млн. В 2009 г. в Индии заболевания людей вирусом H1N1/Калифорния/04/2009 регистрировались уже в июне, а к началу октября во всем Юго-Восточном регионе, в который входит Индия, гриппом болели 380 038 человек, из них 480 умерли. Таким образом, заболеваемость и смертность при циркуляции вируса H1N1/Калифорния/04/2009 намного ниже даже в сравнении с последствиями сезонных эпидемий гриппа, не говоря уже о потерях при пандемиях XX в.

По мнению выдающегося вирусолога А.А.Сморodinцева, «выход вируса гриппа на эпидемическую орбиту в качестве нового для данной ситуации антигенного варианта возможен только после восстановления им высочайшей вирулентности» [24]. Столь же крупный специалист по гриппу Э.Килбурн считает, что антигенная новизна сама по себе недостаточна для широкого рассеяния вируса гриппа [25]. Чтобы он стал пандемическим, ему необходимо «научиться» молниеносно распространяться, т.е. быстро передаваться от одного человека к другому, что на языке специалистов называется высокой трансмиссибельностью. У вируса H1N1/Калифорния/04/2009 такие способности, похоже, весьма ограничены. По крайней мере ему редко удавалось заразить людей, контактировавших в самолете с больным пассажиром. Накопленные к настоящему времени данные о других особенностях вируса H1N1/Калифорния/04/2009 также не позволяют отнести его к пандемическим штаммам; скорее, он сходен с обычными вирусами гриппа человека, вызывающими сезонные эпидемии.

Известно, что во время настоящих пандемий 1957 и 1968 гг., преобладали именно пандемические штаммы вируса. Логично предположить, что и вирус H1N1/Калифорния/04/2009 должен был вытеснить другие вирусы гриппа. Однако этого не произошло, по крайней мере пока.

В США в сентябре 2009 г. (уже перед вторым подъемом заболеваемости) наряду с вирусом H1N1/Калифорния/04/2009 продолжали циркулировать и другие вирусы гриппа человека. В странах Южного полушария случаи инфекции H1N1/Калифорния/04/2009 регистрировались в апреле—мае 2009 г. Однако в Австралии эпидемию, начавшуюся в июне—июле, вызвали в основном вирусы человека H3N2/Перт/16/2009 и H1N1/Брисбен/59/2007, в Аргентине в мае—июне — H3N2/Перт/16/2009 и H1N1/Брисбен/59/2007, а июльскую в Чили — H3N2. В ЮАР эпидемия гриппа началась в мае с пи-

ком заболеваемости в июне, продолжалась в июле; ее вызвал вирус H3N2/Перт/16/2009. В Новой Зеландии эпидемия вспыхнула в мае—июне из-за вируса H1N1/Брисбен/59/2007.

Наряду со всеми перечисленными виновниками эпидемий в странах Южного полушария циркулировали и другие возбудители гриппа, в том числе и новый штамм H1N1/Калифорния/04/2009. По его вине в июне 2009 г. в Австралии заболели гриппом 5298 человек, в Аргентине — 2485, в Чили — 7376, в Новой Зеландии — 1059 и в ЮАР — 18. Появление нового варианта вируса гриппа, существенно отличающегося по антигенной специфичности от вируса, который циркулировал в прошлых сезонах, естественно, привело к более напряженной эпидемии. Однако это не стоит считать чем-то неожиданным и связывать с пандемиями.

* * *

По клиническим проявлениям заболевание, вызванное вирусом H1N1/Калифорния/7/2009, не отличается от сезонного гриппа. Как правило, люди болеют от одного до восьми дней (в среднем три дня) в легкой или умеренной форме, при этом большинство выздоравливает достаточно быстро. Как и при обычных сезонных эпидемиях гриппа, более тяжелое состояние, осложнения и смерть грозят людям, страдающим хроническими заболеваниями и относящимся к группам риска.

Вирус H1N1/Калифорния/7/2009 поражает преимущественно молодых людей. В США 46% госпитализированных — моложе 18 лет и лишь 5% — старше 65 лет; в Канаде 74.3% заболевшим было не более 30 лет (5.9% — дети до 4 лет, 10.6% — 5—9 лет, 57.8% — 10—29 лет) и лишь 0.7% — больше 65 лет. Близкая ситуация сложилась и в других странах: 78% случаев гриппа пришлось на людей моложе 30 лет (25% до 9 лет, 36% — 10—19 лет, 17% — 20—29 лет), 9% — 30—39 лет, 7% — 40—49 лет и 5% — старше 50 лет.

Напомню, во время пандемий XX в. меньше всего пострадали пожилые люди, которые, возможно, уже встречались с вирусом, похожим по антигенной специфичности на пандемические штаммы. Вирус гриппа человека H1N1 циркулировал среди людей с 1918 г. по 1957 г. и за это время претерпел значительные генетические изменения, затем вновь объявился в 1977 г. и, продолжая меняться, дожил до наших дней. Нельзя исключить, что после 1977 г. мог возникнуть антигенный вариант вируса H1N1, сходный по антигенной специфичности с гемагглютинином вируса H1N1/Калифорния/7/2009. Очевидно, к встрече с ним оказались лучше подготовлены (приобрели иммунитет) люди, контактировавшие с его антигенным вариантом 30 лет назад.

Некоторые специалисты утверждают, что вирулентность вируса H1N1/Калифорния/7/2009 по мере его циркуляции среди людей может повышаться. Однако, судя по данным, накопленным

к ноябрю 2009 г. (когда эта статья готовилась к публикации), вирус не изменил ни вирулентности, ни антигенной специфичности и остается генетически гомогенным. Сейчас штамм H1N1/Калифорния/7/2009 нельзя отнести к пандемическим штаммам вируса гриппа, и не думаю, что он сможет вызвать новую пандемию. Все, что происходит в наши дни, — не пандемия и даже не ее начало, а вспышка эпидемии, вызванная тройным реассортантом гриппа свиней, который из-за каких-то причин стал вирулентным для человека. Каких именно, надо выяснять. Известно, что есть две линии вируса гриппа свиней H1N1 — американская и евразийская. Американский вариант циркулирует в США уже 10 лет и никаких опасений за эти годы не вызывал. Однако вызвавший панику реассортант наделен еще и двумя генами евразийского вируса H1N1, что, возможно, и привело к его вирулентности для человека. Но в любом случае для развития пандемии этого недостаточно.

Добиться успеха в борьбе с сезонными эпидемиями гриппа можно с помощью обычных мер, несмотря на циркуляцию нового антигенного варианта, мало чем отличающегося от обычных ви-

русов гриппа человека. И хотя некоторые известные ученые сомневаются в эффективности такого подхода, успешными оказались даже простые карантинные мероприятия. По данным ВОЗ, заболеваемость уже пошла на спад и в Мексике, и в США, и в Канаде, и в Англии, и в других странах.

В последнее время в некоторых странах, в том числе и в России, начато производство вакцины против вируса H1N1/Калифорния/7/2009. Конечно, профилактика вызываемого им гриппа весьма целесообразна. Однако надо иметь в виду, что в странах Южного полушария в сезонных эпидемиях участвовали помимо H1N1/Калифорния/7/2009 еще и вирусы гриппа человека. Подобная ситуация может быть и в Северном полушарии. Поэтому, на мой взгляд, не менее важна иммунизация людей вакцинами из трех штаммов вируса гриппа человека (H1N1, H3N2 и B). Что же касается вируса H1N1/Калифорния/7/2009, то в сентябре 2009 г. ВОЗ рекомендовала включить его в список штаммов для подготовки вакцин на следующий эпидемиологический сезон в странах Южного полушария. (Для Северного полушария рекомендации готовятся в феврале.) ■

Литература

1. Potter C. Chronicle of Influenza Pandemics // Textbook of Influenza / Eds K.Nicholson, R.Webster, A.Hay. Oxford, 1988. P.3—18.
2. Francis T., Shope R. // J. Exp. Med. 1936. №63. P.645—653.
3. Taubenberger J. // Proc. Amer. Phil. Soc. 2006. №150. P.86—112.
4. Pappas C., Aguilar F., Barber C. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2008. №105. P.3064—3069.
5. Kawaoka Y., Naeve C., Webster R. // Virology. 1984. №139. P.303—316.
6. Simonsen L., Clarke M., Schonberger L. et al. // J. Infect. Dis. 1998. №178. P.53—60.
7. Masurel N. // Bull. WHO. 1969. №41. P.461—468.
8. Shope R., Francis T. // J. Exp. Med. 1936. №64. P.791—801.
9. Patocka F., Shreiber E., Kubelka V. et al. // J. Hyg. Epid. Microbiol. Immun. 1958. №2. P.9—12.
10. Ito T., Couclio J., Kelm S. et al. // J. Virol. 1998. №72. P.7367—7373.
11. Francis T., Quilligan J., Minuse E. // Proc. Soc. Exp. Biol. 1949. №71. P.216—220.
12. Стаханова В.М., Андриаскус Э.Я. Изучение вируса гриппа А, выделенного от свиней в 1959 г. // Сб. аннотаций работ НИИ вирусологии им.Ивановского за 1960 г. М., 1962. С.62.
13. Kundin W. // Nature. 1970. №228. P.857.
14. Casstrucci M., Donatelli I., Sidoil L. et al. // Virology. 1993. №119. P.503—506.
15. Karasin A., Schutten M., Cooper L. et al. // Virus Res. 2000. №68. P.71—85.
16. Landolt G., Karasin A., Phillips L. et al. // Clin. Microbiol. 2003. №41. P.1936—1941.
17. Garten R., Davis C., Russel C. et al. // Science. 2009. №325. P.197—201.
18. Schnurrenberger F., Woods G., Martin R. // Am. Rev. Respirat. 1970. №102. P.356—360.
19. Истерпей Б. Грипп у животных // Вирусы гриппа и грипп. М., 1978. С.493—522.
20. Shinde V., Bridges C., Uyeki T. et al. // New Engl. J. Med. 2009. №360. P.2616—2625.
21. Top F., Russell P. // J. Infect. Dis. 1977. №136. P.376—380.
22. Bregman D., Kurland L., Nathanson N. et al. // Am. J. Epidem. 1984. №119. P.841—845.
23. Keiner B., Wagner R., Herwig A. et al. Hemagglutinin Glycosylation Promotes Spread of Infection of a Highly Pathogenic Avian Influenza Virus (H1N1) / Option for control of influenza. 2007. V.1. №14. P.13.
24. Смородинов А.А., Дузянина Т.Н., Иванова Н.А. // Вопр. вирусол. 1982. №1. С.87—91.
25. Килбурн Э.Д. Эпидемиология гриппа // Вирусы гриппа и грипп / Ред. Э.Д.Килбурн. Пер. И.Г.Харитоненкова, А.И.Климова, Н.В.Каверина М., 1978. С.526—579.

Мицеллы — самоорганизующиеся структуры

А.В.Шибает, О.А.Карабельская

В последнее время растет интерес к исследованию, казалось бы, хорошо всем знакомых поверхностно-активных веществ (ПАВ). Молекулы ПАВ благодаря своей способности к самоорганизации образуют разнообразные надмолекулярные комплексы, вызывая к жизни уникальные свойства, которые не характерны для других веществ. Помимо научной ценности ПАВ обладают чрезвычайно широкой областью практического применения. Доступность и невысокая стоимость многих ПАВ делает их незаменимыми в быту и промышленности.

Комплексы, состоящие из молекул

Поверхностно-активные вещества образуют чрезвычайно широкий класс химических соединений. Поверхностно-активными их называют потому, что они способны адсорбироваться на границах раздела фаз, уменьшая поверхностное натяжение. Есть вещества, наоборот, увеличивающие в аналогичной ситуации поверхностное натяжение; они называются поверхностно-инактивными. Самое известное ПАВ, пожалуй, — обыкновенное мыло. ПАВ используются для изготовления моющих средств, красок, косметики,



Андрей Владимирович Шибает, выпускник кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, сотрудник ректората. Область научных интересов — вязкоупругие поверхностно-активные вещества и их комплексы с полимерами.



Оксана Александровна Карабельская, студентка той же кафедры. Участвует в изучении реологии комплексов вязкоупругих поверхностно-активных веществ с магнитными наночастицами.

в нефтедобыче и т.д., о чем подробнее пойдет речь дальше. Жизненно важны природные ПАВ — липиды, образующие клеточные мембраны.

Молекулы ПАВ обладают амфифильными (смешанными) свойствами. Они состоят из двух частей — лиофильной, хорошо растворимой в жидкости (если жидкость — вода, то гидрофильной), и плохо растворимой лиофобной (гидрофобной). Гидрофильная часть полярна,

гидрофобная неполярна и часто представляет собой длинный углеводородный хвост, содержащий от 8 до 22 атомов углерода. Этот хвост называют алкильным хвостом (или алкильной цепью) ПАВ, так как по своему химическому строению он очень похож на молекулы алканов — углеводородов, содержащих повторяющиеся группы $-CH_2-$. ПАВ делятся на ионогенные (содержащие ионогенную, т.е. способную к диссоциации на амфифиль-

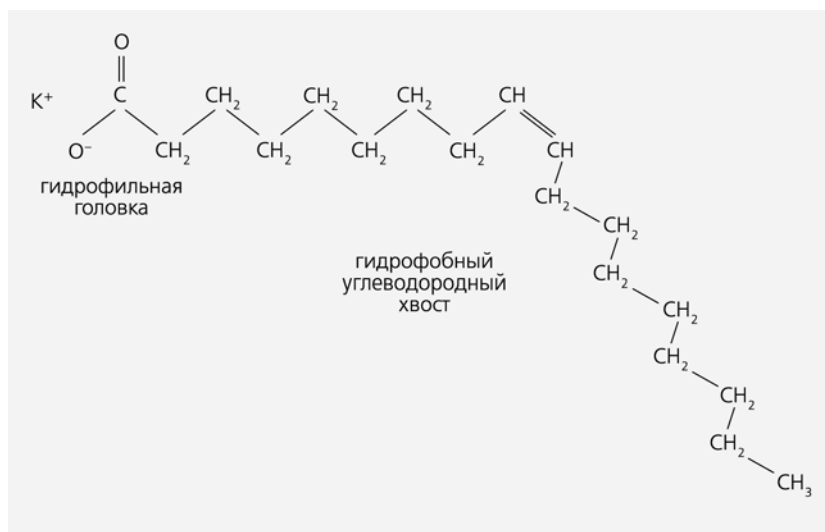


Рис.1. Олеат калия $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COO} - \text{K}^+$ — соль непредельной олеиновой кислоты.

ный ион и противоион, полярную группу) и неионогенные. Ионогенные ПАВ классифицируют по заряду полярной группы, подразделяя их на катионные, анионные, цвиттер-ионные и амфолитные. Цвиттер-ионные ПАВ содержат как катионную, так и анионную группу. Заряд полярной группы амфолитных ПАВ может меняться в зависимости от pH среды — они могут становиться и кати-

онными, и анионными, и неионными. Типичными примерами анионных ПАВ могут служить соли жирных кислот (рис.1).

Основная особенность поверхностно-активных веществ — способность к самоорганизации [1, 2]. Специфическое поведение амфифильных молекул в водном растворе обусловлено тем, что неполярные группы нерастворимы в воде и их контакт с водой термодинамически невыгоден.

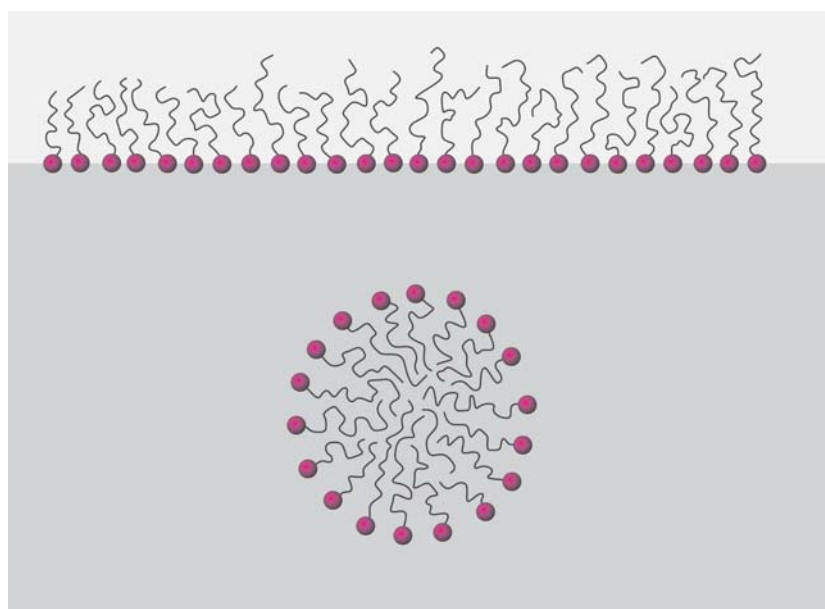


Рис.2. Сферическая мицелла в водном растворе ПАВ.

Если существует граница раздела фаз, молекулы ПАВ адсорбируются на этой границе и ориентируются так, что гидрофильная часть остается в полярном растворителе, а гидрофобный хвост выталкивается из него и оказывается обращенным к другой фазе. Однако возможна и другая ситуация: если границы раздела нет или молекул ПАВ достаточно много, они агрегируют с образованием надмолекулярных структур, например мицелл (рис.2). Мицелла — это устойчивый комплекс молекул, связанных между собой гидрофобным притяжением, возникающим в воде между углеводородными хвостами из-за того, что контакт хвостов друг с другом гораздо более выгоден, чем их контакт с водой. Образую мицеллы, молекулы сами формируют для себя границу раздела, гидрофобные части оказываются внутри мицеллы и не контактируют с водой, а поверхность мицеллы получается гидрофильной. Мицеллообразование, как и адсорбция ПАВ на границах раздела, приводит к уменьшению свободной энергии, т.е. является термодинамически выгодным процессом.

Движущая сила мицеллообразования — гидрофобное взаимодействие неполярных групп, входящих в состав молекул ПАВ. Оно усиливается с увеличением длины хвоста ПАВ. Однако важно и наличие гидрофильных групп, так как силы отталкивания (например, электростатические), действующие между ними, препятствуют дальнейшей агрегации молекул и макрофазному разделению, которое характерно, например, для длинноцепочечных спиртов. Но взаимное отталкивание полярных групп не должно быть слишком сильным, так как в этом случае наиболее выгодным будет молекулярный раствор. Самоассоциация ПАВ всегда сопряжена с балансом гидрофобных и гидрофильных взаимодействий.

Образование мицелл в растворе происходит, если концентрация ПАВ превышает величину

ну, называемую *критической концентрацией мицеллообразования* (ККМ) [1, 2]. Для большинства ПАВ эта важная характеристика невелика, например, для водного раствора олеата калия она составляет 0.026 мас. % (0.8 мМ) [3]. При концентрациях ниже ККМ вещество находится в молекулярно растворенном состоянии и проявляет свойства обычных электролитов; при повышении концентрации происходит агрегация в мицеллы, однако небольшое количество ПАВ остается в растворе в виде отдельных молекул. Метод определения ККМ основан на том, что при достижении ККМ наблюдается резкое изменение характера зависимостей многих свойств раствора (поверхностного натяжения, интенсивности светорассеяния, коэффициента самодиффузии ПАВ и т.д.) от концентрации ПАВ, что свидетельствует о переходе от молекулярного раствора к мицеллярному. Величина ККМ зависит от строения молекулы ПАВ (ее значение уменьшается в несколько раз при добавлении к цепи одной метиленовой группы, т.е. при увеличении длины алкильной цепи), от природы и заряда противоиона, а также от строения углеводородного хвоста — наличия разветвлений и двойных связей. ККМ ионогенных ПАВ слабо меняется при изменении температуры. Введение в раствор электролита (например, соли) приводит к существенному понижению ККМ, причем этот эффект гораздо сильнее выражен для длинноцепочечных молекул [1].

Для ионогенных ПАВ характерно явление *Крафта* — сильная зависимость растворимости от температуры [2]. Растворимость может быть малой при низких температурах и резко увеличиваться при температурах выше так называемой *точки Крафта*. Точка Крафта определяется как температура, при которой растворимость ПАВ равняется ККМ (рис.3), и входит в число важных характеристик

данного ПАВ. Резкое увеличение растворимости выше точки Крафта объясняется тем, что становится возможным образование мицелл, имеющих по сравнению с молекулярным ПАВ огромную растворимость. Ниже точки Крафта молекулы ПАВ выпадают из раствора в осадок в виде гидратированных кристаллов.

Взаимодействие молекул ионогенных ПАВ во многом определяется электростатическими взаимодействиями ионов, которые расположены на поверхности мицеллы. Поэтому при изучении мицеллярных систем важна такая характеристика, как степень связывания противоионов, равная отношению концентрации связанных с мицеллами противоионов к концентрации ПАВ в мицелле. Она остается постоянной величиной при увеличении мицеллярной концентрации на порядки, что обычно связывают с конденсацией противоионов на мицелле [1]. Это означает, что ассоциация противоионов с мицеллой растет до определенного уровня, обеспечивающего некоторую эффективную плотность заряда мицел-

лы, а затем сохраняется практически неизменной и не зависит ни от концентрации мицелл, ни от температуры. Простые неорганические противоионы очень слабо связываются с мицеллой, не образуя из-за своей мобильности комплекс с фиксированным расстоянием до полярной группы. Диссоциация таких противоионов играет первостепенную роль при мицеллообразовании, так как макрофазное разделение оказывается невыгодным из-за макроскопического разделения зарядов.

Молекулы ПАВ взаимодействуют не только между собой, но и с растворителем, что и задает общий характер взаимодействий в системе, поэтому для мицеллообразования очень важен тип растворителя. Растворители характеризуются *параметром Гордона* $\gamma/V^{1/3}$ (Н/м²), где γ и V — поверхностное натяжение и молярный объем растворителя. Мицеллообразование наблюдается в полярных растворителях, для которых $\gamma/V^{1/3} > 1.3$ (например, в воде), а также в неполярных ($\gamma/V^{1/3} < 0.3$), но не происходит в промежуточной области [2].

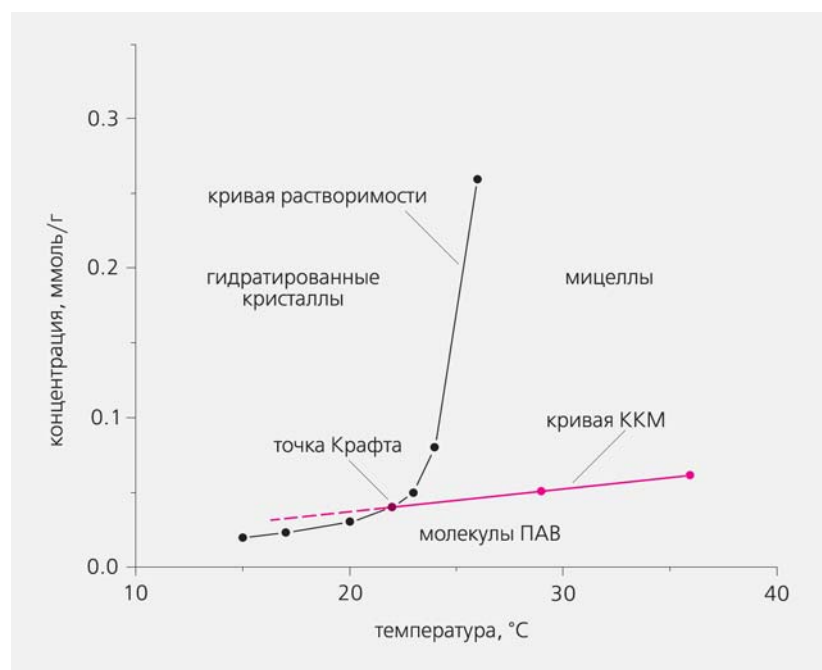


Рис.3. Точка Крафта.

Структура мицелл, образуемых ПАВ, — динамическая, между раствором и мицеллами происходит непрерывный обмен молекулами ПАВ. Сферические мицеллы можно представить себе, как микроскопические капли углеводорода, окруженные слоем из полярных групп, взаимодействующих с водой. Молекулы, находящиеся в составе мицеллы, упакованы не строго, как, например, в кристаллах. Углеводородное ядро мицеллы представляет собой неупорядоченную структуру, похожую на жидкий углеводород, а поверхность мицеллы «неровная». Аналогичная картина имеет место и для цилиндрических мицелл [1, 4].

Растворы, содержащие ассоциаты амфифильных молекул, — типичные примеры *коллоидных систем*. Коллоидные системы чрезвычайно распространены — примерами могут служить дым и туман, различные эмульсии (например, кровь или молоко), мезопористые материалы. Коллоиды, образованные мицеллами, гораздо более сложны, чем другие подобные системы (например, золи твердых частиц), так как молекулы в мицеллах ассоциированы не химически, а физически, т.е. за счет относительно слабых нековалентных взаимодействий. Это означает, что размер, форма и свойства ассоциатов могут быть очень разнообразными и подверженными изменениям в зависимости от внешних условий; мицеллярные растворы оказываются восприимчивыми к таким факторам, как концентрация ПАВ, наличие солей и неполярных веществ, температура, рН и т.д. Какова же форма мицелл и других структур, образуемых амфифильными молекулами?

Многообразие форм...

Многим типам ПАВ в широком диапазоне концентраций присуще образование сферических мицелл (рис.2, 4,а) [1, 2, 4—6]. Сферическую модель для

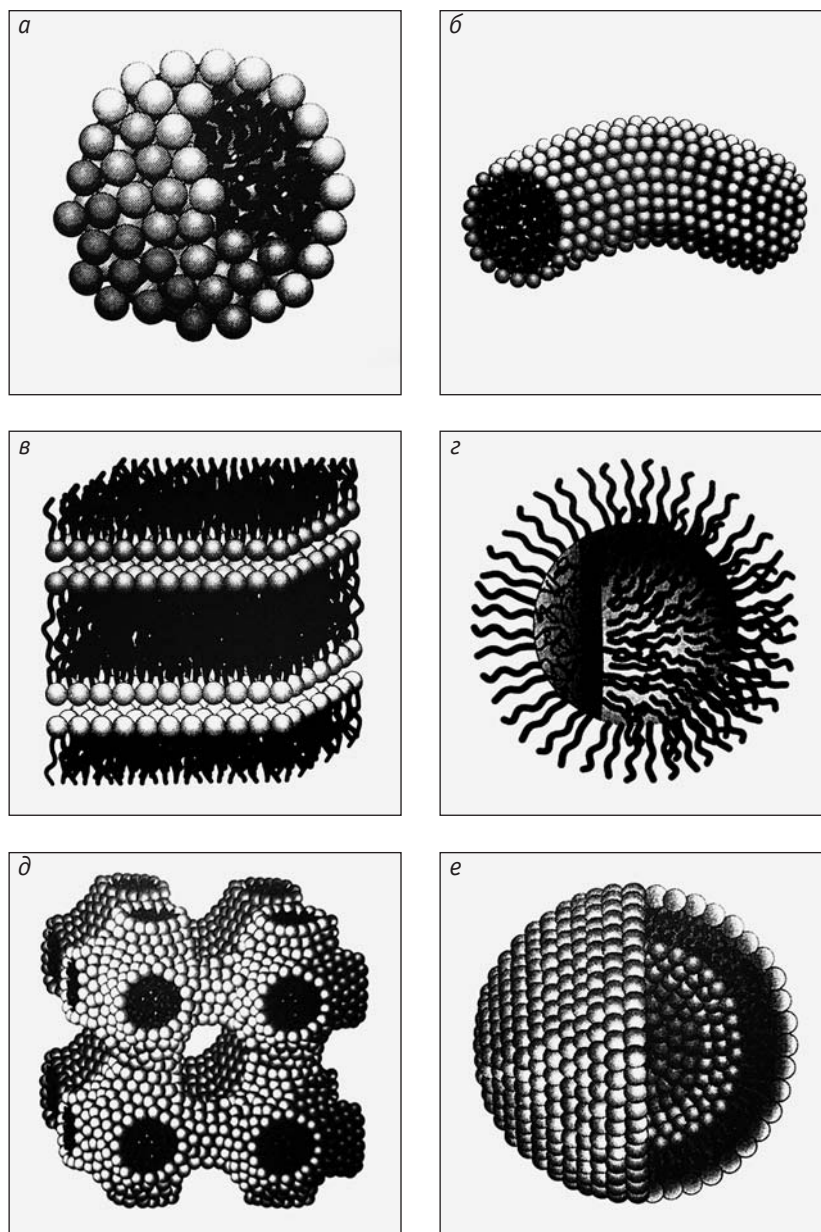


Рис.4. Морфологии структур, образуемых поверхностно-активными веществами: сферическая мицелла (а), цилиндрическая мицелла (б), ламелярная структура (в), обращенная мицелла (г), биконтинуальная структура (д), везикула (е).

мицелл впервые предложили П.А.Ребиндер и Г.Хартли. Радиус сферической мицеллы определяется длиной алкильного хвоста ПАВ — он близок к размеру вытянутой алкильной цепи, и вот почему. Уменьшение радиуса ниже этого значения сопряжено с появлением на поверхности пустот между гидрофильными группами и с увеличением контакта углеводородных хвостов с водой.

Увеличение радиуса тоже невозможно: при больших размерах либо образуются пустоты в ядре мицеллы, либо некоторая часть молекул ПАВ переходит во внутреннюю часть мицеллы, перенося туда полярные группы и теряя контакт с поверхностью, что энергетически невыгодно [1]. Однако это не означает, что все углеводородные хвосты в мицелле вытянуты на

максимальную длину (про такие хвосты говорят, что они находятся полностью в транс-конформации). В углеводородном хвосте вокруг одинарных связей между соседними атомами углерода (C–C) возможно так называемое внутреннее вращение, в результате чего хвост изгибается. При этом говорят, что в точке изгиба углеводородная цепь принимает гош-конформацию. В мицелле основная доля молекул ПАВ находится в разупорядоченном состоянии с большим вкладом изгибов, т.е. гош-конформаций. При этом достаточно, чтобы целиком вытянуто было лишь несколько хвостов.

Сферические мицеллы обладают тем свойством, что при повышении концентрации ПАВ в растворе происходит не увеличение размера мицелл, а образование новых ассоциатов того же размера и формы.

Рассматривая такие характеристики молекулы ПАВ, как объем ее гидрофобной части v , длина вытянутой алкильной цепи l и площадь поверхности a , приходящаяся в мицелле на одну гидрофильную часть, на основании простых геометрических соображений можно найти условия, определяющие тип образующейся в растворе структуры. Для сферической мицеллы *агрегационное число* — количество молекул ПАВ, образующих одну мицеллу, — может быть выражено как отношение объема ядра мицеллы $V = 4/3\pi R^3$ к объему одной цепи v :

$$N = V/v = (4/3\pi R^3)/v,$$

где R — радиус мицеллы. То же число равно отношению площади поверхности мицеллы A к площади, приходящейся на одну гидрофильную часть:

$$N = A/a = 4\pi R^2/a.$$

Приравнявая эти выражения, получим

$$v/(Ra) = 1/3.$$

Учитывая, что радиус мицеллы не может быть больше длины вытянутой алкильной цепи

($R \leq l$), для сферической мицеллы находим

$$v/(la) \leq 1/3.$$

Величина $v/(la)$ получила название *параметра молекулярной упаковки* (ПМУ) [5, 6]. Этот параметр можно рассматривать как отношение некоторых эффективных площадей полярной и неполярной групп. Будучи геометрической характеристикой молекулы ПАВ, он дает возможность судить о типе структуры, образуемой в растворе данным ПАВ. ПМУ для различных молекул ПАВ и соответствующих структур могут быть вычислены из простых соображений, аналогичных приведенным выше для сферической мицеллы.

Помимо сферических структур во многих случаях образуются вытянутые *цилиндрические* мицеллы (рис.4,б), похожие на шнур и называемые иногда червеобразными. На возможность их образования впервые указал В.Гаркинс. Внутренняя часть цилиндрической мицеллы также образована углеводородными цепями, а на их поверхности расположены полярные группы, обращенные к воде. Длина углеводородного хвоста ПАВ снова задает поперечный размер цилиндрической мицеллы: ее радиус близок к длине вытянутой алкильной цепи. Однако цилиндрические мицеллы могут расти — увеличивать свою длину, присоединяя к себе молекулы ПАВ, и достигать размеров в несколько микрометров. Концы цилиндрических мицелл представляют собой полусферы, похожие на половину сферической мицеллы. Параметр молекулярной упаковки для цилиндрической мицеллы лежит в интервале $1/3 < v/(la) \leq 1/2$.

Кроме сферических и цилиндрических мицелл в растворах амфифильных молекул могут существовать и другие структуры, существенно отличающиеся своей морфологией. Возможно образование *ламелярной* жидкокристаллической фазы, состоящей из параллельных бислоев

ПАВ — ламелей (рис.4,в), чередующихся со слоями воды. Ламели чаще бывают плоскими, однако они способны расти в направлении бислоя и при больших размерах могут изгибаться, образуя изогнутые структуры. Для ПАВ в воде толщина каждого бислоя составляет примерно 1.6 длины вытянутой алкильной цепи. ПМУ для ламелярных структур $v/(la) \approx 1$. Интересно, что Дж.Мак-Бейн, впервые выдвинувший идею мицеллообразования в растворах амфифильных молекул (он изучал соли жирных кислот с противоионами щелочных металлов), полагал, что полученные им структуры ламелярные, хотя в действительности он имел дело со сферическими мицеллами.

В неполярных растворителях (например, в гексане или гептане) образуются *обращенные* мицеллы (рис.4,г). В противоположность обычным мицеллам их полярные группы сосредоточены во внутренней части, а углеводородные хвосты находятся снаружи и образуют с неполярным растворителем непрерывную среду. Для большинства ПАВ ассоциация в неполярных средах характеризуется низкой кооперативностью и приводит к образованию небольших полидисперсных агрегатов. Однако введение в систему небольшого количества воды или другого полярного растворителя может вызвать самоассоциацию с образованием обращенных мицелл, содержащих этот растворитель внутри полярного ядра. Обращенные мицеллы могут быть не только сферическими, но и цилиндрическими. Для обращенных структур ПМУ $v/(la) > 1$.

В *биконтинуальных* структурах (рис.4,д) молекулы ПАВ агрегированы в многократно изогнутые пленки. Они называются биконтинуальными (от англ. *bicontinuous* — продолжающийся в две стороны) из-за того, что из любой точки на поверхности такой структуры можно попасть в любую другую ее точку, передвигаясь только по поверхности. Этого не получится сделать

в системе цилиндрических мицелл: там можно двигаться вдоль одной из них, но нельзя «перескочить» на другую, не покидая поверхности. Поэтому говорят, что биконтинуальные структуры являются связными. В отличие от ламелей, они не плоские, а трехмерные и могут занимать весь объем раствора. Если биконтинуальная структура обладает симметрией и в ней можно выделить части, похожие на связанные кубы, она называется кубической. Биконтинуальные пленки характеризуются двумя различными значениями радиуса кривизны противоположного знака, при этом для всей структуры средняя кривизна мала. Существует множество разных биконтинуальных структур, обычно для них $v/(la) \geq 1$.

Иногда существование небольших участков бислоев, которые в других условиях растут и формируют ламели, оказывается невыгодным, тогда они замыкаются сами на себя, образуя *везикулы* (рис.4,е). Вода находится и во внутреннем ядре, и во внешней по отношению к везикуле среде. Существуют обращенные везикулы. Кривизна везикул не столь велика, как, например, для сферических мицелл; для везикул $v/(la) \geq 1$. Везикулы сыграли огромную роль в процессе возникновения жизни на Земле. Считается, что протоциты, существовавшие около 3.5 млрд лет назад и давшие начало жизни, состояли из липидных везикул, в ядрах которых накапливались органические вещества и макромолекулы.

В растворах ПАВ возможно формирование высокосимметричных гексагональных или биконтинуальных кубических фаз. В некоторых случаях может происходить макроскопическое фазовое разделение. Представление о соотношении морфологии фаз, значения ПМУ и строения молекул ПАВ дает *схема Фонтелля* (рис.5) [7]. Эта схема показывает предпочтительные с геометрической точки зрения структуры агрегатов; она обладает симметрией относительно ламелярной фазы — большинству прямых структур соответствуют такие же обращенные. Предполагается образование четырех основных кубических фаз, положение которых отмечено стрелками; на рисунке изображена одна из них.

Различные структуры, образующиеся в результате самоорганизации амфифильных молекул, характеризуются разными значениями параметра молекулярной упаковки. В принципе входящие в ПМУ величины для определенных молекул ПАВ могут быть вычислены, на основании чего можно сделать вывод о виде формируемой ими структуры. Объем насыщенного углеводородного хвоста в кубических нанометрах равен [2]:

$$v = 0.027 (n_c + n_{mc}),$$

где n_c — количество атомов углерода в цепи, а n_{mc} — количество метильных групп $-CH_3$, объем которых приблизительно вдвое больше объема $-CH_2-$ группы. Если в молекуле несколько углеводородных хвостов, объем гидрофобной части равен сумме объемов хвостов. Максимальную длину хвоста в нанометрах можно оценить как [2]:

$$l = 0.15 + 0.127 n_c.$$

Здесь 0.15 нм — это радиус Ван-дер-Ваальса концевой метильной группы (0.21 нм), из которого вычтена половина длины связи с углеводородным ядром первого атома, не принадлежащего ядру (0.06 нм); 0.127 нм — это длина проекции связи C-C на направление вытянутой цепи, находящейся полностью в транс-конформации.

Наиболее проблематичным оказывается определение эф-

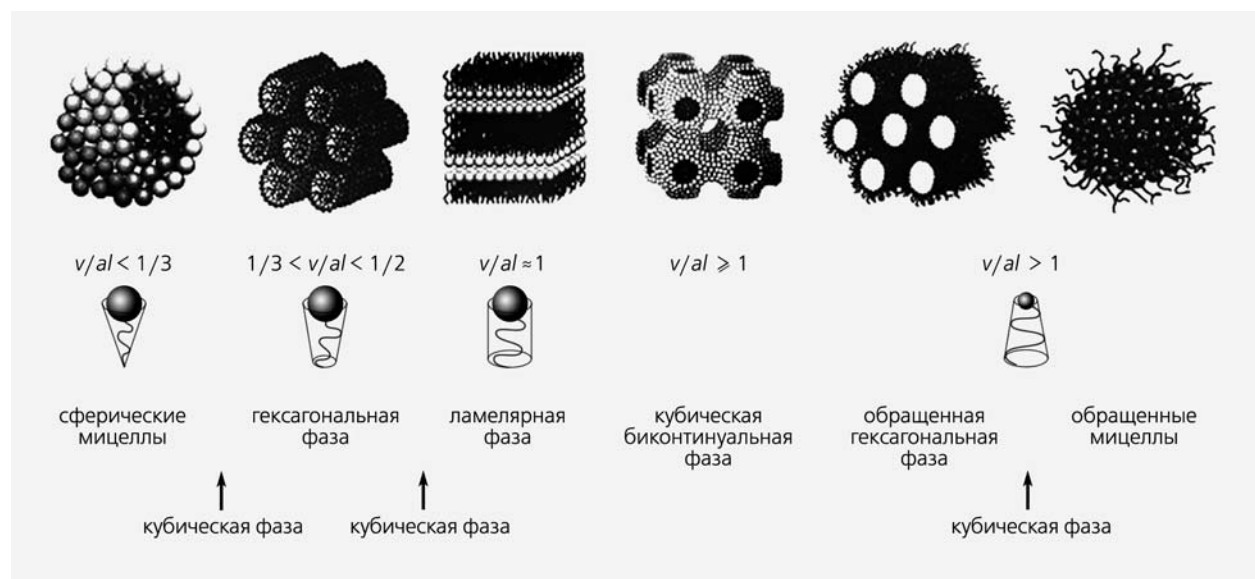


Рис.5. Схема Фонтелля.

фективной площади поперечного сечения полярной группы a . Для ионогенных ПАВ a зависит от концентраций ПАВ и электролита, добавляемого в раствор, а также от температуры, поэтому ПМУ имеет ограниченное применение для количественного описания системы. Для неионных и цвиттер-ионных ПАВ a меньше зависит от внешних условий, однако нахождение значения этой величины также может представлять некоторые трудности.

Помимо описания с помощью параметра молекулярной упаковки применяется подход, основанный на оценке средней кривизны K поверхности образующих молекулами агрегатов [5]. Для сферических мицелл $K = 1/R$, для цилиндрических $K = 1/2R$ (R — радиус мицеллы или цилиндра), для плоских бислоев и симметричных кубических фаз $K = 0$. Обратные структуры имеют отрицательную кривизну.

Сферические мицеллы характерны для ионогенных ПАВ в отсутствие электролита или для неионогенных ПАВ с большими полярными группами. В присутствии электролита либо в случае неионогенных ПАВ с полярными группами среднего размера образуются цилиндрические мицеллы. ПАВ с одной гидрофобной цепью преимущественно образуют мицеллы и другие прямые структуры, а ПАВ с двумя цепями формируют ламели и обратные структуры, так как их гидрофобная часть имеет существенно больший объем. Неионогенные ПАВ с маленькими полярными группами характеризуются большими значениями ПМУ.

...и разнообразие свойств и применений

Итак, большое разнообразие структур, образуемых поверхностно-активными веществами, обусловлено амфифильным строением их молекул. Благодаря этой особенности мицелляр-

ные растворы ПАВ обладают широким набором интересных свойств. Например, мицеллы способны солюбилизировать (поглощать) неполярные вещества в своих ядрах, вследствие чего растворы ПАВ моют и очищают. Из-за низкого поверхностного натяжения такие растворы смачивают загрязненные поверхности, молекулы загрязняющего вещества абсорбируются в гидрофобных ядрах мицелл и вымываются вместе с водным раствором ПАВ. Поэтому ПАВ — основной компонент большинства сортов мыла, моющих средств и стиральных порошков.

В научных и промышленных целях ПАВ используются также для стабилизации различных коллоидных систем, например эмульсий и пен. В отсутствие ПАВ эмульсии, представляющие собой маленькие капли неполярного вещества, взвешенные в водной среде, нестабильны. С течением времени капли коалесцируют (сливаются) и образуют отдельную фазу на поверхности воды. Однако молекулы ПАВ, добавленные в раствор, образуют вокруг капель оболочку — слой, препятствующий их слиянию. Это позволяет надолго продлить жизнь эмульсии.

Эмульсии и микроэмульсии, стабилизированные ПАВ, служат микрореакторами для проведения различных химических реакций. Так, широко распространен способ получения полимеров методом эмульсионной полимеризации. В этом процессе мономер солюбилизирован непосредственно в ядрах мицелл, где и происходит образование полимера. Обратные мицеллы ПАВ в неполярном растворителе, содержащие воду в ядре, используются для синтеза полимеров с очень большой молекулярной массой и чрезвычайно узким молекулярно-массовым распределением. При этом в неполярной среде удается проводить реакции между нерастворимыми в ней компонентами, поскольку они находятся

в ядре мицеллы и не контактируют с этой средой.

В ядрах мицелл можно получить не только полимерные частицы, но и частицы металлов, например платины. Как обычные, так и обратные сферические мицеллы — монодисперсные, поэтому мицеллярные реакции позволяют создавать микрочастицы строго одинакового размера, что сложно сделать другими способами.

Поскольку размеры мицелл и капель микроэмульсии очень малы (порядка нескольких нанометров), велико отношение площади поверхности, отделяющей ядро мицеллы от растворителя, к объему мицеллы. Из-за этого возрастает роль поверхностных эффектов, связанных с наличием границы раздела между ядром и растворителем. Например, если в результате химической реакции в ядре мицеллы образуется вещество, растворимое во внешней среде, оно быстро выходит через поверхность во внешнюю среду и его концентрация в ядре уменьшается. Это приводит к смещению равновесия в сторону образования продукта реакции. Некоторые органические реакции (гидролиз сложных эфиров, модификация полимеров и др.) протекают с большей скоростью внутри мицелл, чем в обычном растворителе. Этот эффект увеличения скорости реакции называется мицеллярным катализом.

Структуры на основе ПАВ позволяют изготавливать мезопористые материалы с размерами пор от 1 до 50 нм, а также шаблоны (матрицы) для синтеза упорядоченных микро- и наноструктур. Подбирая ПАВ, растворитель и внешние условия, можно получить заранее заданную структуру, например систему цилиндрических мицелл или биконтинуальную пленку. Можно добиться того, чтобы ее форма была высокосимметричной. После этого в растворитель добавляют полимерные цепи, а затем химически сшивают их друг

с другом, что приводит к формированию плотного полимерного геля, содержащего внутри себя структуры из молекул ПАВ. Затем эти структуры удаляют вымыванием, химическим травлением или нагревом, в результате чего на их месте образуются пустоты — поры, которые пригодны для синтеза новых структур той же формы. При этом форма, взаимное расположение и размер полостей поддаются управлению, что открывает перспективы для получения материалов с контролируемой микроструктурой. К примеру, можно сделать гели, имеющие различный цвет в зависимости от размера пор. Мезопористые гели применяются для иммобилизации частиц нужного размера, адсорбции газов и жидкостей.

Молекулы ПАВ способны не только образовывать мицеллы, но и адсорбироваться на поверхностях, формируя тонкие пленки. Пленки из катионных ПАВ используются в качестве антистатических и антикоррозийных покрытий, поскольку они легко осаждаются на отрицательно заряженных поверхностях металлов. Особый интерес представляют пленки из молекул ПАВ, способных полимеризоваться. Если в такой пленке химически сшить молекулы между собой, можно получить устойчивое покрытие с нужными свойствами. Таким способом получают лакокрасочные покрытия с увеличенной механической прочностью, покрытия для линз с нужными оптическими свойствами и т.д.

Отдельного внимания заслуживают «заполимеризованные» везикулы, в которых молекулы ПАВ химически сшиты. Во внутреннем ядре таких везикул можно разместить некое вещество, которое будет изолировано от внешней среды и не будет подвергаться внешним воздействиям. Они гораздо устойчивее, чем обычные везикулы, и в перспективе могут найти применение для направленной доставки лекарств в организме человека.

Существует еще множество областей, в которых успешно работают растворы ПАВ. Они используются в текстильной промышленности для деэлектризации волокон синтетических тканей, в целлюлозно-бумажной промышленности для вторичной переработки бумаги, в металлургии, пищевой промышленности и сельском хозяйстве. Однако в последние годы совершенно неожиданные применения нашли растворы, содержащие цилиндрические мицеллы ПАВ.

Подробнее о цилиндрических мицеллах

Благодаря своим специфическим свойствам цилиндрические мицеллы наиболее интересны среди всех типов формируемых поверхностно-активными веществами самоорганизующихся структур.

Образование цилиндрических мицелл может происходить при введении низкомолекулярного электролита (соли) в раствор ионогенного ПАВ. В отсутствие электролита молекулы ПАВ диссоциируют на амфифильный анион и противоион и образуются сферические мицеллы. Дальнейшему росту размера мицелл препятствует электростатическое отталкивание между заряженными гидрофильными группами. При добавлении соли увеличивается концентрация противоионов, они конденсируются на заряженной поверхности мицеллы, обеспечивая экранирование электростатического отталкивания полярных групп. Фактически введение в раствор соли приводит к уменьшению эффективной площади поперечного сечения гидрофильной части *a*. Сферическая структура становится невыгодной, так как из-за относительно большого расстояния между гидрофильными группами вода может проникать в ядро мицеллы. В результате си-

стема перестраивается и образуются протяженные агрегаты — цилиндрические мицеллы.

Длинные цилиндрические мицеллярные цепи по своим свойствам похожи на гигантские молекулы полимеров, а точнее, полиэлектролитов [8], поскольку на их поверхности расположены заряженные группы. Однако аналогия между ними неполная, поскольку степень полимеризации (т.е. длина) мицелл зависит от внешних условий. Из-за этого цилиндрические мицеллы сильно полидисперсны — в растворе присутствуют как очень короткие цепи, так и длинные. Тем не менее цилиндрическим мицеллам присущи многие свойства полиэлектролитов, например гибкость. Гибкость мицеллярных цепей в большой степени диктуется типом и структурой молекулы ПАВ, а также межмицеллярным взаимодействием.

Цилиндрические мицеллы обладают уникальной особенностью — при увеличении концентрации ПАВ они способны расти в одном направлении, увеличивая свою контурную длину. С ростом длины структура поперечного сечения мицеллы практически не меняется, остается постоянным и радиус мицеллы, хотя различия в упаковке углеводородных хвостов могут приводить к небольшому уменьшению радиуса цилиндрических мицелл по сравнению со сферическими.

Если длина цилиндрических мицелл достаточно велика и концентрация ПАВ достигает значения концентрации перекрывания мицелл, образуется высоковязкий полуразбавленный раствор. Мицеллы, подобно полимерам, переплетаются друг с другом и формируют сетку топологических зацеплений, а раствор приобретает характер геля, который демонстрирует свойство вязкоупругости. Вязкоупругость — уникальное свойство, присущее только полимерам и похожим на них системам; оно заключается в том,

что система отвечает упругой реакцией на быстрые воздействия и вязкой — на медленные. Благодаря этому гель, образованный цилиндрическими мицеллами ПАВ, сочетает в себе свойства вязкой жидкости и упругого твердого тела.

Растворы, содержащие цилиндрические мицеллы, чрезвычайно распространены: благодаря высокой вязкости они используются в качестве загустителей в бытовых товарах — косметике, шампунях, моющих средствах. Вязкоупругие растворы ПАВ применяются для уменьшения потерь энергии в установках для нагрева и охлаждения. Цилиндрические мицеллы используются в качестве просеивающих матриц при разделении фрагментов ДНК методом капиллярного электрофореза,

а также в качестве шаблонов для ориентирования наноструктур в потоке жидкости.

У вязкоупругих растворов ПАВ есть еще одно уникальное свойство: они сильно восприимчивы к неполярным веществам — углеводородам, которые способны солюбилизоваться в гидрофобных ядрах мицелл [11–13]. При контакте с углеводородами растворы теряют вязкоупругие свойства, а сама их вязкость уменьшается на несколько порядков. Это объясняется разрушением цилиндрических мицелл в результате абсорбции ими углеводорода и образованием сферических капель микроэмульсии углеводорода, стабилизированных ПАВ. Данный эффект находит широкое поле деятельности в нефтедобыче — вязкоупругие

ПАВ используются в качестве одного из основных компонентов жидкостей для гидроразрыва пласта, применяемых для создания и заполнения трещин в нефтеносном слое [14]. Благодаря восприимчивости к углеводородам подобные системы обладают высокой проницаемостью по отношению к нефти, что позволяет увеличить продуктивность нефтеносного месторождения.

Таким образом, благодаря своему амфифильному строению поверхностно-активные вещества обладают уникальными свойствами и могут образовывать большое разнообразие самоорганизующихся структур. Исследование поверхностно-активных веществ имеет не только фундаментальный, но и прикладной аспект. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 05-03-32865 и 08-03-00978.

Литература

1. *Holmberg K., Jonsson B., Kronberg B., Lindman B.* Surfactants and Polymers in Aqueous Solution. 2nd Ed. Chichester, 2003.
2. *Evans D.F., Wennerstrom H.* The Colloidal Domain: Where Physics, Chemistry, Biology and Technology Meet. N.Y., 1994.
3. *Cistola D.P., Atkinson D., Hamilton J.A., Small D.M.* // *Biochemistry* 1986. V.25. №10. P.2804–2812.
4. *Israelachvili J.N.* Intermolecular and Surface Forces: with Application to Colloidal and Biological Systems. 2nd Ed. L., 1992.
5. *Israelachvili J.N., Mitchell D.J., Ninham B.W.* // *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 2.* 1976. V.72. P.1525–1568.
6. *Nagaraajan R.* // *Langmuir.* 2002. V.18. P.31–38.
7. *Fontell K.* // *Colloid Polym. Sci.* 1990. V.268. P.264–285.
8. *Magid L.J.* // *J. Phys. Chem. B* 1998. V.102. №21. P.4064–4074.
9. *Жен П.де.* Идеи скейлинга в физике полимеров. М., 1982.
10. *Doi M., Edwards S.F.* The Theory of Polymer Dynamics. Oxford, 1994.
11. *Sbasbkina Ju.A., Philippova O.E., Zaroslov Ju.D. et al.* // *Langmuir.* 2005. V.21. P.1524–1530.
12. *Siriwatwechakul W., LaFleur T., Prud'homme R.K., Sullivan P.* // *Langmuir.* 2004. V.20. P.8970–8974.
13. *Molchanov V.S., Philippova O.E., Khokhlov A.R. et al.* // *Langmuir.* 2007. V.23. P.105–111.
14. *Миллер М., Дисмюк К.* // *Рос. хим. журн.* 2003. Т.47. №4. С.78.

Есть ли иммунитет у растительных сообществ?

В.В.Акатов

Проникновение в растительные сообщества инородных (чужеродных, или, по научному, адвентивных) видов в последние годы стало столь массовым, что не может не вызывать беспокойства у специалистов, и в первую очередь у экологов. В большинстве материковых районов Земли такие растения составляют уже 10–20% видового состава флоры; на островах их доля еще выше — до 50–80% [1, 2]. Многие «агрессоры» негативно влияют на здоровье людей, сельское, лесное и водное хозяйство, наносят ущерб туризму, ведут к деградации природных экосистем. К примеру, амброзия полынолистная (*Ambrosia artemisiifolia*), которая в период цветения вызывает у множества людей сильную аллергическую реакцию, была завезена еще в 1960–1970-х годах вместе с зерном пшеницы из Северной Америки в Крым. Вскоре это опасное растение быстро захватило значительные территории Украины и юго-запада России, а в последние годы на Северном Кавказе продвинулось до 1800 м над ур. м., угрожая развитию горных курортов. В водоемах Канады расселился и наносит существенный экономический ущерб европейский вид — уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum*), а в водоемах Европы — элодея канадская (*Elodea*



Валерий Владимирович Акатов, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и защиты окружающей среды Майкопского технологического университета. Основные научные интересы — роль исторических и региональных процессов в формировании видового богатства современных растительных сообществ, последствия антропогенной фрагментации растительного покрова, инвазивность сообществ.

canadensis). Экосистемы мелководий Средиземного моря на значительных участках прибрежной полосы разрушены тропической водорослью каулерпой (*Caulerpa taxifolia*), выделяющей в воду сильнодействующие токсины [3]. По оценкам Агентства по охране окружающей среды США (Environmental Protection Agency USA), растения-пришельцы угрожают более чем 40% традиционных для Северной Америки растений и животных. Думаю, не надо объяснять, какие гигантские потери несет сельское хозяйство от сорняков, среди которых также немало вселенцев. Из-за роста интенсивности перемещения людей и грузов по планете возрастают и темпы «перемешивания» видов, что ведет к усугублению связанных с этим проблем. Однако у экологов все же остается

надежда, что местные биологические сообщества способны противостоять внедрению в их состав инородных организмов.

Иммунитет сообществ

В начале XX в. некоторые экологи стали уподоблять биологические сообщества неким сверхорганизмам, особи и популяции которых аналогичны клеткам и тканям организмов, а процесс формирования сообществ (сукцессию) предложили сравнивать с развитием организмов (онтогенезом). С позиций этой концепции взаимоотношения растительных сообществ и чужеродных видов внешне очень напоминают взаимоотношение между позвоночными животными и паразитами. В таком случае способность сообществ проти-

востоять проникновению (инвазии) чужеродных видов можно рассматривать как своеобразную форму иммунитета. Противоположное свойство — уязвимость (предрасположенность) к инвазиям инородных видов — в экологии называют инвазительностью, а процесс насыщения ими сообществ — адвентивизацией (аналог инфицирования). Отсюда закономерен вопрос: отличаются ли растительные сообщества друг от друга по степени инвазительности, или, другими словами, обладают ли хотя бы некоторые из них иммунитетом к чужеродным видам?

К настоящему времени накоплен большой объем наблюдений по распространению адвентивных видов растений в сообществах разных регионов мира. Однако, как ни странно, при сопоставлении результатов этих наблюдений сформировались разные, зачастую противоположные, точки зрения на их возможность противостоять внедрению вселенцев. Так, некоторые экологи считают, что никакого иммунитета у сообществ нет, все они потенциально способны включать в свой состав инородные виды. Поэтому разную степень их адвентивизации в настоящее время принято определять лишь по числу таких видов в регионе и их эколого-биологическим особенностям, позволяющим им произрастать в тех или иных сообществах [4, 5].

В соответствии с другой, более распространенной, точкой зрения некоторые особенности растительных сообществ все же обуславливают их более или менее высокую устойчивость к проникновению чужеродных видов. По мнению большинства экологов, инвазительность сообществ тем ниже, чем выше степень использования растениями ресурсов местообитания и интенсивность конкуренции видов за эти ресурсы. Однако поскольку причины недоиспользования ресурсов могут быть разные, а количественно

оценить уровень конкуренции между растениями очень сложно, в рамках этой концепции предложено удивительно большое число объяснений, почему одни сообщества более насыщены инородными видами, чем другие.

Родоначальник инвазивной экологии Ч.Элтон в качестве основного признака устойчивости ценозов предложил рассматривать их видовое богатство. Он считал, что сообщества, включающие значительное число видов, должны характеризоваться более полным использованием ресурсов и более высокой напряженностью межвидовых взаимодействий, что, собственно, и препятствует внедрению чужеродных видов. По мнению другого исследователя — известного российского геоботаника Т.А.Работнова, инвазительность сообщества определяется не фактическим видовым богатством, а степенью его соответствия максимально возможному числу видов в данных условиях (видовой емкости). Если сообщество максимально плотно укомплектовано видами, то они называются полночленными, если их видовое богатство по каким-то причинам (из-за изоляции, молодости, случайных процессов) меньше видовой емкости — неполночленными. Предполагается, что именно такие сообщества характеризуются высокой уязвимостью к проникновению чужеродных видов. Наконец, в последние годы привлекает внимание гипотеза флуктуирующих ресурсов, предложенная американским биологом М.Дэвисом. В соответствии с ней, периодические природные или антропогенные нарушения ведут к временному высвобождению некоторого количества ресурсов и способствуют таким образом инвазиям [6]. Иными словами, свято место пусто не бывает.

Высокая концентрация чужеродных видов на свалках, обочинах дорог, распаханых полях, прирусловых отмелях

и других часто нарушаемых (эродированных) местообитаниях — это ли не аргумент в пользу точки зрения о разной инвазительности растительных сообществ. Прежде всего, это хорошо согласуется с гипотезой флуктуирующих ресурсов. К тому же в таких сообществах численность растений обычно невелика (низкая сомкнутость травостоя), соответственно, между ними нет непосредственного контакта, т.е. биотические взаимодействия минимальны. Кроме того, многие из эродированных местообитаний — принципиально новые и для аборигенных видов, которые из-за недостатка эволюционного времени еще не успели сформировать полноценные видовые комплексы [7]. По мнению российского палеоэколога В.В.Жерихина, в Северной Америке насыщенность инородными видами сообществ сорняков как раз связана с их эволюционной молодостью, так как период развития земледелия в Новом Свете значительно короче, чем в Старом.

Однако все эти аргументы выглядят убедительными только на первый взгляд. В частности, гипотеза Дэвиса оказалась далеко не универсальной: как показали результаты полевых исследований, даже в зрелых лесах с нечастыми нарушениями можно встретить инородные виды. Более того, некоторые из них предпочитают именно малонарушенные сообщества. Необходимо также учитывать, что среди активных захватчиков новых регионов преобладают виды, которые зачастую и на родине являются сорняками, растущими на нарушенных участках.

Не лучше обстоит дело и с проверкой гипотезы Элтона. Выяснилось, в частности, что сила и знак связи между числом инородных видов и видовым богатством в значительной мере зависят от типа сообществ. В целом же условия среды, благоприятные для аборигенных видов, зачастую благоприятны и для инородных.



Мелколепестник однолетний — пожалуй, самый распространенный на западном Кавказе адвентивный вид, давно занесенный из Северной Америки. Встречается практически повсеместно, иногда поднимается в горы до полосы верхнего предела леса (1800 м над ур.м.).

Здесь и далее фото автора

В пользу предположения Работнова об уязвимости к чужеродным видам неполноценных сообществ свидетельствуют высокая степень адвентивизации островных флор и многочисленные случаи инвазий, не сопровождающиеся выпадением аборигенных видов [2, 3, 7, 8]. Дополнительное подтверждение

получено в результате экспериментов с модельными сообществами. Оказалось, что неполное использование ресурсов может наблюдаться как в бедных, так и в богатых видами ценозах [9]. Однако довольно сложно количественно оценить уровень видовой полноценности растительных сообществ. Обычно об



Дюшенея индийская. Родина этого широко распространенного в сочинском Причерноморье растения — Юго-Восточная Азия. В составе травяного покрова произрастает под пологом лиственного леса, в том числе с подлеском из самшита.

этом свойстве судят как раз на основе уже свершившихся инвазий, что делает невозможным использование полученных знаний для определения степени уязвимости еще не затронутых этим процессом биот.

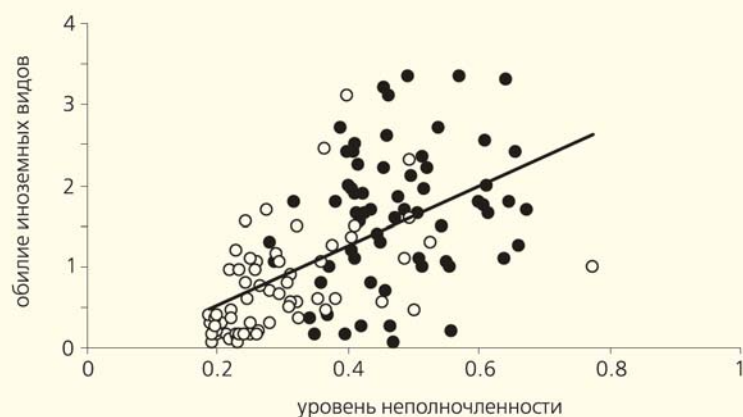
На западном Кавказе

Западный Кавказ, включая Черноморское побережье, весьма насыщен иноземными видами, попавшими сюда в результате случайного заноса или одичания многочисленных интродуцентов. Это делает растительные сообщества данного региона удобным объектом для поиска ответа на вопрос: есть ли иммунитет у сообществ? Если да, то почему одни из них обладают им в большей степени, чем другие? За решение этой задачи взялись экологи Майкопского технологического университета и Кавказского биосферного заповедника. В течение нескольких лет мы (В.В.Акатов, Т.В.Акатова, Т.Г.Ескина, Ю.С.Загупная, С.Г.Чефранов, А.Е.Шадже) обследовали горные и предгорные районы западного Кавказа, описали сотни участков растительных сообществ, в той или иной степени насыщенных иноземными видами, — прирусловых лесов, остепненных лугов и полей, прирусловых отмелей рек, сообществ залежей и полей однолетних культур. Для проверки гипотез инвазibilityности разработали специальные тесты, использовали математические модели, методы простого и множественного регрессионного анализа. В основу количественной оценки уровня видовой полноценности сообществ было положено представление, что его рост идет в направлении достижения максимального видового разнообразия при минимально возможном для данных условий числе особей каждого вида. При этом мы учитывали, что данная характеристика зависит от структуры соотношения обилия видов в ценозах, которая может быть раз-

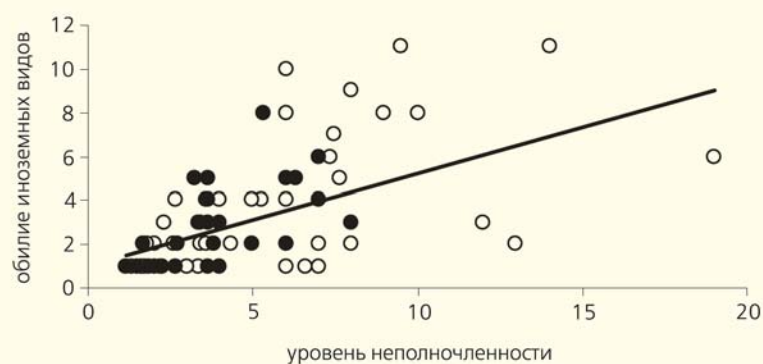
личной в экстремальных и благоприятных для растений условиях среды [10–13].

Обследование региона показало, что разные травяные сообщества насыщены иноземными видами, действительно, в разной степени: их много на полях и залежах, мало на остепненных лугах и полянах, а на участках прирусловых отмелей они разнообразны по видам, но малочисленны. Высокая адвентивизация сообществ полей и залежей связана со значительным числом иноземных видов в их видовых фондах, низким уровнем полнотности этих ценозов и более высокой приспособленностью к данным местообитаниям чужеродных видов по сравнению с аборигенными. Низкую степень адвентивизации сообществ полей и остепненных лугов можно объяснить относительно небольшим числом адвентивных видов в регионе, способных произрастать в условиях сомкнутого травостоя. Небольшое обилие чужеродных видов на участках отмелей связано с жесткими условиями среды (отсутствие почвы, частые нарушения) и высоким уровнем полнотности прирусловых группировок растений [14].

В лесах западного Кавказа состав иноземных деревьев на северном и южном (Черноморском побережье) макросклонах существенно различен. На северном преобладают североамериканские виды: робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia*), клен ясенелистный (*Acer negundo*), гледичия обыкновенная (*Gleditsia triacanthos*). На южном — растения, завезенные из Северной Америки, Китая, Передней Азии и Австралии: катальпы бигнониевидная и прекрасная (*Catalpa bignonioides* и *C. speciosa*), павлония войлочная (*Paulownia tomentosa*), акация серебристая (*Acacia dealbata*), пальма — трахикарпус Форчуна (*Trachycarpus fortunei*). Однако, как показали результаты исследований, общее количество таких видов в древесном ярусе лесных сообществ



Соотношение между уровнем видовой неполнотности и суммарным обилием иноземных видов в растительных сообществах прирусловых отмелей горных рек, полей, остепненных лугов, залежей и полей однолетних культур. Уровень неполнотности оценивается через среднюю встречаемость видов (в долях); суммарное обилие иноземных видов — через их суммарную встречаемость на небольших площадках (сумму долей). Светлые кружки — сообщества прирусловых отмелей, темные — другие травяные сообщества.



Соотношение между уровнем видовой неполнотности и суммарным обилием (численностью) иноземных видов в древесном ярусе прирусловых лесов северного и южного макросклонов западного Кавказа. Темные кружки — леса южного макросклона; светлые — северного. Уровень неполнотности оценивается через среднее число особей древесных видов без учета доминирующего вида; суммарное обилие иноземных видов — через сумму их особей.

фактически не зависит от их состава и определяется в основном полнотой их укомплектованности видами.

В итоге мы пришли к выводу, что насыщенность растительных сообществ иноземными видами в значительной степени определяется их числом в реги-

оне и способностью произрастать на тех или иных местообитаниях. Однако и гипотезу Элтона можно считать продуктивной, несмотря на неопределенность результатов ее проверки нашими предшественниками. Правда, следует учитывать, что применима она лишь к ситуа-



Подсолнечник клубненосный, или топинамбур. Этот так называемый «беженец из культуры» родом из Северной Америки. Обычные его местообитания — залежи, пустыри, придорожные и прибрежные сообщества, но нередко встречается и под пологом пойменных лесов.



Эхиноцистис лопастный — североамериканский вид. В составе естественных сообществ занимает обширные территории в Средней России. В южных районах обнаружен сравнительно недавно, однако активно стремится к расширению ареала, растет в пойменных и придорожных лесах и кустарниковых зарослях.

ции, когда в сравниваемых сообществах объемы доступных ресурсов (видовая емкость) сходны, а число видов, использующих эти ресурсы (уровень видовой полнотности), разное, что согласуется с взглядами Работнова. Судя по расчетам, этот фактор определяет варьирование суммарного обилия чужеродных видов в травяных сообществах примерно на 30%, а в древесном ярусе прирусловых лесов — на 35-45%. Это не так уж и много, но больше, чем любой другой количественно измеряемый фактор.

Видовая полнотность и иммунитет сообществ

Какие механизмы лежат в основе связи между уровнем полнотности сообществ растений и их насыщенностью инородными видами? Напомню, что данный феномен связывают с высвобождением ресурсов и низкой конкуренцией в отношениях между видами за эти ресурсы в неполнотных ценозах. Однако выпадение из сообществ некоторых видов (например, в результате их изоляции) обычно ведет к увеличению численности оставшихся из-за перераспределения освободившихся ресурсов. По мнению известного американского эколога Э.Пианка, даже если в сообществах список видов неполон, их ресурсы используются не полностью крайне редко, поскольку дефицит видов компенсируется обилием особей. Но тогда почему эффективнее препятствуют внедрению чужеземцев те местные сообщества, которые сформированы большим числом видов с низкой численностью, чем малым числом обильных видов?

Возможно, это связано с индивидуальностью видов растений, как в способе использования ресурсов, так и в их реакции на изменения условий среды. Когда выпадение некоторых местных видов не компенсируется увеличением численности ос-



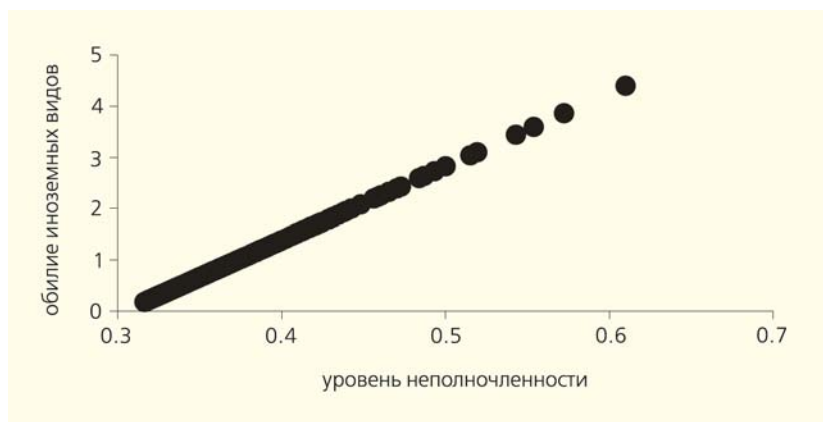
Катальпа бигнониевидная. Этот североамериканец предпочитает лесные опушки и придорожные местообитания, нередко внедряется в пойменные леса, активно участвует в зарастании прирусловых отмелей рек сочинского Причерноморья.

тавшихся, часть свободных ресурсов становится доступной для адвентивных видов. Следует отметить, однако, что такой вывод представляется логичным, но относится к той категории гипотез, которые легче себе представить, чем проверить.

Мы нашли другое, более простое, объяснение, которое применимо к ценозам как с высокой, так и с низкой интенсивностью межвидовых взаимодействий [13]. В его основе лежат представления о вероятностном характере процессов иммиграции и вымирания видов на участках растительного покрова и об экологической равноценности иноземных и местных видов. К нему нас подтолкнули некоторые результаты. Мы обнаружили, что на рост уровня полночленности ценозов иноземные виды в среднем реагируют так же, как и аборигенные, — снижают численность. Если это так, то число вселенцев на участках сообществ должно определяться их соотношением с числом местных видов



Трахикарпус Форчуна. Эта китайская пальма активно расселяется под пологом тенистых широколиственно-самшитовых лесов сочинского Причерноморья.



Соотношение между уровнем видовой неполноценности модельных сообществ и суммарным обилием (встречаемостью) в них иноземных видов. Уровень неполноценности оценивается через среднюю встречаемость видов (в долях); суммарное обилие иноземных видов – через их суммарную встречаемость (сумму долей).

в видовых фондах этих сообществ, а их среднее обилие — соотношением общего числа видов и числа особей на участках. Так как оба соотношения всегда ниже в более полночленных ценозах, можно ожидать и более низкую общую (суммарную) численность в них адвентивных видов.

Для проверки этой гипотезы мы провели численные эксперименты на модельных ценозах. Для этого воспользовались одним из вариантов математичес-

кой модели, описывающей соотношение между размером видо-вого фонда и локальным богатством сообществ [15]. Модельные ценозы характеризовались отсутствием межвидовых взаимодействий, разным размером видового фонда, уровнем полночленности и интенсивностью процессов вымирания и иммиграции видов на участках. Общее число сочетаний значений этих параметров составило более 300. При расчетах также пред-

полагалось, что иноземные виды экологически равноценны аборигенным, и их количество в видовых фондах разных сообществ одинаково.

Результаты наших экспериментов соответствуют полевым данным: при равном числе иноземных видов в видовых фондах, число и обилие их на участках более полночленных сообществ оказалось ниже, чем менее полночленных. Как следует из природы используемой нами модели, данный результат не связан с разной интенсивностью межвидовых взаимодействий в разных ценозах, а также с избирательным их противодействием внедрению именно иноземных видов. Эксперименты также показали, что в случае непрерывного заноса в регионы таких видов насыщенность ими сообществ будет увеличиваться независимо от уровня их полночленности. Понятно, что все это слабо напоминает иммунный ответ позвоночных животных на внедрение в них чужеродных организмов. Поэтому на вопрос: есть ли иммунитет у растительных сообществ к иноземным видам, по нашему мнению, следует ответить скорее отрицательно, чем положительно. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 07-04-00449.

Литература

1. Шварц Е.А. Сохранение биоразнообразия: сообщества и экосистемы. М., 2004.
2. Sax D.F., Brown J.H., White E., Gaines S.D. The Dynamics of Species Invasions: Insights into the Mechanisms That Limit Species Diversity. Chapter 17 // Species Invasions: Insights into Ecology, Evolution and Biogeography / Eds D.F.Sax, S.D.Gaines. Sunderland, 2005. P.447–465.
3. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. // Журн. общ. биологии. 2002. Т.63. №6. С.500–508.
4. Meekins J.F., McCarthy B.C. // Ecological Applications. 2001. V.11. №5. P.1336–1348.
5. Ucher M.B., Kruger F.J., Macdonald I.A.W. et al. // Biological Conservation. 1988. V.44. P.1–8.
6. Davis M.A., Grime J.P., Thompson K. // Journal of Ecology. 2000. V.88. P.528–536.
7. Sax D.F., Brown J.H. // Global Ecology and Biogeography. 2000. V.9. P.363–371.
8. Sax D.F., Gaines S.D. // Trends in Ecology and Evolution. 2003. V.18. №11. P.561–566.
9. Moore J.L., Mouquet N., Lawton J.H. et al. // Oikos. 2001. V.94. P.303–314.
10. MacArthur R.H., Wilson E.O. // Evolution. 1963. V.17. №4. P.373–387.
11. Жерихин В.В., Красилов В.А., Леонова Т.Б. и др. Модели эволюции биосферы на основе филогенеза (эволюции сообществ) // Глобальные изменения природной среды. Новосибирск, 2001. С.265–273.
12. Акатов В.В., Чефранов С.Г. // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2007. Т.112. №1. С.65–71.
13. Акатов В.В., Акатова Т.В., Чефранов С.Г. и др. // Журн. общ. биол. 2009. Т.70. №4. С.328–340.
14. Акатов В.В., Акатова Т.В., Ескина Т.Г. // Новые технологии. 2009. №2. С.89–93.
15. He F., Gaston K.J., Connor E.F. et al. // Ecology. 2005. V.86. P.360–365.

Последствия нефтяных катастроф глазами седиментолога



Нефть носилась поверх воды, прибывалась к берегам и давала там смолистые сланцы, богхед, асфальтовые образования, озокерит и т.д.

Д.И.Менделеев

Г.А.Беленицкая

Есть в геологии широко известный междисциплинарный объект — черные сланцы. В них «словно бы сфокусированы интересы специалистов разного профиля» [1. С.4], в том числе в области седиментологии и палеоэкологии, событийной стратиграфии и минерагии, нефтегазовой геологии и др. Черносланцевыми зачастую именуются даже крупнейшие геологические события, включая глобальные. Интересу к черным сланцам способствует их необычайно высокий и разнообразный ресурсный потенциал. А вот генезис этого столь значимого объекта остается весьма противоречивым и спорным.

Для решения черносланцевых загадок попробуем использовать в качестве ключа информацию о катастрофических техногенных нефтяных разливах. Следовать при этом мы будем сразу двум мудрым наставлениям: одному — хорошо известному — Ч.Лайеля: «Настоящее есть ключ к прошлому», а другому — Козьмы Пруткова: «Многие вещи нам непонятны... потому, что сии вещи не входят в круг наших понятий». Техногенные катастрофы — и самое что ни на есть настоящее и пока еще не входящее в круг понятий седиментологии (да и геологии в целом). К тому же их изученность существенно опередила изучен-



Галина Александровна Беленицкая, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник отдела литогеодинимики и минерагии осадочных бассейнов Всероссийского научно-исследовательского геологического института им.А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ). Основная область научных интересов — флюидно-осадочные процессы и их роль в формировании осадочных пород и руд.

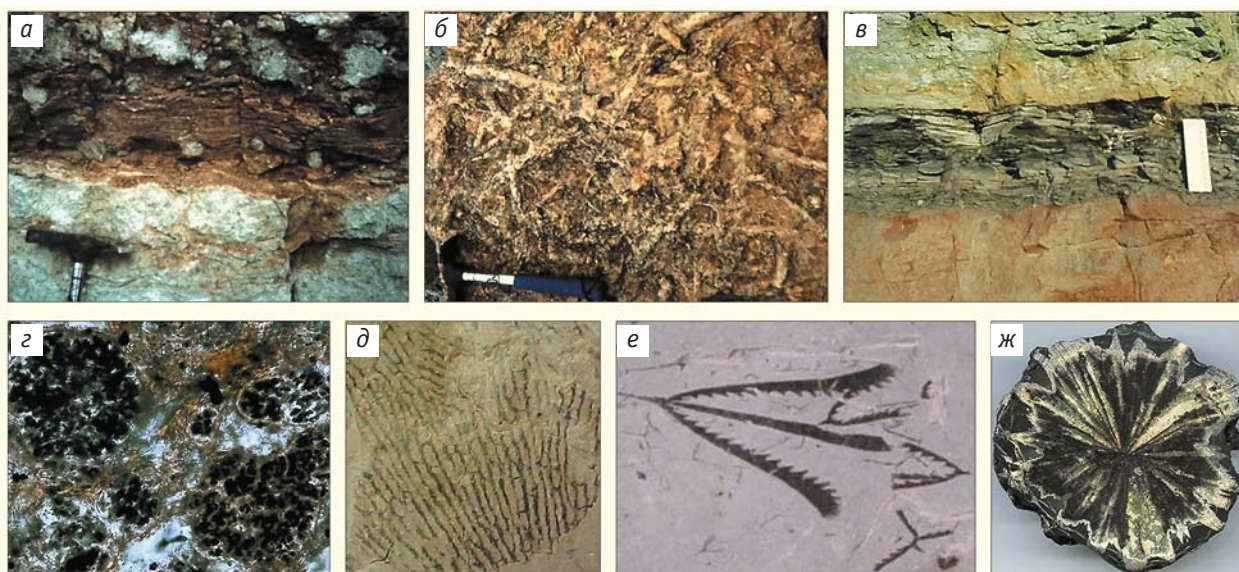
ность их естественно-природных аналогов — очагов флюидной разгрузки. Все это определило конкретную задачу работы: прочесть глазами литолога формирующуюся ныне седиментационную запись нефтяных событий.

Сведения о разливах нефти заимствованы из специальных монографий и публикаций в периодических изданиях и на сайтах Интернета. Наиболее систематические исследования выполнены А.Нельсоном-Смитом [2] и И.А.Немировской [3].

Феномен черных сланцев

*Черные слезы веков,
Страшные тайны планеты.*
С.Е.Шилов. Нефть

Уникальные свойства черных сланцев. Прежде всего уточним, что такое черные сланцы, каковы их необычные особенности и что, собственно, желательнее разглядеть в их предполагаемых техногенных аналогах. Этот термин традиционно применяется по отношению к водно-осадочным отложениям, значительно обогащенным (от 1—2% до 20—30%) сапропелевым органическим веществом, обычно темным, преимущественно пелитоморфным, с существенно карбонатно-глинисто-кремнистым составом минеральной (неорганической) массы, нередко с характерной микрослойчатой текстурой и часто с повышенной металлоносностью. Само название крайне неудачно: сплошь и рядом черные сланцы вовсе и не черные (то серо-коричневые, то зеленоватые), да и под геологическое понятие



Черные и горючие сланцы и характерные организмы-продуценты органического вещества: а (поперечное сечение), б (продольное) — среднеордовикский горючий сланец-кукерсит, залегающий на светлом известняке с богатой бентосной фауной, и многочисленные минерализованные ходы червей. Алексеевский карьер, Ленинградская обл.; в — прослой нижнеордовикского черного диктионемового сланца, залегающего на оболочках песчаниках, длина масштабной линейки 10 см. Обнажение на р.Саблинка, Ленинградская обл.; з — колониальные цианобактерии *Gloeocapsomorpha prisca* (типичные участники углеводородоксилирующих цианобактериальных симбиозов), диаметр колоний ~50—60 мкм. Шлиф, проходящий свет; д, е — граптолиты (морские колониальные организмы, типичные представители фауны ордовикских и силурийских черных сланцев), д — *Dictyonema* (силур), е — *Tetragraptus* (ордовик); ж — конкреция антраконита (Ca-Mg-Fe-карбоната с примесью битуминозного вещества) из диктионемового сланца; диаметр 6 см. Обнажение на р.Поповка, Ленинградская обл.

Фото автора (а—з, ж)

«сланцы» они по сути не попадают. Однако более удачные наименования пока отсутствуют. Разновидности, наиболее обогащенные органическим веществом (до 10—20%) и содержащие свободные битумы, принято называть горючими сланцами.

Теоретический и практический интерес к черным сланцам обязан их особенностям, для других пород весьма необычным, а для них типоморфным (Я.Э.Юдович, А.И.Гинзбург, Н.В.Лопатин, Г.М.Парпарова, А.В.Жукова). Помимо приведенных в определении отметим еще преобладание в составе органического вещества клеточно-микробных и бесструктурных масс со скудной и однообразной макро- и мезобиотой; контрастный переход к ним от подстилающих нормально-бассейновых сообществ, который нередко подчеркивается богатыми пограничными (в том числе и прижизненными) захоронениями; сочетание сравнительно ограниченной мощности с широким региональным распространением и при этом устойчивая встречаемость (от глубокого докембрия до настоящего времени) с сохранением типоморфных признаков. Чрезвычайно важна связь с уровнями сланценакопления разномасштабных биосферных перестроек, кризисов, вымираний [4].

Все эти и многие другие аномальные особенности черных сланцев делают их, несмотря на не-

выразительную и даже непривлекательную внешность, наиболее заметными и яркими страницами в летописи осадочных серий. Причем, с одной стороны, безусловно «черными» — кризисными, губительными, а с другой — наоборот, «золотыми», с разнообразнейшей и богатейшей минерально-сырьевой продуктивностью: собственно золотой, платиновой, урановой, железной, фосфатной и, наконец, нефтегазовой.

Загадки генезиса. Ключевой и наиболее спорный в проблеме генезиса черных сланцев вопрос — причина внезапного накопления аномально высоких концентраций органического вещества. Можно выделить две основные версии. Представители одной, традиционной, объясняют массовое накопление органического вещества повышенной «комфортностью» обстановки, обусловленной оптимальным сочетанием благоприятных глобальных и региональных факторов (эвстатических, гидрологических, климатических и др.), которые определили всплески продуктивности нормально-бассейновых биоценозов. Возникшее же в итоге перепроизводство биомасс считается причиной эвтрофикации водоемов, способствующей, в свою очередь, сохранению органического вещества в осадках. Сторонники альтернативной версии видят причину роста концентраций органиче-

ского вещества (вместе с целым комплексом сопряженных аномалий) в резко дискомфортных условиях, вызванных стрессовыми воздействиями интенсивных разгрузок восходящих флюидов. Наиболее известна модель С.Г.Неручева [4], согласно которой периодические поступления в биосферу избытка урана и других металлов вызывают цветение цианобактерий и формирование осадков, обогащенных органическим веществом и металлами. Менее известная модель этого же направления отводит определяющую роль присутствию в составе флюидов углеводородов (УВ) — нефтей, газов, нефтяных вод, часто металлоносных [5].

Аварийные разливы и их экологические следствия

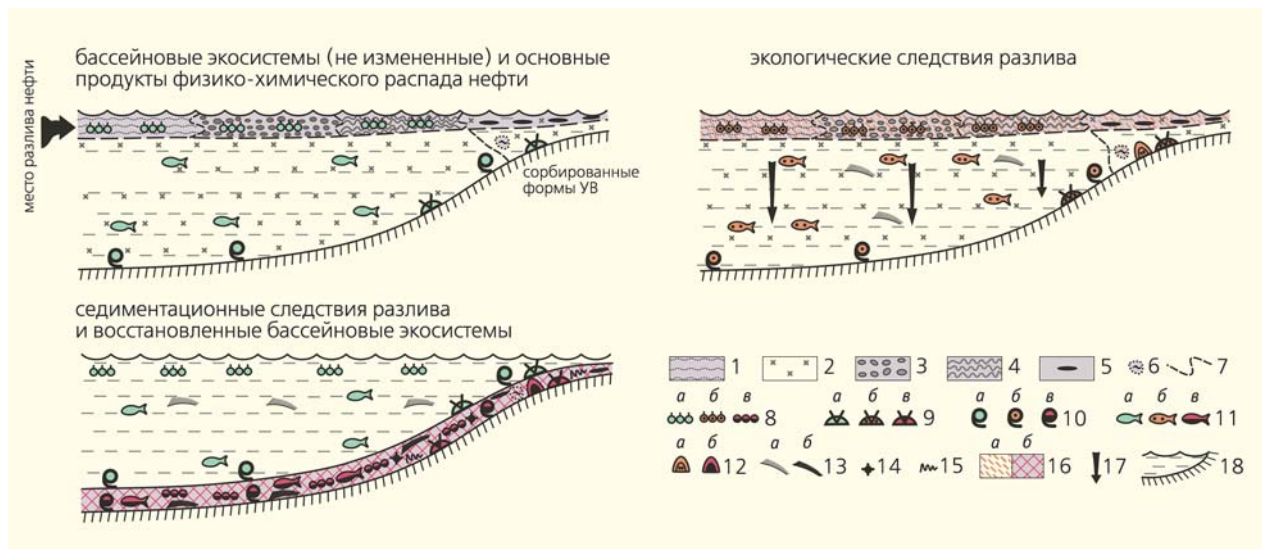
*И запах нефти... Он не одинаков!
Она меняет краски на бегу...
И вся планета жирно пахнет нефтью.*
Л.Ошанин. Нефть
Нефть состоит из слова «нет» и слова «есть».
С.Е.Шилов. Нефть

Для начала введем аварийные разливы нефти в систему факторов седиментогенеза — как источник вещества для субаквального осадконакопления. Наиболее значительные разливы возника-

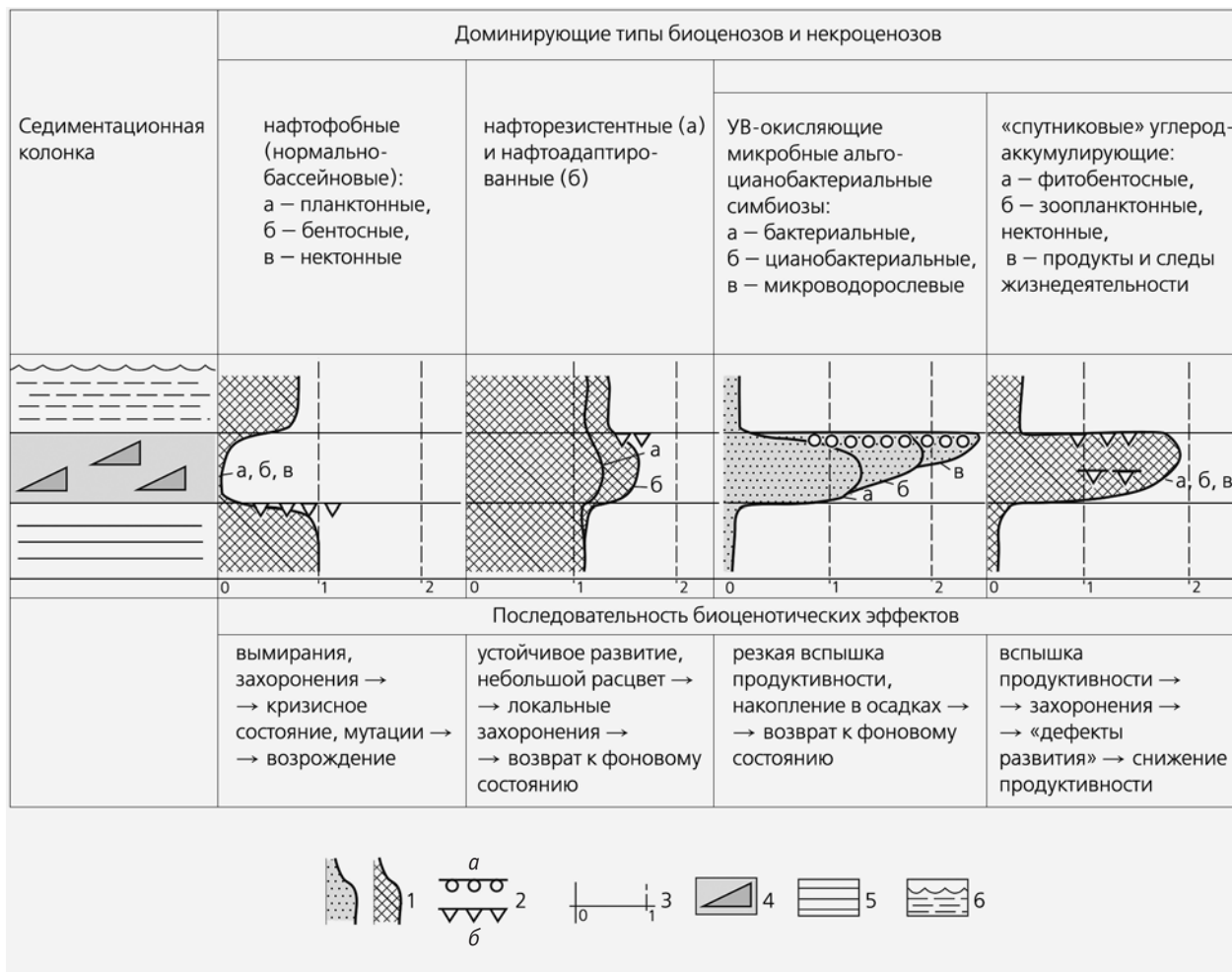
ют при авариях на нефтяных супертанкерах, буровых платформах, фонтанирующих скважинах, трубопроводах, а также при сбросах нефтяных (балластных или очистных) вод [6].

С момента поступления нефти в водную среду начинаются интенсивные процессы ее физико-химических превращений, образующих широкий спектр компонентов: летучие и водорастворимые; нефтяные пленки (слики); водо-нефтяные смеси-эмульсии; нефтяные агрегаты; обволакивания или налипания на компонентах взвеси и осадка, сорбированные на взвешенных частицах и аккумулярованные водными организмами и, наконец, тяжелый погружающийся остаток. Разливы создают обширнейшие подвижные ореолы влияния (аналоги природных), достигающие при крупных авариях гигантских размеров — более десятков тысяч квадратных километров. По преобладанию тех или иных продуктов физико-химических превращений нефти можно говорить о соответствующих типах ореолов.

По всем основным показателям аварийные разливы нефти безусловно представляют собой мощный фактор воздействия на бассейновую среду, сопоставимый по характеру и размеру очагов разгрузки и их ореолов с природными локализованными восходящими флюидными потоками. Особенности пространственно-времен-



Аварийный нефтяной разлив и экологические и седиментационные следствия. Составила Г.А.Беленицкая, 2008 г.
1—6 — основные продукты физико-химического распада нефти и ореолы их распространения: 1 — нефтяная пленка, 2 — растворенные углеводороды, 3 — водонефтяная эмульсия, 4 — остаточная нефть, 5 — нефтяные «агрегаты», 6 — сорбированные формы углеводородов; 7 — ориентировочные границы между разными типами ореолов;
8—11 — основные группы бассейновых «нафтофобных» биоценозов (а — до нефтяного воздействия, б — после воздействия, в — в осадке): 8 — планктонные, 9 (фитоценозы), 10 (зооценозы) — бентосные; 11 — нектонные;
12 (фитобентосные), 13 (зоопланктонные и зоонектонные) — «спутниковые» биоценозы (а — в пределах нефтяных ореолов, б — в осадке); 14 — продукты жизнедеятельности (преимущественно копролиты); 15 — следы жизнедеятельности; 16 — микробные УВ-окисляющие биоценозы и продукты их жизнедеятельности (а — в пределах нефтяных ореолов, б — в осадке); 17 — осаждение продуктов деградации нефти и жертв нефтяного воздействия; 18 — водоём.



Биоценотические эффекты, вызываемые нефтяными разливами. Составила Г.А. Беленицкая, 2008 г.

1, 2 — изменение интенсивности развития биоценозов (1) и уровни их массовых захоронений (2): а — микробных, б — мезо-, макро- и смешанных; 3 — условная шкала интенсивности развития биоценозов; 4 — слои осадочного нефтяного органического вещества; 5 — подстилающие осадки; 6 — бассейновые воды.

ного распространения и масштабы таких разливов аналогичны типичным для черносланцевых комплексов.

Среди различных последствий нефтяных разливов наиболее крупные и многообразные, безусловно, экологические. Разрушая и уничтожая существующие бассейновые биоценозы, «не любящие» нефть и «боящиеся» ее (нафтофобные), они формируют новые, «нефтелюбивые» (нафтофильные). Лишь небольшая часть биоценозов обнаруживает относительную нейтральность — устойчивость или даже приспособляемость. Так что для одних нефтяные разливы — злейший враг, для других — несомненный друг, а для третьих — и не друг, и не враг... Если негативные, пагубные следствия наглядны и о них много сказано, то созидательные, по сути не менее значительные, но типичные главным образом для мира микроорганизмов, менее очевидны и обсуждаются реже.

Мор нафтофобных биоценозов

Там, где есть нефть, нефть всех съест.
С.Е.Шилов. Нефть

Загубленные природные ландшафты, черные приливы, зоны смерти, липкие нефтяные объятия, катастрофические заморы моллюсков, рыб, птиц, млекопитающих, вязкая смесь с нефтью планктона и прибрежных водорослей — все эти плачевные следствия аварийных разливов стали практически их атрибутами. Гибель миллионов мидий, многих десятков тысяч птиц — таков трагический актив лишь одной аварии супертанкера. Одна тонна нефти вызывает заморы на площади до 10 тыс. км². Максимально эффективны воздействия на экосистемы в наиболее продуктивных зонах акваторий, особенно в природных «сгущениях жизни» (по В.И.Вернадскому) — планктонных, бентосных, прибрежных.



Жертвы современных нефтяных техногенных и древних природных катастроф.

Чрезвычайно агрессивны нефтяные пленки и слики. Тонкая пленка нефти, покрывая все живое, ведет к мгновенной гибели и погребению беспозвоночных, млекопитающих, птиц, рыб. Стрессовые воздействия разных компонентов распада нефти так или иначе затрагивают всю паутину трофических и энергетических связей, нарушая их структуру и экологический баланс в целом [6, 7].

Ясно, что для основной массы аборигенных обитателей, прежде всего их макро- и мезоформ, нефтяной разлив — своеобразный «нефтяной биоцид», а его вещественное следствие — множество захоронений (будущих тафоценозов). Обратим внимание на одну особенность возникающих захоронений, весьма важную седиментологически (и палеонтологически). Мгновенная гибель под гидрофобной пленкой-убийцей может обеспечить «эффект копирки»: фиксацию на ней точнейших слепков-оттисков поверхностей живых тканей. Эти своеобразные нефтяные «Помпеи», сообщества смерти, по сути представляют собой модель возникновения ископаемых отпечатков исключительно хорошей сохранности, весьма частых на поверхностях наслоения черных сланцев. Впечатляющий пример неоднократного появления таких отпечатков (в том числе буквально на наших глазах) — знаменитые смоляные ямы-озера Ла-Брея в южной Калифорнии, где в высачивающихся углеводородах замурованы великолепной сохранности остатки разнообразных организмов.

Расцвет нефтофильных биоценозов

Нефти хочу! Нефти!!!

В.В.Маяковский. Баку

Тебе и горький хрен — малина.

Козьма Прутков

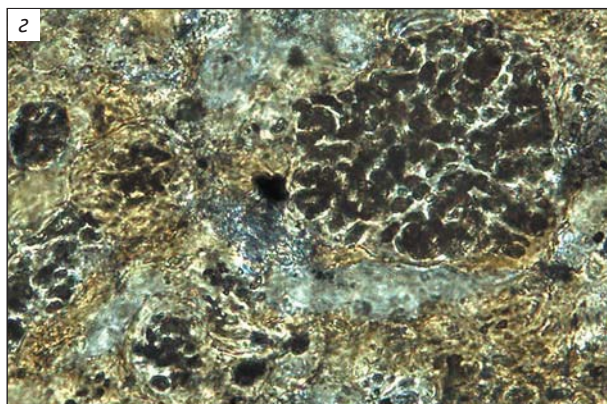
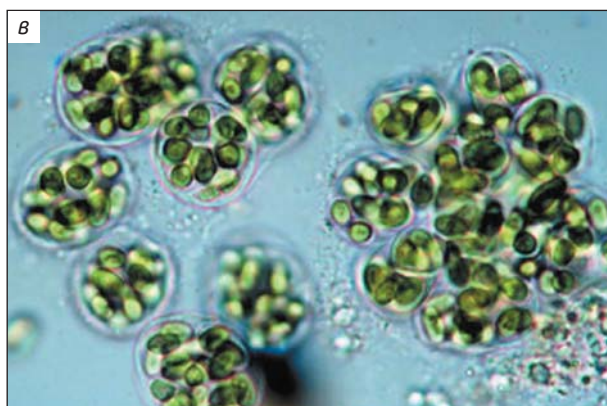
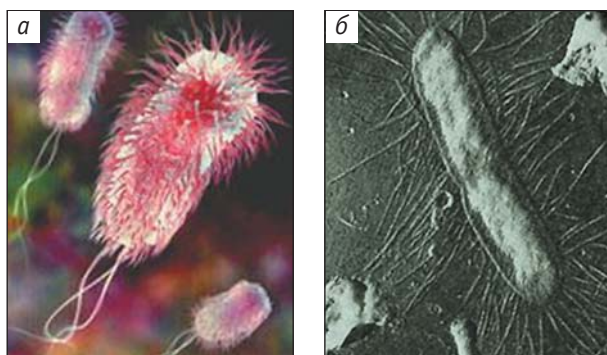
Казалось бы: что живое может противостоять нефти? На самом же деле — «манна небесная», дар, посланный в пищу, — вот что она такое для сообществ

УВ-окисляющих микроорганизмов, жадно ее утилизирующих и одновременно накапливающих новое «микробное» органическое вещество.

Уникальная способность микроорганизмов разлагать и утилизировать нефть, как и многие другие «великие дела маленьких существ» (по В.О.Таусону), хорошо известна микробиологам. И дело вовсе не в том, что у голодного, согласно персидской мудрости, в дело идет и змеиный яд. Просто этим малюткам впрямую, что другим — гигантам — гибель. На этой стороне их деятельности, для обсуждаемой проблемы чрезвычайно важной, остановимся чуть подробнее.

Начиная с 1930—1940-х годов процессы бактериального окисления нефтяных углеводородов стали активно изучаться микробиологами и химиками. В их числе: К.Зобелл, В.О.Таусон, Г.А.Могилевский, Г.А.Заварзин, С.А.Патин, О.Г.Миронов, М.В.Гусев, В.В.Ильинский, Т.В.Коронелли, Т.Л.Симакова, Е.П.Розанова, С.И.Кузнецов, А.А.Оборин, И.А.Немировская, Н.С.Огняник, Ю.И.Пиковский, Н.М.Исмаилов, А.В.Цыбань и многие другие. Дополнительным импульсом послужила острая необходимость решения двух глобальных проблем — очистить и накормить мир, т.е. ликвидировать нефтяные загрязнения и синтезировать искусственную нефтяную пищу. Именно микробы получили социальные заказы на их решение. В ходе исследований в лабораторных и природных условиях была накоплена обширная информация о сообществах микроорганизмов, осуществляющих деструкцию нефтяных углеводородов, о продуктах их жизнедеятельности, условиях возникновения и т.д.

Способность осуществлять окисление углеводородов присуща многим группам микроорганизмов — бактериям, актиномицетам, грибам. Основное значение имеют представители родов *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus* и др. Общую схему процессов в аэробных условиях



Бактерии и цианобактерии — представители УВ-окисляющего микробного симбиоза:
 а, б — микрофотографии УВ-окисляющих палочковидных бактерий рода *Pseudomonas*, диаметр палочек ~1.5—2.0 мкм;
 в, г — колониальные цианобактерии рода *Gloeocapsomorpha*: в — современные, диаметр колоний ~30 мкм; г — ископаемые (*G. prisca*) из среднеордовикских горячих сланцев-кукерситов, диаметр колоний ~50—60 мкм. Ленинградская обл. Шлиф, проходящий свет.

Фото автора

можно записать последовательностью: $УВ + H_2O +$
 $+ УВ\text{-окисляющие микроорганизмы} \rightarrow$ промежуточные продукты, метаболиты + микробная биомасса \rightarrow остаточные нефтепродукты + $CO_2, H_2O +$
 $+ микробная биомасса.$

Для самих микроорганизмов, их роста и размножения эти процессы служат источником энергии и углерода — строительного материала новых клеток, особей, колоний. К микробному окислению чувствительны все виды природных нефтей, хотя устойчивость их компонентов различна.

Переработку нефти осуществляют целые микробные консорциумы, в которых их лидеры-нафтотрофы образуют начальные звенья, переводя несъедобный углерод нефтей в формы, доступные для жизнедеятельности представителей других видов (фотосинтезирующих цианобактерий, микродорослей, бактериальных гетеротрофов-деструкторов и др.).

В природных водных средах микроорганизмы, способные окислять углеводороды, присутствуют повсеместно, являясь по сути «всюдными» членами экосистем. Правда, «до поры» — слабоактивными, тихо «дремлющими» в ожидании своего часа, практически незаметными среди господствующих крупных особей. При поступлении же углеводородов — дара Божьего, источника энергии и пищи — они резко активизируются. Темпы роста впечатляют. Уже через несколько суток счет клеток (в 1 мл) идет на миллиарды [7, 8]. В итоге — стремительный рост скорости и эффективности утилизации нефти и производства микробной биомассы. Растущие полчища микробов, локализуясь в пределах нефтяных пленок и других нефтогенных биотопов, превращают их в микробиотомники — инкубаторы нефтогенных биоценозов. Эти новые сгущения с доминантой микробных нафтотрофов замещают былые сгущения нормально-бассейновой жизни. Деятельность микробных сообществ продолжается и в выпавшем на дно осадке, хотя здесь их активность обычно снижается.

Длительность, скорость и завершенность процессов биодеградации нефти зависит от наличия и количества углеводородов, кислорода (в аэробных условиях), сульфатов, нитратов (в анаэробных) и элементов-биогенов. Соотношения этих компонентов могут широко варьировать, определяясь скоростями их пополнения и расходования. Но при любых соотношениях чрезмерное лавинообразное воспроизводство их потребителей делает неминуемым истощение хотя бы одного из компонентов и, как итог, — кризис теперь уже нефтофильных биоценозов, их мор и массовые захоронения микробных некромасс.

Обратим внимание на определяющую роль в рассматриваемых процессах двух главных действующих лиц — разлившейся нефти и утилизирующих ее микробных сообществ. Именно их взаимосвязанные судьбы (ликвидация нефтяных углеводородов и накопление микробной биомассы) — ключевые в обсуждаемой модели. При этом микроорганизмы служат, главным об-

разом, всего лишь эффективным биологическим инструментом в изменении формы нахождения углерода, с частичным переводом минеральных «неживых» форм в биологические «живые» (в «полуфабрикат» будущего органического вещества черных сланцев).

По отношению к биосферным экосистемам в целом нефтегенные сообщества исполняют важнейшие функции резервных защитных микробных сил, блокирующих вторжения углеводородов. Этот невидимый, но надежный страж биосферы справедливо получил у микробиологов образное наименование «бактериальный фильтр».

Спутники и попутчики нафтофилов и нейтралы-приспособленцы

*Один — с сошкой, семеро — с ложкой.
Стерпится — слюбится.*

Пословицы

УВ-окисляющие симбиозы сопровождают спутники — сообщества, развивающиеся в среде, насыщаемой сравнительно легко усваиваемыми производными нефти, охотно их используя, а иногда и накапливая их избыточные количества. Правда, со своей стороны, эти сообщества в меру сил и сами способствуют развитию микробных биоценозов. Среди спутниковых сообществ мы условно выделили три разновидности: фитобентосные [9] — преимущественно макрофиты (в том числе наиболее частые и изученные бурые водоросли); зооорганизмы (планктонные и нектонные) и организмы — активные производители продуктов жизнедеятельности (копролитов и др.) и ее следов (ползания, зарывания и др.). Все эти разновидности весьма сходны с характерными палеосообществами черных сланцев, в которых также составляют группу попутчиков микробных биоценозов. Они довольно хорошо изучены палеонтологами.

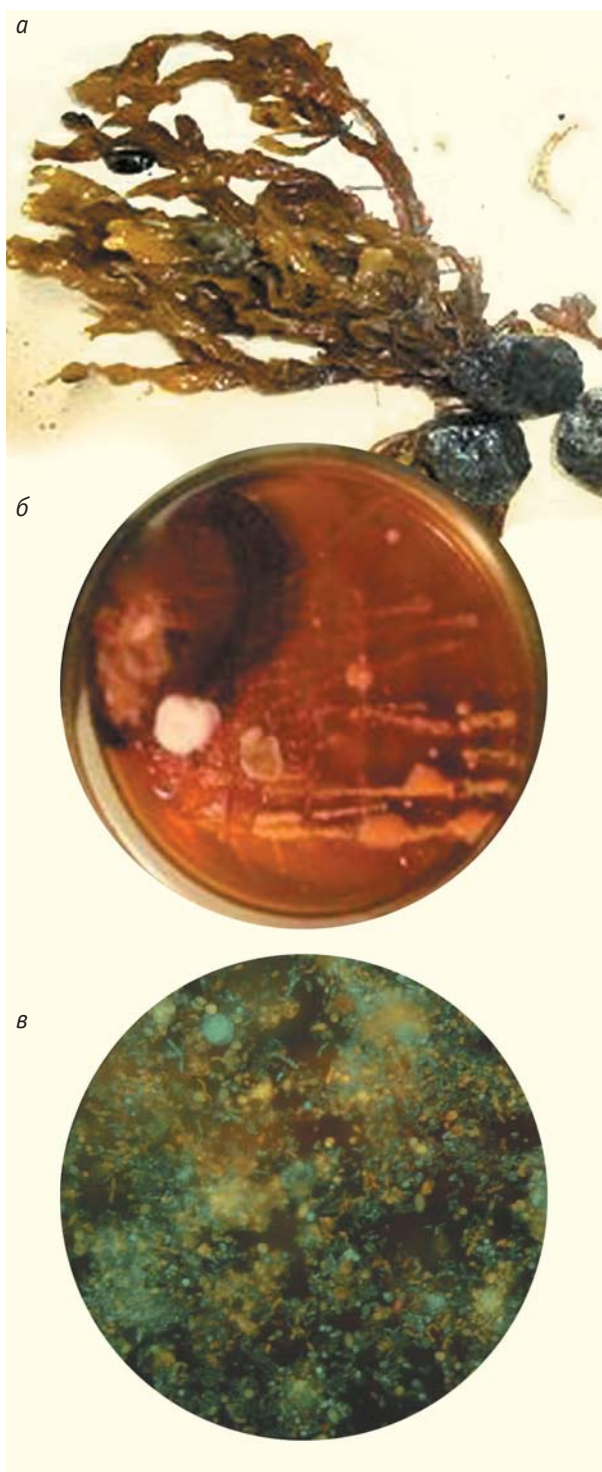
Среди аборигеновой бассейновой макро- и мезобиоты помимо гибнущих «нафтофобов» обнаруживаются относительно устойчивые таксоны, для которых зараженность среды углеводородами не помеха, а порой и польза, особенно в малых концентрациях (вспомним, что и многие из нас охотно подвергают себя благотворно-лечебному действию нефтяных вод или скипидарных ванн).

А что в осадке?

В мелководных водоемах основным аккумулятором углеводородов становятся осадки.

И.А.Немировская

Итак, мы подошли к основному вопросу: какво же итоговое отражение следствий нефтяных разливов в осадках? К сожалению, пока в конкретных поставарийных ситуациях сами осадки изучены весьма ограниченно, однако уже имею-



Развитие УВ-окисляющих бактерий под пленкой нефти на «спутниковых» бурых водорослях [9]: а — бурые водоросли в естественной среде на дне водоема. Уменьшено в два раза; б — обрастание таллома бурых водорослей колониями УВ-окисляющих бактерий под пленкой нефти; диаметр поля ~20 см; в — микрофотография отпечатка поверхности таллома, полная колонизация его поверхности бактериями, диаметр поля ~60 мкм.

щиеся данные [8, 10, 11] позволяют выявить их общие черты. И эти черты, заметим сразу, чрезвычайно близки типоморфным признакам черных сланцев.

Главный седиментационный итог разлива — тонкий слой темных илистых отложений с повышенным содержанием органического вещества нафтогенной природы. Для него характерно однородное, неравномерно комковатое или хлопьевидное сложение, наличие нефтяных сгустков, пленок, обволакиваний органических и минеральных частиц. Концентрация органического вещества колеблется от 0.5 до 10–23% [3, 12, 13]. При небольшой мощности слоев имеет весьма резкие ограничения, субгоризонтальное залегание и прерывисто-региональное распространение.

По микросложению органического вещества можно выделить две его структурно-морфологические разновидности: одна, количественно преобладающая, представлена относительно однородной органической и органо-глинистой массой, вторая — обособленными визуально различимыми форменными элементами, неравномерно рассеянными или образующими разные типы скоплений. Для однородных масс, в свою очередь, характерны два микроструктурных вида: клеточные, преимущественно микробные альгоциано-бактериальные, часто в сочетании с фитопланктонными, и бесструктурные коллоидальные, гелевые. Два вида распознаются и среди форменных элементов: нефтяные агрегаты и органогенные образования. Агрегаты (осевшие на дно сгустки остаточной нефти) поразительно похожи на выделения твердых битумов в черных сланцах, в частности в кукерситах и других ордовикских сланцевых комплексах Прибалтики, в верхнекембрийских квасцовых сланцах Швеции и др. Среди органогенных образований преобладают захоронения доаварийных биоценозов, загубленных разлившейся нефтью, и некоторых спутниковых сообществ. Разные их виды частично рассеяны в массе органического вещества, но в большей мере сосредоточены (как и в черных сланцах) в подстилающих, особенно в пограничных, отложениях.

Основные биогенные составляющие осадков — микробные массы и органогенные форменные элементы — отражают весьма различные биоценотические эффекты нефтяных воздействий. Первые фиксируют развитие нафтогенных аномальных биотопов. Вторые характеризуют доаварийные фоновые биотопы (обстановки былого процветания бассейновых биоценозов), но одновременно свидетельствуют (фактом внезапной гибели) и о постигших их кризисах. Так что в накопившемся осадке оказываются сближенными или даже смешанными индикаторы совершенно разных условий: и нормально-бассейновых доаварийных, и самих кризисов-аварий, и новооб-

разованных экстремальных (непосредственно поставарийных нафтогенных). Именно такого рода смешение биоиндикаторов столь контрастных обстановок, чрезвычайно характерное и для черносланцевых комплексов, как раз служит одной из причин неоднозначности генетической интерпретации последних.

Нафтогенная природа захораниваемого органического вещества проявляется и в ряде специфических особенностей его состава — причем именно тех особенностей, которым в моделях генезиса черных сланцев обычно придается ключевая роль. Это повышенные содержания [3, 7, 14]: липидов, устанавливаемые как в составе осевших организмов, так и во взвеси и в водной среде (их концентрации достигают 40–45%); углеводов — в составе липидов и в свободных формах (до 7–10 тыс. мкг/г в сухом остатке); водорода — близкие тем высоким содержаниям, которые характерны для нефтей (12–14%) и горючих сланцев (7.0–11.5%). Намечаются прямая зависимость между этими показателями и их корреляция с загрязненностью среды нефтью. Присутствие в районах с нефтяным загрязнением повышенных концентраций липидов и углеводов особенно важно, поскольку предполагает формирование в нафтогенных осадках уже на стадии седиментогенеза индикаторов весьма высокого нефтематеринского потенциала.

Еще один показатель таких осадков — изотопный состав углерода нафтогенного органического вещества. Отмеченное обогащение захораниваемого органического вещества изотопно легкими составляющими — циано-бактериальными массами и липидами — позволяет достаточно уверенно предполагать и общее обогащение осевшего органического вещества легким изотопом углерода. По-видимому, его изотопный состав отвечает нефтяному и черносланцевому, которые весьма близки между собой (по Э.М.Галимову и Н.А.Еременко, 27–31 и 26–31‰ соответственно). Этот вывод вполне подтверждают лабораторные данные, выявляющие крайне незначительные величины изотопного эффекта в ходе бактериальной дегградации нефти [11]. Таким образом, сходство с черными сланцами отчетливо прослеживается и в специфических макро-, микро- и нанохарактеристиках органического вещества осадков.

Примеси в нафтогенных осадках минеральных аутигенных новообразований из-за «мгновенности» их отложения чаще всего незначительны. Они представлены карбонатами, сульфидами и другими минералами, возникновение которых связано с газовыми производными полного распада нефти (CO₂, H₂S и др.) и ионно-солевыми составляющими сопутствующих вод.

Обогащение осадков микроэлементами (Ni, V, Co, Pb, Cu, As, Hg, U, Mo и др.) зависит от попутной микроспециализации нефтей и особенно

сопровождающих их нефтяных вод. Основные носители микроэлементов в органическом веществе — смолы и асфальтены — накапливаются главным образом в агрегатных и остаточных продуктах деградации нефтей [15]. Как их набор, так и характер распределения близки к черным сланцам.

Единовременное (геологически мгновенное) осаждение органического вещества на поверхности субстрата, согласованность появления и исчезновения в осадке всего разнообразия изменений и аномалий определяют синхронность и горизонтальность слойка, его дискретность и сравнительную контрастность границ. А это — предпосылки возникновения (в случае повторяемости разливов) тонкой горизонтальной слойчатости — важного текстурного признака сланцев. Структурные и микроструктурные особенности слойка определяются типами слагающих органическое вещество микрокомпонентов и их соотношениями. Его пространственные характеристики в целом отражают характер распространения ореолов влияния нефтяных разливов — их обширность, относительную афациальность (при повсеместной синхронности).

В таком виде обогащенный органическим веществом слойка переходит в новую раннедиагенетическую стадию — время дальнейшей, уже преимущественно анаэробной бактериальной трансформации органического вещества всех его компонентов (остаточных нефтяных и новообразованных). В итоге этих процессов расходуется 20–25% (до 50%) исходного органического вещества и около 30% (до 50%) углеводов [3]. Соотношения компонентов органического вещества при этом могут изменяться. С одной стороны, микробная масса пополняется новыми бактериальными участниками (нефтеокисляющими, сульфатредуцирующими и др.), развивающимися за счет как оставшихся нефтепродуктов, так и самих некрома, а с другой — она частично сокращается в ходе деструкционных процессов.

Модель «нефтяного разлива» — ключ к познанию черносланцевых событий?

Окинем беглым взглядом главные итоги сопоставлений. Очевидно, что аварийные выбросы нефти вполне могут рассматриваться как аналоги природных очагов разгрузки углеводов с обширными растекающимися и мигрирующими ореолами влияния, образованными разнообразными продуктами их физико-химического распада. Ореолам отвечают экстремальные биоценозы и захоронения, в которых погибшие высокоорганизованные нормально-бассейновые сообщества тесно переплетаются с замесившими их нафтофильными микробными. Кардиналь-

ные перестройки экосистем, с общим подавлением фоновых и расцветом микробных сообществ, с проявлением таксономических, трофических и энергетических эффектов, дают основание говорить о нафтогенных сукцессиях и событиях (или микрособытиях) техногенной природы, аналогичных черносланцевым. Седиментационный итог нефтяного разлива — обогащенный органическим веществом слойка, который обладает набором свойств, фиксирующих различные эффекты ударного воздействия продуктов нефтяных разливов на бассейновые экосистемы. Их комплекс во многом аналогичен набору типоморфных признаков и аномальных макро- и микросвойств черных сланцев, что позволяет рассматривать нафтогенные осадки как их техногенный гомолог.

Каждый такой слойка выступает как проявление единичного импульса поступления нефти, как своеобразная метка-запись о нефтяном разливе и всех его катастрофических следствиях, а итоговая слойчатость осадка — как проявление множественности таких импульсов, как фиксатор режима разливов.

Обратим внимание, что основная масса углерода разлившихся нефтей включается в биологический рециклинг. УВ-окисляющие микроорганизмы выступают в роли эффективного биологического инструмента перевоплощения углерода, с переходом из геологических неживых форм в биогенные живые и с накоплением в осадке нефтедочерных масс (способных, судя по всем характеристикам, стать и нефтематеринскими).

В пользу принятия модели «нефтяных разливов» в качестве возможного (пусть не единственного) варианта накопления высокоуглеродистых отложений свидетельствует сопоставимость эколого-седиментационных следствий, характерных для техногенных разливов, с наблюдаемыми на современных природных очагах разгрузки УВ-содержащих флюидов [16], а также некоторые предварительные результаты проверки приложимости модели к черносланцевым палеоситуациям разных регионов [17]. В наблюдаемых же вариациях характеристик природных черных сланцев отражаются (наряду с другими факторами) различия тех УВ-содержащих флюидов, которые приняли участие в их образовании. Однако точку ставить рано: необходим детальный региональный ретроспективный анализ, во-первых, самих черных сланцев (как древних гомологов нафтогенных осадков), а во-вторых, — свидетельств былых масштабных разгрузок углеводов (синхронных сланценакоплением). Весьма вероятно, что среди многих представителей черных сланцев обнаружатся разновидности, отвечающие различным генетическим моделям. Выявление их специфических признаков составит еще одну из будущих задач.

В заключение заметим, что результаты проведенных сопоставлений могут способствовать познанию не только черных сланцев. Очевидны возможности и «обратных» сопоставлений. Расшифровка летописи былых нефтяных катастроф и их следствий, зафиксированной в черных сланцах, — путь к раскрытию эффективных методов борьбы с ними. Если модель справедлива, то техногенез — ключ не только к прошлому, но и к настоящему,

а в какой-то мере — и к будущему, к предсказанию характера угроз со стороны как техногенных, так и природных катастроф, и к поиску оптимальных путей борьбы с их следствиями.

Ну, а если модель несправедлива? Тогда утешимся тем, что все равно модели полезны (Р.Г.Бенсон) уже хотя бы «потому, что, когда они оказываются неподходящими, их можно (и нужно! — Г.Б.) заменить» [18. С.17]. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 03-05-65100-а, 07-05-00907-а.

Литература

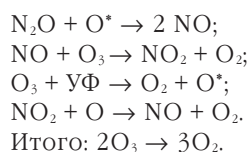
1. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л., 1988.
2. Нельсон-Смит А. Загрязнение нефтью. Л., 1973.
3. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег — лед — вода — взвесь — донные осадки). М., 2004.
4. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. СПб., 2007.
5. Беленицкая Г.А. Углеводородные флюиды в системе восходящих разгрузок в область седиментогенеза. Черные и горючие сланцы в системе седиментационных производных восходящих разгрузок // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы. М., 2008. С.62—68.
6. Немировская И.А. Нефтяные углеводороды в океане // Природа. 2008. №3. С.17—27.
7. Цыбань А.В., Симонов А.И. Процессы микробного окисления нефти в море // Человек и биосфера. Вып.3. М., 1979. С.143—159.
8. Преобразование нефтей микроорганизмами // Тр. ВНИГРИ. 1970. Вып.281.
9. Степаньян О.В., Воскобойников Г.М. // Биология моря. 2006. Т.32. №4. С.241—248.
10. Розанова Е.П., Кузнецов С.И. Микрофлора нефтяных месторождений. М., 1974.
11. Мехтиева В.Л. // ДАН СССР. 1977. Т.236. №5. С.1218—1221.
12. Гольдберг В.М., Зверев В.П., Арбузов А.И. и др. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. М., 2001.
13. Опекунов А.Ю. Аквальный техноседиментогенез // Тр. ВНИИОкеанологии. Т.208. СПб., 2005.
14. Исмаилов Н.М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязненных почв // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М., 1988. С.42—57.
15. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки УВ в окружающей среде. М., 1993.
16. Леин А.Ю., Иванов М.В. Крупнейший на Земле метановый водоем // Природа. 2005. №2. С.19—26.
17. Беленицкая Г.А., Журавлев А.В., Колокольцев В.Г. Признаки флюидных палеовоздействий на осадочные процессы в кембро-ордовикских отложениях Балтийского палеобассейна // Осадочные процессы: седиментогенез, литогенез, рудогенез. М., 2006. Т.1. С.301—303.
18. Катастрофы в истории Земли. Новый униформизм / Под ред. У.Берггрена и Дж.Кауверинга. М., 1986.

N₂O — веселящий газ: есть ли повод для веселья?

А.Л.Степанов

Процессы глобального изменения климата справедливо связывают с ростом концентрации в земной атмосфере так называемых парниковых газов. К числу таких атмосферных микрокомпонентов, которые интенсивно накапливаются в последние десятилетия, специалисты относят и N₂O. Этот монооксид азота, более известный в литературе как закись азота или веселящий газ, привлекает внимание почвоведов и экологов прежде всего потому, что в почвах многие стадии биологического цикла азота включают образование и поглощение N₂O (рис.1).

Кроме того, закись азота, оставаясь относительно инертным соединением, в верхних слоях атмосферы участвует в разложении озонового экрана планеты. Так, в стратосфере N₂O подвергается фотолизу и взаимодействует с возбужденными атомами кислорода, образуя окись азота (NO), которая и способствует разрушению озона. Именно поэтому закись азота косвенно влияет на содержание озона как в тропосфере, так и в стратосфере [1]:



Наконец, закись азота — один из самых опасных парниковых газов (таб.). Потенциал



Алексей Львович Степанов, доктор биологических наук, профессор кафедры биологии почв факультета почвоведения Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов — почвоведение, экология, микробное образование и поглощение парниковых газов.

ее теплопоглощения в 150 раз больше, чем у CO₂, и в 5 раз, чем у метана, а время пребывания в атмосфере может достигать 200 лет. Принимая во внимание ежегодный прирост концентрации N₂O на 0.3%, можно ожидать, что в ближайшем будущем ее влияние на глобальное потепление существенно возрастет. При этом очень важно, что атмосферная закись азота на 70—90% биологического происхождения [2, 3].

Из оценки глобальных источников N₂O видно, что основ-

ной источник закиси азота — не сжигание топлива (как считают многие), а почвенный покров планеты (рис.2). Это главным образом почвы тропических и бореальных лесов, а также сельскохозяйственные угодья [3], в которых закись азота образуется в результате микробной трансформации азота. В почвах интенсивность денитрификации, автотрофной и гетеротрофной нитрификации, диссимиляционного восстановления нитратов в аммоний и других процессов превраще-

Таблица
Сравнительная характеристика парниковых газов [2]

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Концентрация, ppm	350	1.7	0.3
Ежегодный прирост, %	0.5	0.8	0.3
Потенциал теплопоглощения (CO ₂ = 1)	1	30	150
Время пребывания в атмосфере, лет	5–100	8–12	до 200
Вклад в парниковый эффект, %	63	19	4–6
Биологическое происхождение, %	20–30	60–90	70–90

© Степанов А.Л., 2010

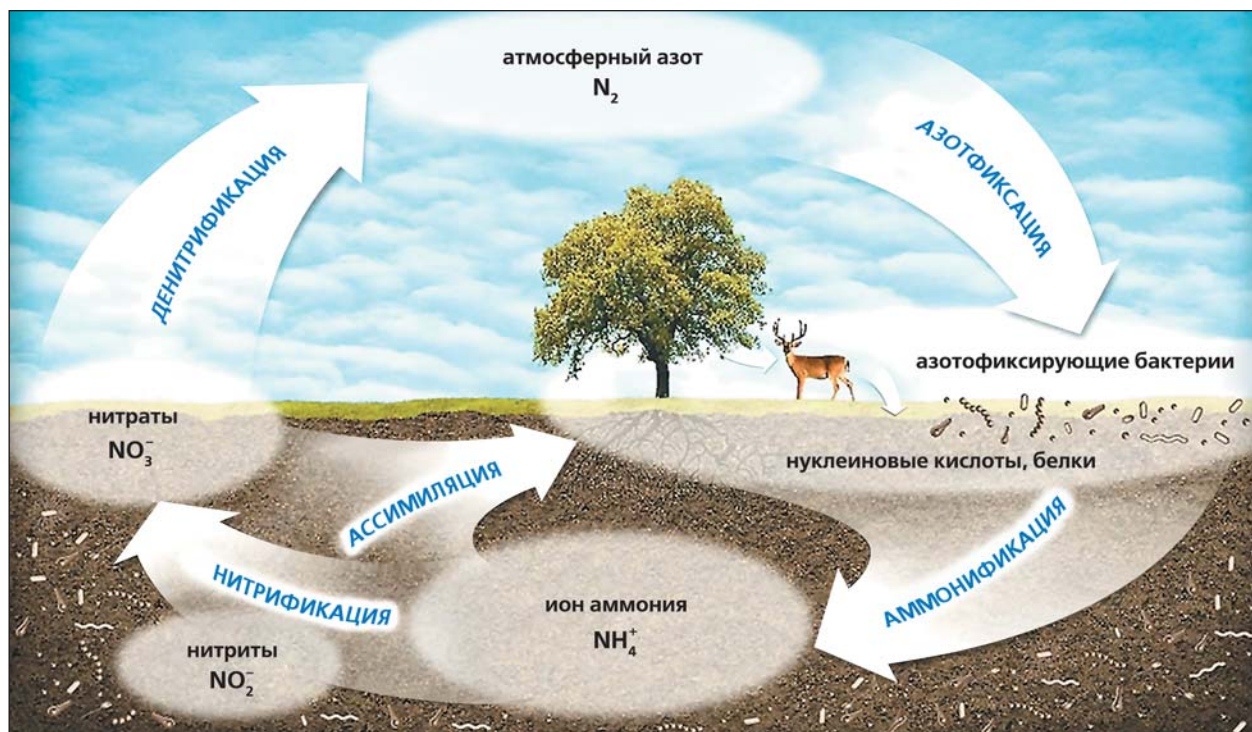


Рис.1. Биологический цикл азота в почвах [16].

ния азота обусловлена присутствием различных азотсодержащих соединений, а также чрезвычайно высокой численностью и большим таксономическим разнообразием почвенных микроорганизмов (миллиарды клеток в 1 г почвы).

В отличие от многочисленных источников образования закиси азота в почвах, биологичес-

кие пути ее поглощения весьма ограничены. Особая структура молекулы N_2O , включающая два атома азота, делает невозможным ее прямую ассимиляцию животными, растениями и грибами [4]. Только денитрифицирующие бактерии обладают комплексом ферментов, позволяющих последовательно восстанавливать окислы азота до N_2 .

В клетках таких бактерий нитраты восстанавливаются до молекулярного азота в следующей последовательности: $NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$.

Скорость восстановления закиси азота определяет фермент N_2O -редуктаза. Его активность снижается при подкислении среды, в присутствии кислорода, нитратов и нитритов, а также таких сильных ингибиторов, как ацетилен, сероводород и др. [2]. Высокая чувствительность N_2O -редуктазы к факторам внешней среды имеет большое экологическое значение, поскольку для многих почв характерны высокая кислотность и низкое содержание гумуса. Кроме того, распашка земель, повышающая аэрацию, применение минеральных удобрений и другие факторы антропогенного воздействия на почвы дают основание ожидать увеличения доли закиси азота в продуктах денитрификации.

Состав почвенных микроорганизмов, восстанавливающих N_2O , зависит от типов почв: в



Рис.2. Глобальный бюджет закиси азота (выражен в тераграммах азота в молекуле N_2O) [2, 15].

черноземе и каштановой почвах больше всего представителей родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Erwinia*, *Micrococcus* и других коринеподобных бактерий, а в солончаке гидроморфном — *Bacillus*, *Micrococcus* и коринеподобных бактерий родов *Arthrobacter*, *Rhodococcus*. В черноземе, дерново-подзолистой, серой лесной и каштановой почвах преобладают грамотрицательные неспоровые бактерии (*Pseudomonas* и др.), а в засоленных почвах — споровые формы, бациллы. Эукариот (дрожжей, микромицетов), способных поглощать закись азота, мы не обнаружили, что подтверждает участие в ее восстановлении только прокариотных организмов. Бактерии, развивающиеся на среде с закисью азота, не способны ее утилизировать [4, 5]. Для построения клеточной массы они вынуждены использовать молекулярный азот и, следовательно, должны обладать нитрогеназой активностью. Способность фиксировать молекулярный азот обнаружена только у прокариот.

Поскольку закись азота восстанавливается не только N_2O -редуктазой, но и нитрогеназой, ее микробная трансформация возможна в ходе денитрификации и азотфиксации [6]. Мы установили, что все выделенные штаммы N_2O -редуцирующих бактерий способны фиксировать молекулярный азот. Поскольку активность нитрогеназы ингибируют ионы аммония в концентрации, превышающей 1 ммоль/л [7], то для оценки участия нитрогеназы и N_2O -редуктазы в восстановлении закиси азота мы использовали ингибиторный анализ. В присутствии ионов аммония нитрогеназная активность чистых культур не проявлялась и скорость поглощения N_2O не менялась. С другой стороны, введение ацетилена в систему полностью останавливало этот процесс. Поскольку ацетилен — специфический ингибитор N_2O -редуктазы, закись

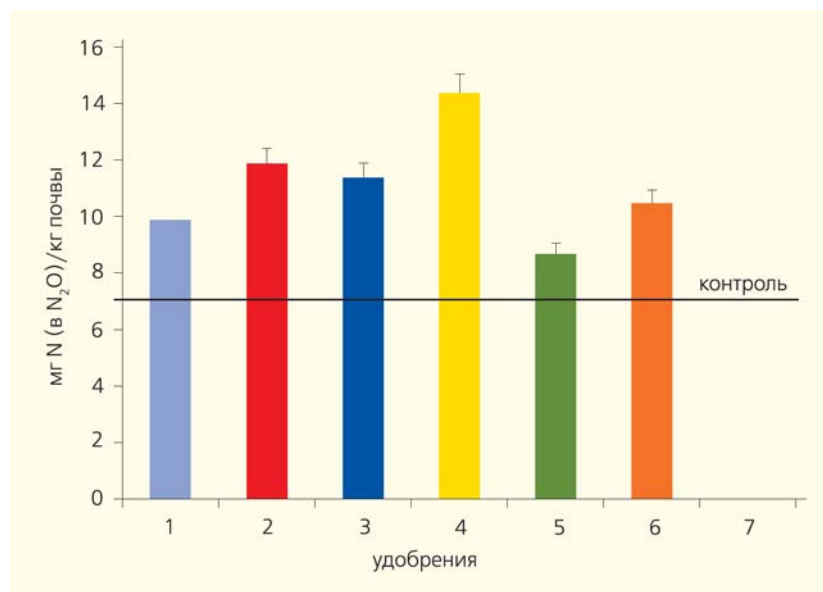


Рис.3. Эмиссия N_2O из дерново-подзолистой почвы при внесении минеральных азотных удобрений за период вегетации ячменя. 1 — $CO(NH_2)_2^*$; 2 — $CO(NH_2)_2^{**}$; 3 — NH_4Cl^* ; 4 — NH_4Cl^{**} ; 5 — $Ca(NO_3)_2^*$; 6 — $Ca(NO_3)_2^{**}$. Дозы минерального азота: * — 25; ** — 75 мг N/кг.

азота может восстанавливаться только в процессе денитрификации (а не азотфиксации). Значит, ключевой фермент, определяющий скорость восстановления закиси азота в почвах, — N_2O -редуктаза, а денитрификация — не только источник, но и основной путь поглощения закиси азота в почвах [2].

Определение общей численности микроорганизмов, восстанавливающих закись азота в почвах основных биоклиматических зон европейской части России, показало, что количество таких бактерий достаточно велико и колеблется от $6.7 \cdot 10^4$ кл/г в солончаке гидроморфном, до $2.9-6.0 \cdot 10^7$ кл/г в черноземе и каштановой почве. Эти цифры говорят о высоком биологическом потенциале поглощения закиси азота в зональных типах почв. При оценке интенсивности образования и поглощения закиси азота в основных типах почв выяснилось, что в целинных почвах эти процессы сбалансированы и что конечный продукт денитрификации — молекулярный азот (N_2). Вовлечение почв в сельскохозяйствен-

ное использование может существенно повлиять на микробную трансформацию азота в почвах и, как следствие, на величину атмосферного потока N_2O .

Применение минеральных удобрений позволяет рассматривать современные агроценозы как объекты с повышенной активностью микробной трансформации минерального азота. Мы изучали влияние минеральных азотных удобрений на атмосферный выброс N_2O на примере дерново-подзолистой почвы под посевами ячменя и тимофеевки (рис.3). Оказалось, что минеральные азотные удобрения увеличивали эмиссию N_2O в 1.5–2 раза независимо от типа удобрений. Вопреки ожидаемому росту активности денитрификации, при использовании нитратных соединений азота наибольшие потери N_2O вызывали аммонийные и амидные соединения, что обусловлено выделением закиси азота в процессе нитрификации. Видимо, и в будущем применение минеральных азотных удобрений и продуктов животноводства останется одним из

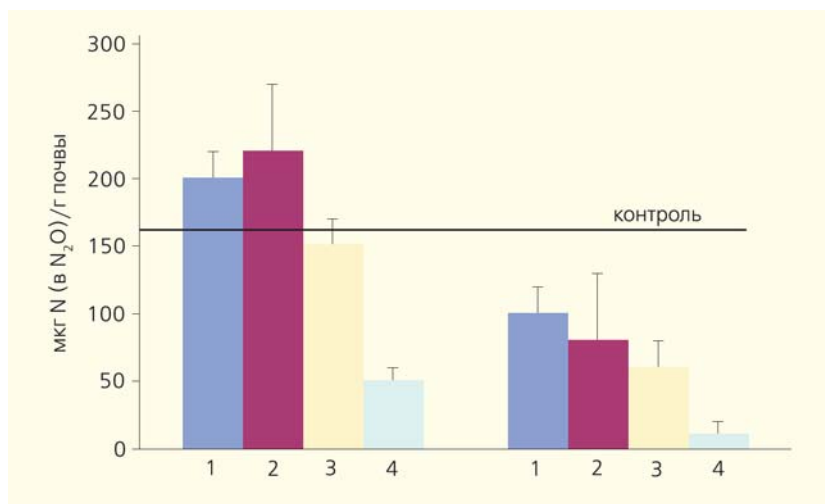


Рис.4. Влияние атразина и диэтилаатразина на активность денитрификации в дерново-подзолистой почве. Дозы внесения: 1 — 0.02; 2 — 0.05; 3 — 0.1; 4 — 0.2 мг/кг.

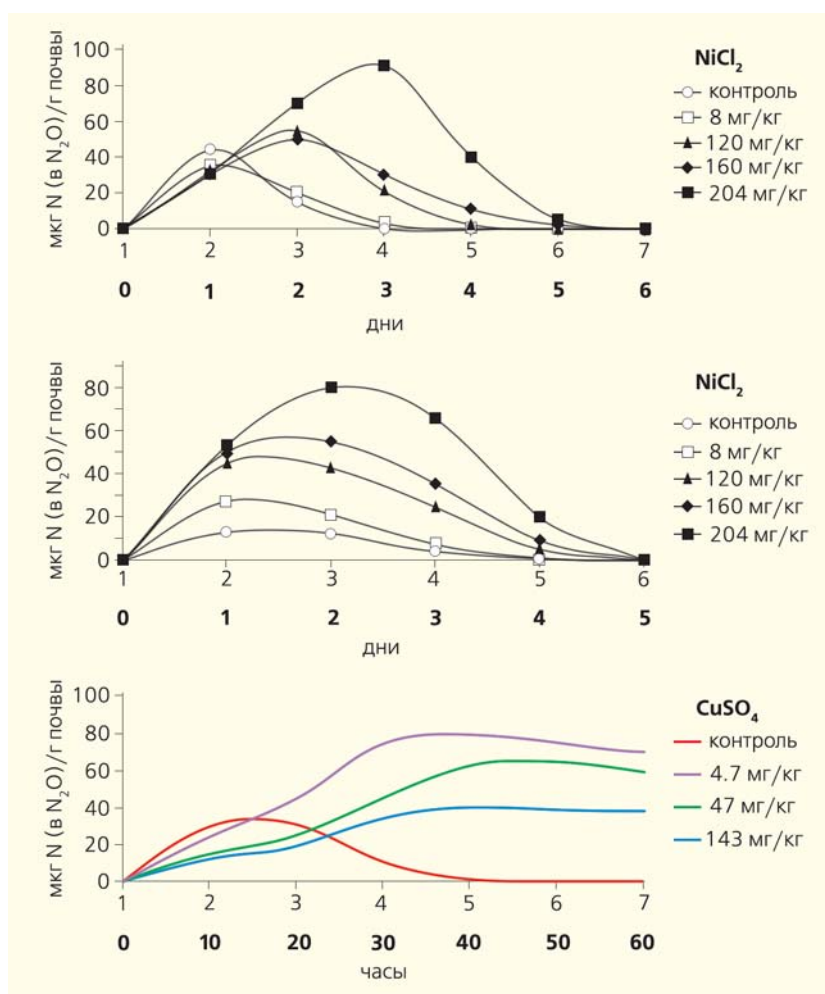


Рис.5. Влияние солей тяжелых металлов на образование и поглощение N_2O в серой лесной почве (вверху, внизу) и черноземе обыкновенном (в середине).

главных источников повышенной эмиссии N_2O [3].

Еще одна важная составная часть технологии современного сельского хозяйства — пестициды. По данным ФАО, благодаря их применению производится не менее 30% мировой сельскохозяйственной продукции. Изучение действия атразина и диэтилаатразина, продукта его микробной трансформации, на денитрификацию в дерново-подзолистой почве выявило стимулирующее влияние этого гербицида на поток закиси азота [8]. Так, превышение рекомендуемых доз (до 0.2 мг/кг) сопровождалось сильным подавлением биологической активности почвы — эмиссии CO_2 и активности денитрификации (рис.4). Полученные данные говорят о том, что атразин в производственных концентрациях ингибирует N_2O -редуктазу, повышая тем самым долю закиси азота в продуктах денитрификации. Высокие дозы этих соединений настолько токсичны, что тормозят биологические процессы в почве и денитрификацию в частности.

Влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на величину эмиссии N_2O изучали на дерново-подзолистой, серой лесной почвах и черноземе обыкновенном [8]. Во всех типах почв тяжелые металлы увеличивали долю закиси азота в конечных продуктах денитрификации (рис.5). Эта тенденция наиболее ярко проявилась при накоплении никеля: максимальные различия между контролем и вариантами опыта (в 2–8 раз) наблюдались в серой лесной почве и черноземе. Меньший эффект в дерново-подзолистой почве объясняется относительно низкой активностью денитрификации по сравнению с черноземом и серой лесной почвой. Аналогичные результаты получены для солей меди в серой лесной почве: выделение N_2O превышало уровень контроля в два-три раза. Причем большее загрязнение сульфатом меди увеличивало до-

лю N_2O до 80% от потерь азота в газообразной форме.

Среди факторов среды, влияющих на активность денитрификации в почвах, определяющее значение имеют влажность и температура. Выделение и поглощение закиси азота в зависимости от давления почвенной влаги изучали в модельных экспериментах на дерново-подзолистой почве, красноземе, черноземе обыкновенном и сероземе [9]. Максимум выброса наблюдался при влажности, близкой к полевой влагоемкости (-0.1 атм), а не при затоплении почвы, когда атмосферный поток N_2O , наоборот, сокращается из-за перекрывания почвенных пор капиллярной водой (рис.6). Значит, при меняющемся водном режиме почв (иссушении—увлажнении) возможно интенсивное выделение закиси азота. Скорость ее восстановления в почвах ограничивается низкой температурой (до +4°C) и кислой реакцией среды (рН = 4.0).

Изучение соотношения продуктов денитрификации — N_2O и N_2 , выделяющихся из почвенных агрегатов дерново-подзолистой, серой лесной почв, чернозема обыкновенного и бурозема, выявило зависимость состава газообразных потерь азота от диаметра агрегатов [10, 11]. Так, с его увеличением в конечных продуктах денитрификации возрастала доля молекулярного азота и сокращалось количество закиси азота. В целом для водопрочных агрегатов диаметром 0.25–3.0 мм основным продуктом денитрификации была закись азота, а для агрегатов 3–5 мм в диаметре — молекулярный азот. Объяснить это явление можно тем, что N_2O -редуктаза активнее в отсутствие кислорода. Размер анаэробной зоны в мелких агрегатах настолько мал, что закись азота не успевает восстановиться в молекулярную форму и уходит в атмосферу (рис.7).

Характерно, что кислая реакция в буроземе (рН 3.7–4.0),

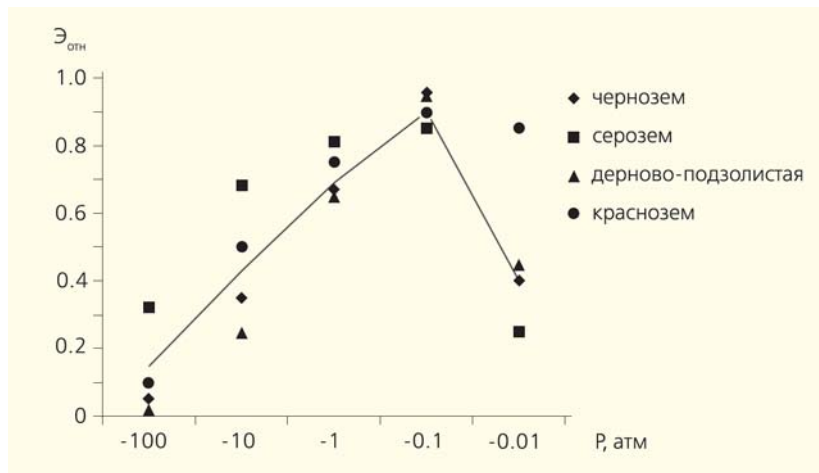


Рис.6. Зависимость относительной эмиссии ($\text{Э}_{\text{отн}}$) закиси азота от давления почвенной влаги (P). В диапазоне P от -200 до -0.3 атм измерялось полное P (P_n); в диапазоне P от -0.3 до -0.01 атм — капиллярное P (P_k).

по всей видимости, обусловила особый характер выделения окиси азота (NO). Как уже отмечалось, окись азота в силу своей высокой активности регулирует многие жизненно важные обменные процессы у микроорганизмов, растений и животных [12]. Считается, что в почве она быстро перехватывается микробным сообществом и потому почти не поступает в атмосферу [4]. Как показали наши исследования, окись азота выделялась только из кислых почв — бурозема, причем с увеличением

размера агрегатов ее доля сокращалась [13]. Таким образом, разрушение почвенной структуры в результате водной или ветровой эрозии сопровождается возрастанием доли закиси азота, а в некоторых случаях и окиси азота в газообразных продуктах денитрификации.

Вывод, основанный на данных лабораторных экспериментов, подтвердился в лизиметрическом опыте. Исследуемая дерново-подзолистая почва под посевом кукурузы на 60% состояла из агрегатов диаметром менее

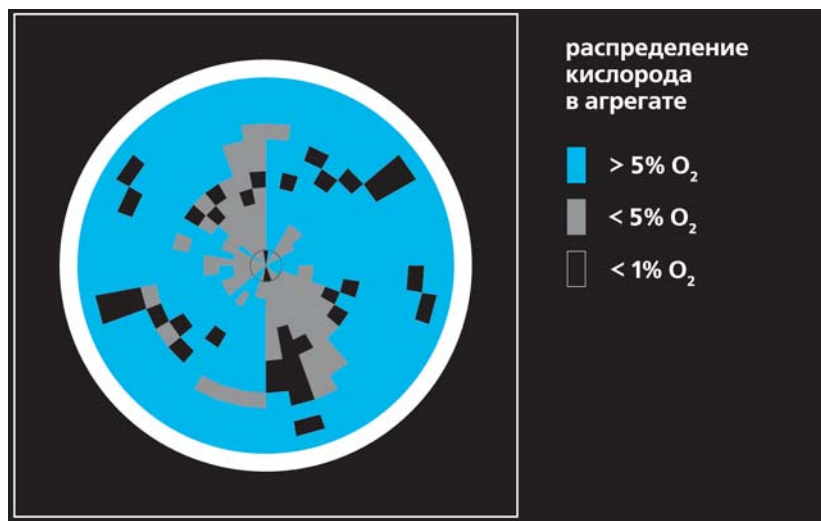


Рис.7. Модель распределения аэробных и анаэробных микрзон в почвенном агрегате диаметром 2 мм.

0.25 мм, в то время как агрономически ценными считаются агрегаты диаметром 1–3 мм. Наши исследования показали [14], что денитрификация в этой почве проходит преимущественно до закиси азота, а внесение азотных удобрений лишь увеличивает общую активность процесса, при этом соотношение газообразных продуктов остается постоянным.

* * *

Итак, интенсивность образования и поглощения закиси азо-

та в разных типах почв европейской части России свидетельствует, что атмосферный поток N_2O из почв возрастает из-за нарушения в почвах динамического равновесия между образованием и поглощением N_2O в результате антропогенного воздействия: применения минеральных удобрений и средств защиты растений (гербицидов); деградации почв вследствие аккумуляции различных экотоксикантов (например, тяжелых металлов). Повышенный выброс веселящего газа связан также

с разрушением структуры почвенных агрегатов из-за ветровой и водной эрозии; с выпадением кислотных осадков и с другими факторами. Все это необходимо учитывать при экологической оценке различных технологий использования почв и выработки стратегии по сокращению выбросов парниковых газов. Она обязательно должна ориентироваться на поддержание и повышение естественного (биологического) потенциала стока парниковых газов в почвах. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 08-04-01233-а.

Литература

1. Современные глобальные изменения природной среды / Под ред. Н.С.Касимова и Р.К.Клиге. Т.1. М., 2006. С.46–47.
2. Conrad R. // Microbiological Reviews. 1996. V.60. №4. P.609–640.
3. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2001: The Scientific Basis / Eds J.T.Houghton et al. Cambridge, 2001.
4. Davidson E.A. // NATO ASI Series. 1994. V.123. P.155–168.
5. Hutchinson G.L., Davidson E.A. // J. Geophys. Res. 1993. V.93. P.9889–9896.
6. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почвах. М., 2007.
7. Якунин А.С. Регуляция и свойства нитрогеназной системы *Rhodobacter capsulatus* / Автореф. дис. ... канд. биол. наук. 1986.
8. Степанов А.Л. Микробное образование и поглощение парниковых газов в почвах. М., 2009.
9. Степанов А.Л., Судницын И.И., Умаров М.М., Галиманге Б. // Почвоведение. 1996. №11. С.1337–1340.
10. Степанов А.Л., Манучарова Н.А., Полянская Л.М. // Почвоведение. 1997. №8. С.973–976.
11. Манучарова Н.А., Степанов А.Л., Умаров М.М. // Почвоведение. 2001. №10. С.1261–1267.
12. Ogden J.T., Moore P.K. // TIBTECH. 1995. V.13. P.70–78.
13. Степанов А.Л., Манучарова Н.А. Образование и поглощение парниковых газов в почвенных агрегатах. М., 2006.
14. Манучарова Н.А., Сазонов С.Н., Садовская Э.Н. и др. // Почвоведение. 2002. №5. С.532–536.
15. Bouwman A.F. Soils and the Greenhouse Effect. Proceedings of the International Conference Organized by International Soil Reference and Information Center (ISRIC). 1990.
16. Чернов И.Ю. Методические рекомендации к комплексу таблиц по общей биологии. М., 2005.

История одного метода

А.Б.Четверин, Е.В.Четверина

Речь пойдет о методе молекулярных колоний. Его история началась с исследований одного фермента — Q β -репликазы. Ее называют РНК-зависимой РНК-полимеразой, и содержит ее бактериофаг Q β , заражающий кишечную палочку *Escherichia coli*. Этот уникальный фермент способен с рекордной скоростью размножать РНК *in vitro*, производя до 10¹⁰ ее копий за 10 мин [1, 2]. Подобно полимеразной цепной реакции (ПЦР), синтез РНК Q β -репликазой происходит экспоненциально. До тех пор пока фермент остается в молярном избытке над РНК, количество молекул РНК (M) нарастает в соответствии с формулой $M = 2^n$, где n — число осуществленных циклов. Важно, что дуплекс между матрицей и комплементарной ей растущей цепью не образуется. Поэтому, в отличие от ПЦР, где реакционную среду необходимо периодически нагревать для расплавления двутяжного продукта, Q β -репликазная реакция протекает при постоянной температуре, и очередной цикл репликации наступает сразу же по завершении предыдущего.

Q β -репликаза — относительно простой фермент. Это комплекс из четырех субъединиц: полипептида, который кодируется вирусным геномом, и трех белков *E.coli* — рибосомного белка S1 и факторов элонгации*

* Это белки, необходимые для удлинения синтезируемой на рибосоме полипептидной цепи белка.

© Четверин А.Б., Четверина Е.В., 2010



Александр Борисович Четверин, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, заведующий лабораторией Института белка РАН.



Елена Владимировна Четверина, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник той же лаборатории.

Научные интересы авторов связаны с созданием генетических векторов, клонированием генетического материала, изучением механизма рекомбинации РНК, сверхчувствительной диагностикой вирусных и онкологических заболеваний.

EF-Tu и EF-Ts (обычно они заняты в трансляции, т.е. считывании мРНК на рибосоме). В репликации геномной РНК самого фага Q β участвует еще один белок зараженной им клетки — регуляторный РНК-связывающий белок Hfq (прежнее название — хозяйский фактор, HF). Однако, несмотря на простоту устройства и на более чем 40-летнюю историю исследований, Q β -репликаза таит в себе массу загадок.

Неясно, например, что делают в ферменте факторы элонгации полипептидной цепи. Почему репликаза проводит до 90% репликационного цикла на стадии терминации, как и зачем

денилируется 3'-конец каждой новосинтезированной цепи? Как удастся предотвратить образование дуплекса между матрицей и растущей цепью РНК? Ведь белки, одевающие однотяжные РНК по всей длине, отсутствуют, нет также и хеликаз, которые расплетали бы двойную спираль, если она все же образовалась. Как удастся обеспечить высокую матричную избирательность в отсутствие специфических праймеров и промоторов? Кроме всего этого выяснилось, что Q β -репликаза с высокой частотой осуществляет обмен участками (рекомбинацию) между молекулами РНК.

Как она это делает, тоже неизвестно. На большинство этих вопросов нет ответа и до настоящего времени.

Но, пожалуй, самой загадочной долго оставалась способность РНК без добавленной матрицы. Достаточно к очищенному ферменту добавить все четыре рибонуклеозид-5'-трифосфата (рНТФ), чтобы примерно за час в реакционной смеси образовалось множество разнообразных РНК длиной от нескольких десятков до нескольких сотен нуклеотидов [2]. Это представлялось тем удивительнее, что фаговой репликазой не удавалось размножить не только какие-либо клеточные РНК, но даже РНК близкородственных фагов. В 1975 г. сотрудники М.Эйгена (лауреата Нобелевской премии по химии) М.Зумпер и Р.Луце очистили Q β -репликазу до состояния, когда добавление всего пяти молекул матриц вызывало стимуляцию синтеза РНК над спонтанным уровнем. Следовательно, и в препарате фермента могло содержаться не более нескольких молекул матрицы. Эксперименты этих авторов послужили основанием для концепции самозарождения (синтеза *de novo*) размножающихся РНК [3]. Происходит это якобы за счет беспорядочной конденсации нуклеотидов и последующего превращения РНК в эффективно размножающиеся молекулы [4]. Благодаря авторитету исследователей данная концепция доминировала вплоть до 1991 г., когда с помощью изобретенного нами метода молекулярных колоний удалось выяснить истинный источник спонтанного синтеза [5].

Уроки Пастера и Коха

Сами авторы концепции самозарождения реплицирующихся РНК придавали ей исключительно важное значение. Они рассматривали спонтанный синтез РНК Q β -репликазой как

основополагающую экспериментальную модель возникновения генетической информации путем эволюции на молекулярном уровне [6]. Авторы гипотезы опубликовали на эту тему десятки работ, обильно снабдив их математическими выкладками. Поскольку синтез *de novo* имеет прямое отношение к проблеме скорости эволюции молекул, гипотеза проверялась разными исследователями в экспериментах. В результате выяснилось, что случайное возникновение РНК, которую размножала бы Q β -репликаза, — событие исключительно маловероятное. Что касается скорости эволюции в пробирке, то она должна быть буквально космической, чтобы за время спонтанной реакции (20—40 мин) при продолжительности одного цикла репликации 20—30 с возникли и размножились до макроскопических количеств (>1 мкг) очень эффективные матрицы.

Примечательно, что в той или иной форме тема самозарождения возникает вновь и вновь. Почти полтора столетия назад концепция самозарождения микроорганизмов в мясном бульоне была развенчана Л.Пастером: никакая жизнь в бульоне не возникнет, если в него не попадут зародыши из воздуха (слова «микроорганизмы» тогда еще не было). Казалось бы, после такого урока, прежде чем провозгласить что-либо самозарождению, исследователь должен исключить все иные возможности. Удивительно, но урок Пастера был забыт (причем не только авторами концепции синтеза *de novo*, но и другими учеными, работавшими с Q β -репликазой). А ведь существовало много фактов, указывающих на загрязнение образцов как причину спонтанного синтеза РНК. Прежде всего это поразительное сходство РНК, синтезированных в разных спонтанных реакциях и в разных лабораториях. Уж если бактерии переносятся по воздуху, то что говорить о гораздо более мелких молекулах РНК?

Однако для проверки такой возможности подход, примененный Пастером, не годился: реакционную смесь нельзя прокипятить или иным образом простерилизовать, так как это неминуемо привело бы к инактивации Q β -репликазы.

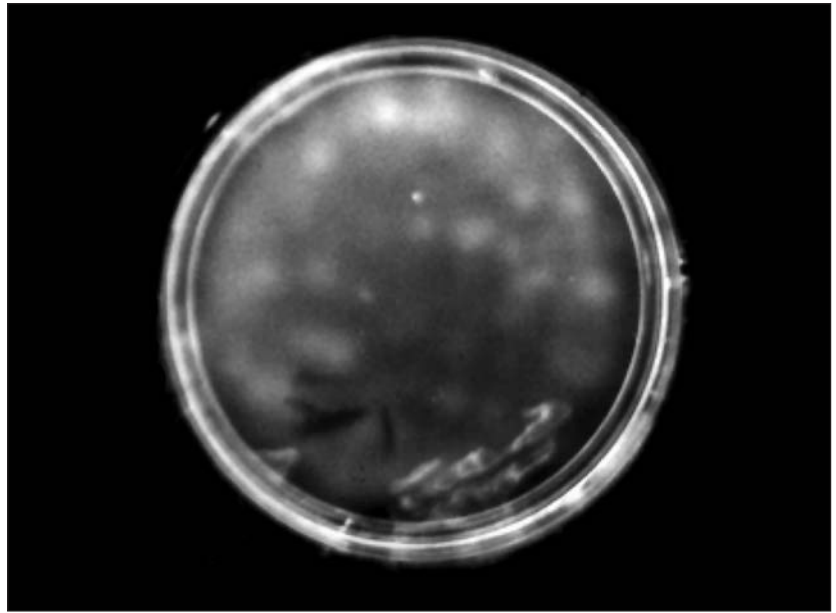
Зато пригодился опыт современника Пастера, Р.Коха, которому удалось впервые обнаружить и выделить возбудителей туберкулеза (палочку Коха) и ряда других инфекций, высевая исследуемый материал на твердую питательную среду. Бактерии, содержащиеся в образце, образовывали колонии, каждая была потомством единственной бактериальной клетки (клоном). Метод Коха позволял прямо определять количество (титр) бактерий в пробе — по числу выросших колоний. Учитывая это, мы разработали метод *молекулярных* колоний (ММК) — размножали нуклеиновые кислоты в твердой гидратированной среде. В отличие от бактерий, они размножаются не на поверхности, а внутри (в жидкой фазе) геля, содержащего подходящую полимеразу и нуклеозидтрифосфаты. В геле среда не перемешивается, поэтому продукты полимеризации не распространяются по всему объему. Они остаются там, где были синтезированы, образуя колонии молекул — копий (клонов) исходных матриц.

Первый эксперимент по выращиванию колоний РНК мы провели в апреле 1988 г. Расплавленную легкоплавкую агарозу, охлажденную до $\approx 40^\circ\text{C}$, быстро смешали с Q β -репликазой, нуклеозидтрифосфатами и буфером и вылили в чашку Петри. После застывания агарозы (на льду) чашку выдержали в течение часа при 37°C , покрасили агарозу бромистым этидием и осмотрели под возбуждающим флуоресценцию красителя ультрафиолетовым светом. Как и ожидалось, инкубация привела к появлению в агарозе РНК, образующей с бромистым этидием интенсивно флуоресцирующий комплекс. Однако наряду с не-

сколькими десятками ярко окрашенных пятен (колоний РНК) были слабоокрашенные и вовсе не окрашенные участки геля. Это противоречило сообщению Зумпера и Луце, наблюдавших спонтанный синтез РНК в каждой мельчайшей доле реакционного объема и сделавших вывод, что любая сколь угодно малая порция репликазы способна синтезировать РНК *de novo* в пределах часа. Если так, то в нашем случае вся агароза должна бы окраситься более или менее равномерно. Но результат эксперимента был иной и позволял предположить, что колонии РНК образованы ограниченным числом реплицирующихся молекул, попавших в агарозу еще до начала реакции.

Чтобы выяснить источник этих молекул, эксперимент несколько усложнили. Использовали два слоя агарозы: нижний содержал нуклеозидтрифосфаты, а верхний — Q β -репликазу. Благодаря этому начало реакции размножения контролировалось диффузией субстратов в ферментный слой, а размножение РНК происходило на границе между слоями. Перед заливкой ферментного слоя чашки выдерживали в течение часа, причем некоторые закрывали крышками, а другие — нет. Во всех открытых чашках число колоний РНК и общая интенсивность флуоресценции оказались значительно выше, чем в закрытых [5]. Меньше всего колоний выросло в эксперименте, который проводили в помещении, где ранее с реплицирующимися РНК не работали [7].

Так подтвердилось, что молекулы реплицирующихся РНК «летают» в лабораторном воздухе и могут заражать реакционную смесь, создавая впечатлительное спонтанное синтеза. Все встало на свои места: не понадобилась невероятно высокая скорость эволюции молекул; рационально объяснялся ряд мистических свойств спонтанного синтеза (например, почти полная идентичность РНК, возникших в разных спонтанных реак-



Колонии РНК, спонтанно выросшие в 2% агарозе в присутствии Q β -репликазы, четырех рибонуклеозидтрифосфатов и буфера. Это результат первого эксперимента по выращиванию колоний РНК. На снимке заметно много колоний РНК (в виде светлых пятен), а также слабоокрашенные и совсем не окрашенные зоны. Если бы репликаза синтезировала РНК *de novo*, все поле окрасилось бы более или менее равномерно. По результатам эксперимента можно предположить, что колонии РНК образованы молекулами, которые попали в агарозу еще до начала реакции и реплицировались.

циях). Наконец, выстояла центральная догма молекулярной биологии, так как больше не надо было постулировать «создание генетической информации белковым ферментом [8]».

На что способен ММК

Рекомбинация РНК. Оказалось, что молекулярные колонии годятся не только для опровержения гипотезы самозарождения. С их помощью можно изучать крайне редкие события — рекомбинацию РНК (обмен участками между ее молекулами). После открытия генетической рекомбинации ДНК стали появляться указания на аналогичный процесс и на уровне РНК. Впервые об этом заявили в начале 1960-х годов Г.Херст и Н.Лединко, которые изучали обмен генетическими маркерами между родственными штаммами РНК-содержащего вируса полиомие-

лита. Позже в лаборатории В.И.Агола показали, что рекомбинация у полиовируса приводит к образованию химерного белка, т.е. действительно связана с перестройкой первичной структуры матричной РНК [9]. Наконец, образование рекомбинантной вирусной РНК было установлено непосредственно — по нуклеотидной последовательности [10]. Но поскольку эксперименты проводились с использованием целых или не полностью разрушенных клеток, не была исключена возможность обратной транскрипции. Следовательно, всегда существовала вероятность, что рекомбинация происходит не между молекулами РНК, а между их ДНК-копиями, и уже транскрипция последних приводит к возникновению рекомбинантных РНК.

Методом молекулярных колоний удалось исследовать реакции между молекулами РНК в чистой системе. В ней не было

ни ДНК, ни дезоксирибонуклеозидтрифосфатов, ни обратной транскриптазы, ни ферментов, ответственных за рекомбинацию ДНК. Следовательно, исключалась возможность образования рекомбинантных РНК через ДНК-копии. Выбрав подходящие субстраты рекомбинации, мы обеспечили позитивную селекцию рекомбинантных молекул, за возникновением которых следили по образованию колоний РНК. Их число и отражало частоту рекомбинаций. Опустим подробности экспериментов (они опубликованы в наших работах), скажем лишь, что рекомбинантные РНК действительно образуются. В дальнейшем удалось выяснить, что фрагменты РНК могут рекомбинировать (при наличии двухвалентных катионов, например Mg^{2+}) без Q β -репликазы и нуклеозидтрифосфатов, образуя реплицирующиеся молекулы. Однако такая «спонтанная» рекомбинация происходит на несколько порядков медленнее, чем в присутствии репликазы, причем может протекать и внутримолекулярно, приводя к делециям (выпадениям) внутренних участков РНК [11]. Важно, что места рекомбинаций случайным образом распределены по нуклеотидной последовательности. Отсюда следует, что за рекомбинацию не отвечают не только белки, но и какие-либо рибозимоподобные структуры. Иными словами, способность к рекомбинациям — это неотъемлемое свойство полирибонуклеотидов.

На первый взгляд скорость спонтанной рекомбинации ($\approx 10^{-9}$ ч $^{-1}$ на межнуклеотидную связь при 37°C) чрезвычайно мала. Без помощи ММК продукты этой реакции практически невозможно зарегистрировать, особенно на фоне огромного избытка не подвергшихся рекомбинации фрагментов. Тем не менее спонтанные перестройки молекул РНК могут играть важную роль в эволюции как РНК-, так и ДНК-геномов. Спонтанная рекомбинация даже при столь

малой скорости должна приводить к появлению новой рекомбинантной РНК в одной эукариотической клетке каждую минуту. Это означает, например, что за всю жизнь в организме человека произойдет до 10^{20} таких событий [11]. И, в конце концов, даже очень небольшая доля образовавшихся рекомбинантных последовательностей может привести к значительному изменению человеческого генома. Следовательно, спонтанные рекомбинации должны рассматриваться среди важных факторов, влияющих на изменчивость генома и вероятность онкогенной трансформации [12]. Рекомбинации между молекулами РНК и внутри них хотя и редкие, но биологически значимые события. Они создают основу для эволюции и разнообразия РНК-содержащих вирусов, к которым относится большинство известных патогенов.

С помощью ММК мы изучали также влияние вирусных РНК-зависимых РНК-полимераз на рекомбинацию РНК [13]. Как выяснилось, ферменты у разных вирусов осуществляют этот процесс за счет различных механизмов.

Итак, способность обнаруживать и подсчитывать молекулы нуклеиновых кислот делает ММК уникальным инструментом научных исследований, позволяющим изучать химические реакции между одиночными молекулами.

Молекулярная диагностика. Обнаружение реплицирующихся РНК в воздухе стало фактически первым применением ММК для диагностики. Этот метод позволял обнаруживать «инфекционные» молекулы и определять их число. Однако Q β -репликазная версия ММК оказалась малоприменимой в качестве диагностического инструмента [14]. Причины в том, что Q β -репликаза предъявляет к своим матрицам слишком жесткие структурные требования, а молекулы РНК способны, как говорилось, перестраиваться, осо-

бенно в присутствии этого фермента. Последнее приводит к образованию многочисленных колоний РНК независимо от того, есть ли в образце анализируемая мишень.

Более перспективными оказались другие способы размножения нуклеиновых кислот (и ДНК, и РНК), особенно ПЦР, если ее осуществлять в полиакриламидном геле [15]. Правда, чтобы детектировать РНК, ее нужно сначала перевести в форму кДНК с помощью обратных транскриптаз.

Когда колонии выросли, необходимо выявить специфические продукты размножения анализируемой мишени среди других, неспецифических, колоний.

Мы разработали несколько способов идентификации колоний [5, 7, 16], в том числе с использованием флуоресцентных гомогенных систем детекции [17, 18]. Диагностика с их помощью значительно ускоряет и упрощает анализ, многократно снижает риск взаимного загрязнения образцов. Выращивание колоний в геле можно уподобить одновременному осуществлению множества реакций в реальном времени, причем каждая из них стартует с единственной молекулы мишени.

По ряду параметров ММК-диагностика превосходит методы, основанные на размножении нуклеиновых кислот в растворе. Благодаря обнаружению молекул в виде колоний, которые можно подсчитать, ММК делает анализ цифровым. За счет того, что размножаемые молекулы пространственно разобщены, удается одновременно определять несколько мишеней. Как установлено в экспериментах, этому не мешает даже весьма сильное количественное преобладание одной мишени над другой. Одна молекула ДНК или две молекулы РНК надежно обнаруживаются в 100 мкл цельной крови человека при том, что в ней в триллион раз больше общее количество нуклеиновых кислот [14, 19]. Для сравнения:

нижний предел обнаружения в биологических образцах ДНК-мишеней методом жидкостной ПЦР в реальном времени составляет около 500 молекул [20].

Внеклеточное клонирование генов. Как упоминалось, каждая молекулярная колония — это клон, генетически однородное потомство единственной родительской молекулы. Нам удалось клонировать в колониях полноразмерные гены, точнее, белок-кодирующие последовательности ДНК со всеми элементами, необходимыми для транскрипции и трансляции. Ген в колонии работал (экспрессировался), синтезировался кодируемый им белок, и по его функции можно было отбирать нужные клоны [21]. Иными словами, удалось осуществить истинно молекулярное клонирование. (Традиционное клонирование генов, хотя подчас и называют молекулярным, по существу — это клонирование не молекул, а клеток или размножаемых в них вирусов.) Заметим, синтезируются функционально активные (следовательно, правильно свернутые) полипептиды. В среднем в колонии образуется около 10^9 молекул белка, и такого количества достаточно, чтобы обнаружить его *in situ* — например, по связыванию с антителами или лигандами, а также по ферментативной активности.

Подобрав оптимальную плотность геля, мы получили молекулярные колонии (их число совпадало, в пределах статистического разброса, с числом посеянных молекул ДНК), содержащие до 10^8 копий гена. Таким образом, ПЦР-версия ММК дает возможность клонировать и тестировать до 100% элементов генетической библиотеки против 0.0001–0.01%, получаемых при клонировании в клетках. Столь малый выход последнего клонирования обусловлен низкой эффективностью лигирования вставки в клонирующий вектор и трансформации клеток [22]. Мы клонировали кДНК (длиной до 2 тыс. пар нук-

леотидов) даже из природного биологического материала. Многочисленные клоны при этом можно было выделять без предварительного разделения, из порции суммарной РНК, содержащейся в одной клетке. Традиционными способами это недостижимо.

Полученные генетические клоны были экспрессированы *in situ* и получены по крайней мере по 10 копий РНК (длиной до 1700 нуклеотидов) на каждую копию ДНК [21]. Этот вариант метода позволяет осуществлять клонирование и прямую селекцию молекул РНК, таких как рибозимы и аптамеры*.

Клонирование и экспрессия генов в молекулярных колониях обладает рядом преимуществ по сравнению с клонированием *in vivo* (в клетках *E.coli*, например). Во-первых, клонированные гены не подвергаются естественному отбору, не мешает и наличие неприродных нуклеотидов и аминокислот. Во-вторых, возможна прямая сортировка генов по свойствам их продуктов, так как нет клеточных стенок и мембран. В-третьих, условия анализа клонов можно легко изменить, если потребуется (например, при несовпадении с условиями трансляции). В-четвертых, молекулярная колония представляет собой чистую ДНК, которая непосредственно пригодна для генетических манипуляций — без стадии выделения. Наконец, поскольку каждый ген находится в той же колонии, что и его продукт, метод может служить молекулярным дисплеем («проявителем») — для выявления белка по его функции. В ММК для «привязки» к гену его белка не требуется ни «сливать» его с другим, ни модифицировать (а эти операции могут повлиять на структуру и функцию искомого белка).

* Это небольшие молекулы нуклеиновых кислот, подобно антителам узнающие определенные структуры. Олигонуклеотидные аптамеры с требуемой специфичностью выделяют из библиотек случайных последовательностей.

Из всего перечня следует, что клонирование в молекулярных колониях может делать все, что может традиционное клонирование в живых клетках, и много больше.

Помимо ПЦР-версии ММК, изобретенной нами в 1992 г., был разработан целый ряд способов клонирования ДНК, основанных на сильном разбавлении матриц и последующей жидкостной ПЦР. По-видимому, впервые такой подход осуществлен у нас в стране, в лаборатории С.А.Лукьянова [23]. Аналогичный метод, названный «цифровой ПЦР» (digital PCR), опубликован американскими исследователями тремя годами позже, к сожалению, без ссылки на российскую работу [24]. Принцип цифровой ПЦР использован и другими специалистами: смеси ДНК сортируют на микрогранулах [25] и в эмульсионных каплях [26, 27]. Хотя каждый из этих методов приводит к выделению клонов, чистота полученных препаратов не гарантируется. Она должна быть достигнута независимыми способами, например традиционным клонированием в клетках.

Различия в эффективности и надежности двух методов клонирования — путем разбавления и методом выращивания колоний — (клеточных или молекулярных) оказались не в пользу жидкостной ПЦР. Расчеты и экспериментальные данные убеждают, что второй метод по эффективности и точности намного превосходит первый. Сила ПЦР-ММК проявляется еще и в количественной оценке, а в медицине потребность в этом постоянно растет. Количественное определение важно для диагностики вирусных инфекций, наблюдений за ходом болезни, эффективности применяемых медикаментов. Особенно необходима количественная идентификация нуклеиновых кислот при диагностике рака.

Добавим: помимо ПЦР для клонирования генов в молекулярных колониях можно ис-

пользовать многие другие системы экспоненциального размножения.

Зарубежный метод полоний

ММК долго развивался исключительно усилиями нашей лаборатории. Ситуация изменилась, когда метод стали использовать в лаборатории Дж.Чёрча в Гарвардском университете. В 1999 г. под названием метод полоний (полимеразных колоний) Р.Митра и Дж.Чёрч опубликовали ПЦР-версию ММК [28], почти буквально воспроизводящую наш метод, изложенный в патентах [15, 29], заявки на которые были поданы еще в 1992 г. Американские исследователи ввели лишь одну несущественную модификацию — иммобилизовали на полиакриламидном матриксе с помощью акридитного метода [30] один из праймеров. Под именем полоний молекулярные колонии теперь используют в Гарвардском и других университетах США.

Мы, безусловно, рады тому, что наш метод успешно используют и развивают в других лабораториях. Однако вызывает недоумение и сожаление, что истинное авторство ММК замалчивается, а ссылки даются на работы Чёрча и сотрудников. Более того, в недавнем интервью Митра прямо заявил: «*It was Church's idea to amplify single molecules in acrylamide*»* [31], хотя для самого Чёрча (и, надо думать, для Митры) наше авторство, разумеется, не тайна. Так, в своем письме от 16 июня 2002 г. одному из авторов данной статьи (А.Ч.) Чёрч писал: «*I am writing this letter to introduce our labs to each other as we have potentially important shared interests. I admire your pioneering work in Qβ and more recently MCT DNA colonies. As you may know, we have a relevant paper. Although the method has not attracted many practitioners yet, we think that could change with 3 papers that we are preparing to submit soon on*

* Идея размножить одиночные молекулы в [поли]акриламиде принадлежала Чёрчу.

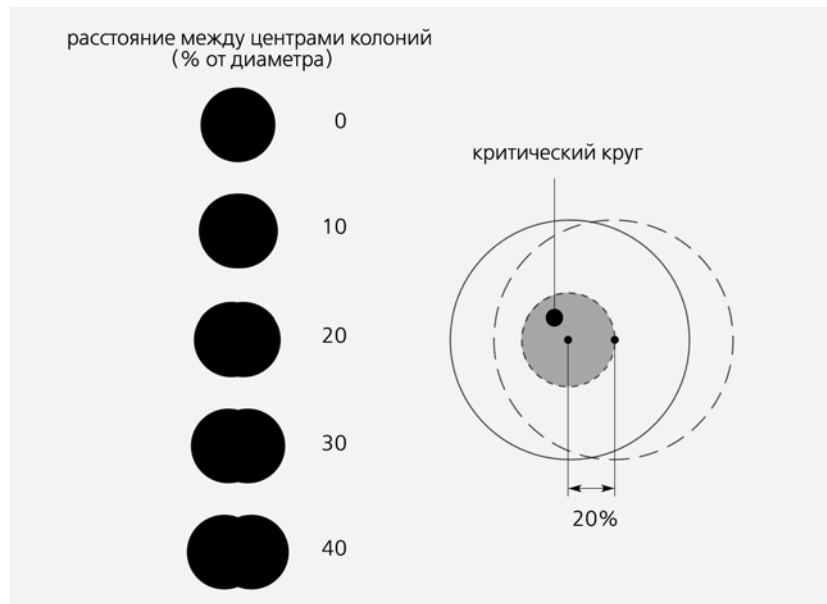
various applications of the technology». На это же указывает и то, что фирма Agencourt (США), консультируемая Чёрчем, приобрела у Института белка РАН лицензию на использование нашего патента на ММК [15].

Молекулярные колонии — доклеточная форма жизни?

Как мы отмечали, нет каких-либо доказательств, что скорость эволюции РНК может быть столь высокой, чтобы обеспечить возникновение реплицирующихся РНК в пределах нескольких часов. Однако вполне вероятно, что такие РНК и их репликазы могли возникнуть на Земле или другой планете за значительно большее время, дав начало миру РНК. Маловероятно, что когда-нибудь удастся однозначно ответить на вопрос, как произошла жизнь. Однако, опираясь на экспериментально установленные факты, можно попытаться сформулировать правдоподобную и логически непротиворечивую гипотезу.

Если придерживаться аксиомы, что жизнь произошла естественным путем, то неизбежен вопрос, как осуществлялась эволюция до появления первой клетки. Вопрос весьма важный, поскольку даже самая примитивная клетка, какую можно вообразить, слишком сложна, чтобы допустить ее возникновение как одномоментный и случайный процесс. Напрашивается вывод, что эволюция не могла происходить в «первичном бульоне», в котором растворены отдельные молекулы. Чтобы естествен-

** Я пишу это письмо с целью познакомиться между собой наши лаборатории, так как у нас есть потенциально важные общие интересы. Я восхищен Вашей пионерной работой по Qβ, а затем по ММК ДНК-колониам. Как Вы, вероятно, знаете, у нас есть работа на эту тему [28]. Хотя пока данный метод еще не привлек много практиков, мы думаем, что ситуация изменится с публикацией трех статей по разным приложениям этой технологии, которые мы готовим для скорого представления [в печать].



Схематичное изображение перекрывающихся колоний. Двойную колонию можно ошибочно принять за одинарную, если центр второй колонии окажется в пределах «критического» круга внутри первой, а его диаметр составит 40% от диаметра колонии. Если же центры колоний удалены на $\geq 20\%$ их диаметра, двойная колония не будет круглой и ее можно отбраковать.

ный отбор начал действовать, необходима определенная сегрегация (различие в свойствах) молекул и их компартиментализация (изолированность друг от друга, распределение по «отсекам», компартаментам) [32–34].

Компартиментализация прежде всего необходима, чтобы ген и его продукт были связаны, так как отбор происходит по свойствам продукта, а наследуется ген [33]. Фактически здесь заложена суть того, что сейчас называется генетическим дисплеем. Даже если четкое разделение на ген и продукт отсутствует (пример — рибозим, совмещающий ген и его функцию), одной молекулы недостаточно. Для рибозима-репликазы, который плавает в растворе нуклеозидтрифосфатов и занимается лишь саморазмножением, нужны как минимум три молекулы РНК: одна в качестве матрицы (гена); другая, комплементарная ей, для считывания новых копий рибозима и третья — как продукт гена (репликаза).

Необходимость в сегрегации тоже кажется очевидной. При одинаковости молекул, содержащихся в бульоне, отбор невозможен, они все и будут размножаться. Более того, как отмечал Дж.Шостак [34], если возникнет мутантная репликаза с улучшенной каталитической активностью или точностью, она станет лучше воспроизводить другие (худшие) репликазы, но не себя. Если же ее будет копировать другая репликаза, дочерние молекулы матрицы «разбегутся» по бульону и концентрирование удачного варианта станет невозможным. Таким образом, общий бульон (как любая коммуна) все нивелирует и не создает никаких преимуществ для изредка возникающих молекул, обладающих улучшенными свойствами.

Еще А.И.Опарин отмечал, что компартиментализация обеспечивает относительно высокую локальную концентрацию макромолекул [35]. А их концентрирование, помимо прочего, спо-

собствует образованию функциональных комплексов, даже при низком средстве молекул друг к другу.

По Опарину, компартиментализация на ранних этапах эволюции обеспечивалась образованием коацерватов (микрокапель конденсированного коллоида) из разнозаряженных полипептидов и полисахаридов. Однако по современным представлениям, те и другие полимеры возникли много позже РНК. Если же предположить, что молекулы РНК были окружены липидной мембраной, возникает другая проблема. Мембрана, обеспечивая компартиментализацию макромолекул, в то же время создает непреодолимое препятствие для обмена компартамента с окружающей средой. Становятся невозможными поступление внутрь низкомолекулярных субстратов и вывод наружу продуктов метаболизма, а также горизонтальный перенос генетической информации — необходимый фактор эволюции на популяционном уровне [36]. Чтобы транспортировать через липидные мембраны гидрофильные молекулы, необходимы специфические поры, молекулярные насосы или иные механизмы, которые могли возникнуть только на относительно поздних стадиях эволюции.

Шостак первый указал, что молекулярные колонии, аналогичные тем, что образуются при размножении РНК в агарозе, содержащей Q β -репликазу, могли бы быть доклеточной формой компартиментализации в мире РНК [34]. В этом случае компартиментализация обеспечивается не оболочкой, а относительно малой скоростью диффузии макромолекул в пористом матриксе по сравнению с низкомолекулярными веществами. По Шостаку, колонии РНК могли формироваться во влажной глине и в иных пористых минералах. Эта идея была затем развита в работах А.С.Спирина [32, 37, 38], предположившего, что первыми «особями» в мире

РНК могли быть смешанные колонии, содержащие три вида макромолекул:

— молекулы РНК для селективной адсорбции и аккумуляции нужных веществ из окружающей среды;

— набор рибозимов, катализирующих метаболические реакции для синтеза нуклеотидов;

— рибозим, катализирующий комплементарную репликацию всех молекул РНК колонии.

Следствием компартиментализации ансамблей РНК в форме колоний было бы возникновение механизма естественного отбора: колонии-особи с лучшими активностями их РНК и лучшей взаимодополняемостью активностей могли расти быстрее, становиться больше и тем самым перерастать другие колонии с худшими характеристиками. Более того, в отсутствие оболочек колонии могли легко обмениваться генетическим материалом, т.е. осуществлять необходимый для быстрой эволюции горизонтальный перенос генов внутри популяции. Обмен молекулами РНК мог, в частности, осуществляться по воздуху.

Кроме того, как отмечал Спирин, важную роль в формировании и развитии мира РНК могла играть спонтанная рекомбинация РНК (добавим: способность к саморекомбинации — это дополнительный аргумент в пользу первичности РНК, а не ДНК). В частности, спонтанные перестройки полирибонуклеотидных последовательностей могли быть основным механизмом, производящим разные варианты молекул, необходимые естественному отбору.

Напомним, в наших молекулярных колониях синтезировался белок [21]. Это указывает на то, что колонии РНК могли сформировать трансляционный аппарат. Следовательно, становился возможным отбор по функции белков еще до того, как появилась окружающая колонии липидная мембрана. Иными словами, колонии нуклеиновых кислот обладают всеми основными свойствами

ми, которые были необходимы доклеточным организмам.

Молекулярные колонии мы впервые предложили как средство для выяснения причины

спонтанного синтеза РНК. Затем они были с успехом использованы для решения многих фундаментальных и прикладных задач [39]. Нельзя исклю-

чить также, что именно молекулярные колонии были «изобретены» природой и первыми «населили» Землю задолго до их изобретения человеком. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Программ фундаментальных исследований Президиума РАН «Молекулярная и клеточная биология» и «Происхождение и эволюция биосферы».

Литература

1. Четверин А.Б. // Успехи биол. химии. 1998. Т.38. С.3—75.
2. Chetverin A.B., Spirin A.S. // Prog. Nucleic Acid Res. Mol. Biol. 1995. V.51. P.225—270.
3. Sumper M., Luce R. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1975. V.72. P.162—166.
4. Biebricher C.K., Eigen M., Luce R. // Nature. 1986. V.321. P.89—91.
5. Chetverin A.B., Chetverina H.V., Munishkin A.V. // J. Mol. Biol. 1991. V.222. P.3—9.
6. Biebricher C.K., Eigen M., McCaskil J.S. // J. Mol. Biol. 1993. V.231. P.175—179.
7. Chetverina H.V., Chetverin A.B. // Nucleic Acids Res. 1993. V.21. P.2349—2353.
8. McCaskill J.S., Bauer G.J. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1993. V.90. P.4191—4195.
9. Romanova L.I., Tolskaya E.A., Kolesnikova M.S., Agol V.I. // FEBS Lett. 1980. V.118. P.109—112.
10. King A.M.Q., McCabon D., Slade W.R., Newman J.W.I. // Cell. 1982. V.29. P.921—928.
11. Chetverina H.V., Demidenko A.A., Ugarov V.I., Chetverin A.B. // FEBS Lett. 1999. V.450. P.89—94.
12. Chetverin A.B. // FEBS Lett. 2004. V.567. P.35—41.
13. Chetverin, A.B., Kopein, D.S., Chetverina, H.V. et al. // J. Biol. Chem. 2005. V.280. P.8748—8755.
14. Chetverina H.V., Samatov T.R., Ugarov V.I., Chetverin A.B. // BioTechniques. 2002. V.33. P.150—156.
15. Chetverin A.B., Chetverina H.V. Method for Amplification of Nucleic Acids in Solid Media. U.S. 1997. Patent 5,616,478.
16. Четверин А.Б., Четверина Е.В. // Молекуляр. биология. 2002. Т.36. С.320—327.
17. Четверина Е.В., Кравченко А.В., Фалалева М.В., Четверин А.Б. // Биооргани. химия. 2007. Т.33. С.456—463.
18. Четверин А.Б., Саматов Т.Р., Четверина Е.В. Бесконтактные способы обнаружения молекулярных колоний, наборы реагентов и устройство для их осуществления. 2006. Заявка на патент РФ №2006109271.
19. Chetverina H.V., Falaleeva M.V., Chetverin, A.B. // Analyt. Biochem. 2004. V.334. P.376—381.
20. LeDuc J.W., Damon I., Meegan J.M. et al. // Smallpox Research Activities: U.S. Interagency Collaboration. 2002; Emerg. Infect. Dis. 2001. V.8. P.743—745.
21. Samatov T.R., Chetverina H.V., Chetverin A.B. // Nucleic Acids Res. 2005. V.33. P.145.
22. Roberts R.W., Ja W.W. // Curr. Opin. Struct. Biol. 1999. V.9. P.521—529.
23. Lukyanov K.A., Matz M.V., Bogdanova E.A. et al. // Nucleic Acids Res. 1996. V.24. P.2194—2195.
24. Vogelstein B., Kinzler K.W. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1999. V.96. P.9236—9241.
25. Brenner S., Williams S.R., Vermaas E.H. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2000. V.97. P.1665—1670.
26. Sepp A., Tawfik D.S., Griffiths A.D. // FEBS Lett. 2002. V.532. P.455—458.
27. Dressman D., Yan H., Traverso G. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2003. V.100. P.8817—8822.
28. Mitra R.D., Church G.M. // Nucleic Acids Res. 1999. V.27. P.34.
29. Четверин А.Б., Четверина Е.В. Способ размножения нуклеиновых кислот, способ их экспрессии и среда для их осуществления. 1995. Патент РФ №2048522.
30. Boles T.C., Kron S.J., Adams C.P. Nucleic Acid-Containing Polymerizable Complex. U.S. 1999. Patent 5,932,711.
31. Marx V. // Genomics & Proteomics (Reed Elsevier Inc.). 2004. March Issue.
32. Spirin A.S. // FEBS Lett. 2002. V.530. P.4—8.
33. Gilbert W., Souza S.J.de. Introns and the RNA world. // The RNA World. 2nd ed. Eds R.F.Gesteland, T.R.Cech, J.F.Atkins. N.Y., 1999. P.221—231.
34. Szostak J.W. Constrains on the Sizes of the Earliest Cells. Size Limits of Very Small Microorganisms. Proc. of a Workshop, Washington, 1999. P.120—125.
35. Опарин А.И. // Возникновение жизни на Земле. 2-е изд. М., 1941.
36. Woese C.R. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1998. V.95. P.6854—6859.
37. Спиринов А.С. // Молекуляр. биология. 2005. Т.39. С.550—556.
38. Спиринов А.С. // Палеонтологический журн. 2005. Т.39. №4. С.25—32.
39. Четверина Е.В., Четверин А.Б. // Успехи биол. химии. 2008. Т.48. С.3—64.

В Никольском на Валдае

Как начиналось российское рыбоводство

М.Г.Томилин,

доктор технических наук

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

В.А.Шевцова

Музей Никольского рыбзавода

Никольское... Населенные пункты с таким названием — не редкость на нашей карте. Но только одно из них, раскинувшееся на берегу огромного и живописного озера Вельё, известно далеко за пределами Новгородчины. Здесь, в Никольском, в 1854 г. возник первый в России рыбо-разводный завод, основанный владельцем имения Владимиром Павловичем Врасским. Находится завод в самом центре нынешнего Валдайского национального парка.

Жемчужина России

Этот национальный парк расположен почти на полпути между Москвой и Санкт-Петербургом. Территориально он находится в трех районах — Валдайском, Демянском и Окуловском. Протяженность с севера на юг — 150 км, с запада на восток — 60 км. Создание парка на этой территории обусловлено уникальной природой, благоприятными климатическими условиями и богатейшей историей. Этот край не затронуло развитие производств и влияние индустриализации. Он раскинулся на самой высокой части Валдайской возвышенности. Холмы и гряды высотой до 60 м чередуются с впадинами, долинами и небольшими равнина-

ми. Высшая точка — гора Рыжуха (296 м).

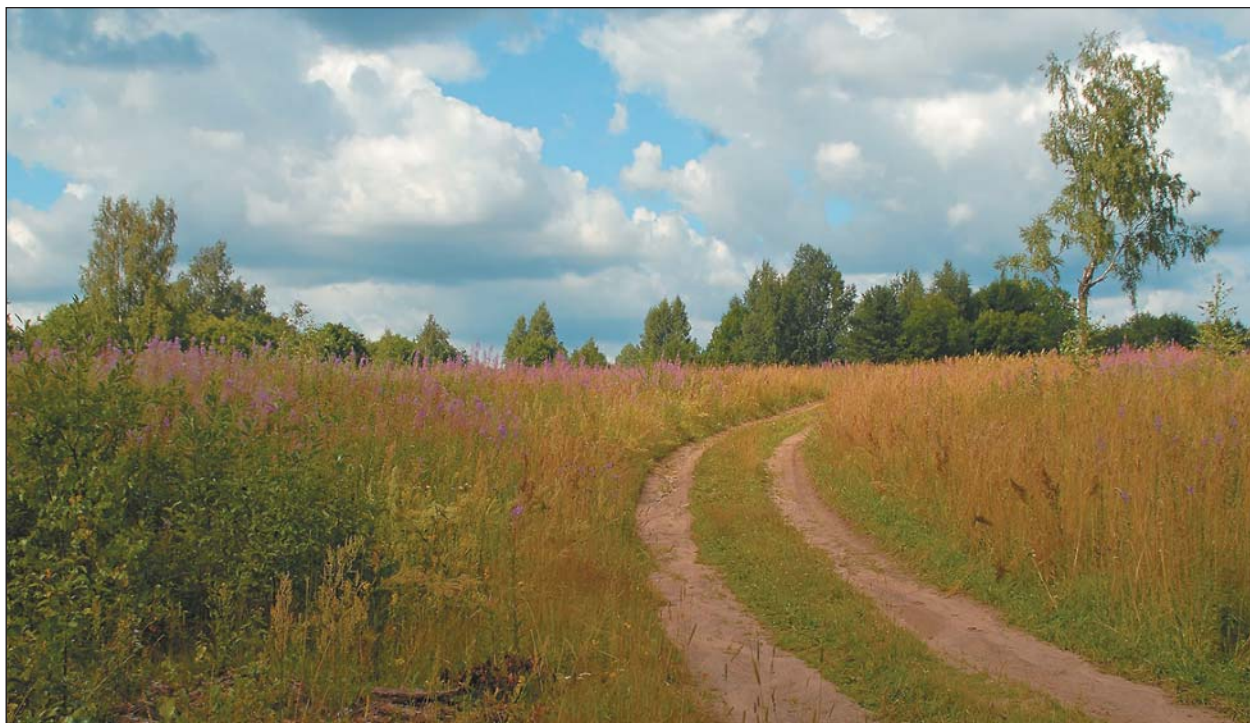
Уникальная озерно-речная система Валдайского национального парка состоит из более чем 100 озер. Здесь проходит водораздел Балтийского, Черного и Каспийского морей, берут начало реки бассейна Волги, Западной Двины, Днепра, озер Ильмень и Ладоги. Туристов сюда привлекают не только массивы лесов и родниковые озера, но и бесчисленные памятники древней культуры: неолитические стоянки и поселения раннего железного века, сопки и курганы славян.

Славяне появились на Валдайской возвышенности в VI—VIII вв. До наших дней сохранилось более 300 их погребальных сооружений. Широкой известностью пользуется Княжна гора, расположенная в 8 км от г.Демянска. Сохранилась легенда о княжне, которая всю жизнь носила в рукавах землю на место гибели молодого князя. Н.Г.Богословский в 1865 г. описал это так: «Близ деревни Песков (упоминается в Новгородской писцовой книге XV в. как деревня Песок), недалеко от погоста при устье рек Явони и Мошенки, находится курган, называемый Княжною горою. По преданию он был местом жительства князей. В древние времена она была будто бы насыпана одной богатыркой. Показывают и место, откуда взята земля на курган. Это место находится

от горы в 8 верстах и называется вычерпыщем» [1]. Вычерпыще расположено вблизи Домниной горы, недалеко от деревни Обрыни. Высота Княжны горы с западной стороны, где протекает Явонь, более 30 м. По Явони проходил знаменитый Селигерский путь с Волги на Волхов, связывающий отдаленные земли Древней Руси. Находился здесь и дозор, защищавший купеческие караваны и берущий с них за это оброк.

Особенно оживился этот край после образования Новгородской республики в XII в. Известно, что новгородцы дали отпор литовцам, вторгшимся в Приильмень. Недалеко от Валдая, у Игнач-креста, были задержаны полчища хана Батые, не прошедшие к Новгороду. Благодаря этому Новгород в период монголо-татарского ига сохранил свою государственность и национальные традиции. Здесь же в 1456 г. был заключен Яжелбицкий мирный договор между Новгородом и Москвой.

Патриарх Московский Никон (1605—1681), жестокий реформатор православной церкви, будучи еще митрополитом Новгородским, проезжал берегами Валдайского озера и обратил внимание на его удивительную красоту и выгодное стратегическое положение. Став патриархом, Никон основал на Сельвицком острове Валдайского озера монастырь, получивший название в честь иконы Иверской Бо-



На просторах Валдайского национального парка.

Здесь и далее фото М.Г.Томилина

жией Матери. Вскоре он превратился в один из крупнейших монастырей Московского государства, оплот северо-западных рубежей страны, защищавший их от территориальных притязаний Швеции и Польско-Литовского княжества.

Более 200 лет создавался архитектурный комплекс Иверского монастыря. Помнит он взлеты и падения. По указу Петра I монастырь приписывается к Александро-Невской лавре в Санкт-Петербурге, но императрица Анна Иоанновна возвращает Иверскому монастырю все земли, права и льготы. После Октябрьской революции монастырь был закрыт, в нем размещались мастерские. Строения его использовались, но пришли в упадок. В 1991 г. он был возвращен церкви и причислен к Новгородской епархии.

Регион Валдая на всю Россию прославился колокольным литьем. Первые колокольные заводы купцов Смирнова и Митрофанова появились в 1816 г., затем возникли заводы Стукол-

кина и братьев Усачевых. Звон валдайских колокольчиков стал раздаваться по всем дорогам необъятной России. В церкви Екатерины в городе Валдае — творении знаменитого русского архитектора Н.А.Львова — сейчас расположен Музей истории Валдая с экспозицией «Валдайский колокольчик». Сам город представляет собой историческую достопримечательность — в 1996 г. ему исполнилось 500 лет. Здешние места связаны с именами Н.А.Радищева, А.С.Пушкина, А.И.Герцена.

Из Михайловского Пушкин описывает С.А.Соболевскому в стихах и прозе свой маршрут и остановку в Яжелбице: «Яжелбицы — первая станция после Валдая. В Валдае спроси: есть ли свежие сельди; если же нет,

У податливых крестьянок
Чем и славится Валдай,
К чаю накупи баранок
И скорее поезжай».

Валдайская земля подарила миру Н.Н.Миклухо-Маклая. Здесь подолгу жили и работали

Н.А.Римский-Корсаков, И.Л.Левитан, К.Ф.Юон, В.В.Бианки. С этим краем связаны малоизвестные страницы из жизни Н.К.Рериха. На Валдае Рерих делал зарисовки и писал этюды для будущей картины «Гонец. Восстал род на род», за которую был удостоен диплома Академии художеств. В 1902 г. Рерих вместе с женой прожил несколько месяцев в Окуловке. Здесь у них родился первенец — Юрий, впоследствии ученый-востоковед, сопровождавший отца во всех его странствиях по Востоку.

Героическую и печальную страницу в историю здешнего края вписала Великая Отечественная война. Демянский котел — одно из самых кровопролитных сражений, в течение которого наши войска ценой огромных потерь почти полностью уничтожили германскую 16-ю армию и первый элитный состав дивизии СС «Мертвая голова». По здешним лесам в зимнюю стужу полз с перебитыми ногами военный летчик Алексей Маресьев.



Пологий берег р.Явонь, полукругом опоясывающей Княжну гору.

История В.П.Врасского

Природа Валдайской возвышенности привлекла представителей именитой российской знати. В XVIII—XIX вв. здесь выросли богатые усадьбы с архитектурными ансамблями и пейзажными парками. Остатки их можно встретить повсюду. В поселке Никольское частично сохранился старый парк имения Врасских — оригинальный памятник садово-паркового искусства XIX в. — и уникальный гидропарк из девяти прудов. Озера и реки этих мест испокон веков богаты щукой, окунем, лещом, плотвой, линем, ряпушкой, налимом. Водится в водоемах угорь, снеток, карп, сиг и форель. Всего здесь насчитывается около 45 видов рыб. При таком рыбном богатстве края рыболовство стало одним из основных источников пропитания местных жителей. Истребление рыбных запасов приняло такой размах, что Петр I издал адресованный рыбакам указ: «Торговля рыбой — дело исконно ворон-

ское, а посему жалованье положить им мизерное. Да по одному в год вешать, дабы другим неповадно было».

Разве думал кто на Руси о разведении рыбы? Поэтому создание первого рыбоводного

завода в России и судьба его основателя вызывают интерес.

Владимир Павлович Врасский родился в 1829 г. в дворянской семье, в имении Никольское Демянского уезда Новгородской губернии. 28 августа



А вот и сама овечья легенда Княжна гора.



Картина Н.Рериха «Гонец. Восстал род на род». Зарисовки и этюды делались на Валдае.

был крещен в церкви села Пестова в 2 км от имения. Предки Врасского служили воеводами и участвовали в походах Ивана Грозного. Преимущественно офицерами были и последующие представители этой фамилии. Дед будущего рыбоведа поручик Николай Александрович в конце XVIII в. вышел в отставку. У него кроме четырех дочерей было два сына — Владимир и Павел. Павел Николаевич служил в русской армии и участвовал в Отечественной войне 1812 г. Оставив военную службу, вышел в отставку в звании прапорщика. После раздела отцовского наследства ему досталось пять небогатых усадеб. Состояние Павла Николаевича улучшилось, когда он женился на дочери новгородского помещика Н.Я.Толстого Александре.

В свое время императрица Елизавета Петровна подарила дворянскому роду Толстых 20 тыс. десятин земли, часть которой находилась на Валдайской возвышенности. Переходя по наследству, эти земли достались Николаю Яковлевичу. После его смерти старшая дочь

Александра получила во владение Никольское — тихий уголок земли у озера Вельё. Она вышла замуж за Павла Врасского и поселилась в Никольском. Здесь у них родилось и выросло шестеро детей, старший из сыновей был Владимир.

Владимира определили в Дерптскую гимназию в качестве вольноприходящего. В 1847 г. он был зачислен в Дерптский университет на камеральное (дипломатическое) отделение. Учился хорошо, увлеченно изучая физику и математику, зоологию и ботанику, лесное хозяйство и финансы. Собирался посвятить себя дипломатии. По окончании университета он было поступил на гражданскую службу, но неожиданно подал прошение об отставке. В конце 1851 г. отбыл из Дерпта в свое родовое имение.

Позднее, в 1889 г., редактор «Вестника рыбопромышленности» О.А.Гримм рассказал такой эпизод: «Бывши еще в Дерпте, Врасский на одной студенческой пирушке поспорил с одним из своих товарищей, сыном богатого петербургского банкира,

о том, что важнее — богатство или знание и труд. Молодой банкир утверждал, что с деньгами все достижимо, а без денег знание и труд ни к чему не приведут. Врасский, напротив, утверждал, что знание и труд все перетрут. Слово за слово, и между двумя молодыми людьми состоялось пари. Врасский брался доказать свою идею на деле, обещая с помощью труда нажить в 10 лет капитал в 100 тыс. руб. И в случае неисполнения этого обязывался всех бывших при споре товарищей, где бы они ни были к тому времени, привезти всех на свой счет в установленный город и напоить допьяна шампанским. В противном же случае то же обязывался сделать молодой банкир» [2. С.37—38].

Было ли это или не было, но, приехав в Никольское, Врасский принял от матери хозяйство и со всей энергией начал им заниматься. Он объехал соседей, чтобы присмотреться к методам их хозяйствования. Часто навещался к тетушке П.Н.Жеребцовой, урожденной Толстой, жившей в соседнем селе Пестово и управлявшей своим имением. Она нередко бывала в Европе и делилась с племянником новинками в сельском хозяйстве. Вскоре в Петербурге и Новгороде Врасский уже хлопочет о покупке сельскохозяйственных орудий, отборных семян, племенных жеребцов. Закипела работа. На скотном дворе появились породистые лошади, быки, нетели, овцы. Раскорчевывались участки под пахоту, сажались фруктово-ягодные и декоративные деревья и кустарники. Некоторые деревья, посаженные Врасским, сохранились в Никольском до сих пор. О деятельности молодого хозяина имения стало известно в округе, и к нему стали приезжать соседи ознакомиться с нововведениями. Однако вскоре молодой помещик осознал, что, занимаясь хлебопашеством и скотоводством, ему не выполнить той цели, которую он ставил перед собой.

В 1853 г. он узнал из журнальной статьи об открытии во Франции метода искусственного разведения рыбы. Возможность искусственного оплодотворения икры (форели) была выявлена давно. А в 1830 г. академик К.М.Бэр начал свои опыты по искусственному оплодотворению икры рыб, а через четыре года они успешно завершились. Простой рыбак Жозеф Реми из деревни Ла-Бресс подтвердил эти возможности, проведя успешные опыты по искусственному разведению форели. Врасский стал знакомиться со статьями и заметками об искусственном разведении рыбы. Французский ученый Ж.-В.Коста проверил, усовершенствовал этот метод и опубликовал о нем ряд книг. Под его руководством в 1853 г. был создан первый во Франции рыбоводный завод. Осенью того же года Врасский приступил к экспериментам по смешиванию икры и молоки форели и налима в воде, но не получил ожидаемого результата. В мае 1854 г. повторил опыты, на этот раз над икрой плотвы. Личинки рыб не выявились опять. «Я был в отчаянии», — признавался он. Осенью Врасский продолжил эксперименты с форелью, которые дали результат — личинки появились, но... стали гибнуть одна за другой. Когда же Врасский заменил в подкормке молодки кусочки говяжьего мяса насекомыми и мелкими червячками, следующая партия мальков выжила без потерь.

Рождение нового рыбоводного хозяйства

Никольское словно самой природой предназначено для основания рыбоводного завода. Оно расположено между озерами Вельё и Пестовским, соединенными речкой Пестовкой. Уровень Пестовского озера примерно на 20 м выше уровня озера Вельё, что открывало возможность естественного использования проточной воды,

необходимой для выращивания мальков. Врасский горячо взялся за дело, которое потребовало сооружения пруда, плотины, водопровода и здания завода. Он не только руководил строительством, но и сам принимал участие в плотницких и земляных работах. При этом он продолжал систематические исследования осеменения, регулярно заносил результаты в рабочий журнал. Большую пользу Врасскому принесла возможность использовать для наблюдений за икрой, зародышами и мальками микроскоп с 500-кратным увеличением. И тут он вплотную подошел к открытию.

Врасский установил, что длительную сохранность молок и икры можно обеспечить при их содержании без воды и при пониженной температуре. Так родился новый оригинальный метод осеменения рыбной икры, получивший название «полусухой», а за границей — «русский» способ.

Свой способ, ранее испытанный на форелях и лососях, Врасский проверил на налимах, щуках, ершах и других породах рыб и всюду получил положительные результаты. Оказалось, что в «полусухом» виде можно долго хранить и молоки, и икру, а также транспортировать их на большое расстояние.

Научная общественность обратила внимание на это достижение. С весны 1857 г. в Никольское стали приезжать крупнейшие биологи того времени: академик К.М.Бэр, профессора К.Ф.Рулье, К.Ф.Кесслер и др. Это означало признание в ученом мире. Врасский продолжал увлеченно работать. Он доказал, что икра недавно уснувших рыб также оказалась жизнеспособной и пригодной для искусственного осеменения. Новое в его экспериментах состояло в гибридизации рыб. Задав целью получить улучшенные породы лососевых, он обливал, например, икру ладожских и невских лососей молоками валдайской форели и т.д.



Владимир Павлович Врасский
(1829—1863).

В ноябре 1857 г. совет Московского комитета акклиматизации растений и животных образовал комиссию, которой было поручено выехать в Никольское для сбора сведений о научной и производственной деятельности основателя завода. По отчету комиссии на очередном собрании 16 ноября 1857 г. было определено: «господина Врасского, в изъявлении уважения к его полезным трудам, избрать действительным членом Общества, а заведение его принять под особое покровительство» [3. С.74—78]. Когда Общество сельского хозяйства выделило Комитету акклиматизации животных одну золотую медаль для поощрения лучших научных достижений, члены Комитета единодушно присудили ее Врасскому. Вслед за тем такая же награда пришла из Франции, от Парижского общества акклиматизации.

Ободренный признанием и поддержкой, Врасский решил увеличить здание завода, улучшить оборудование и расширить систему прудов. Вложив в модернизацию почти все свои средства, Врасский придал заводу тот вид, который сохранялся вплоть до войны, когда все постройки были разрушены окку-



Речка Пестовка, соединяющая озера Пестовское и Вельё, между которыми расположено село Никольское.

пантами. Но система прудов сохранила свой облик до наших дней. У истока Пестовки, у Пестовского озера, была устроена плотина для регулирования притока воды в заводские пруды. Верхний пруд, лежащий в русле реки, назывался Каменным. Ниже находился Заводской пруд площадью 20 тыс. м². Его нижняя часть питала водой весь завод. Всего было сооружено пять основных прудов и три вспомогательных. Общая планировка свидетельствует о том, что Врасский думал не только о производственной, но и об эстетической стороне.

Для перевозки рыбы на дальние расстояния Врасский спроектировал и построил речную барку-садок. Ее основу составляли две скрепленные брусками барки, составляющие садок. Пространство между боковыми барками, днищем, конусной стенкой с носа и стенкой с кормы служило вместилищем для рыбы. В 1859 г. председатель Государственного совета князь А.Ф.Орлов подписал распоряжение: «Его Императорское Величество мнение Государственного совета о привилегии коллеж-

скому секретарю Врасскому на садки для перевозки и содержания живой рыбы высочайше утвердить соизволил и повелел исполнять» [4. С.59]. Правительствующий Сенат постановил изобретение В.П. Врасского «привести во всеобщую известность», опубликовав в «Сенатских ведомостях». В 1860 г. Врасский предпринял поездку на барке в Астрахань за стерлядь, волжскими лососями и другими породами рыб. Барка полностью оправдала свое назначение.

К началу 1860-х годов Никольский завод превратился в основной научный центр рыбоводства и озероведения в России. Однако у Врасского, потратившего на развитие рыбоводства более 60 тыс. руб. — все, что имели его родители и что он сам смог выручить от своего хозяйства, — возникли финансовые затруднения. Сложными оказались проблемы с арендой озер и защитой разводимых ценных пород рыб от браконьерства. Жившие по берегам этих водоемов крестьяне считали вправе пополнять рыбой свои скудные припасы. Входя в их положение, Врасский разрешил

жителям прибрежных деревень ловить рыбу удочками и другими непромысловыми орудиями лова. С тех пор на Пестовском озере сохранился искусственный остров, поросший камышом, на котором стоял домик смотрителя. Для его создания целую зиму по льду свозили камни. Перестройка требовала новых затрат. Врасский искал выход: создал рыбоводное товарищество, обратился в Министерство государственных имуществ за ссудой. После долгой волокиты выдача ссуды в 30 тыс. руб. была разрешена. Но распорядиться ею Владимиру Павловичу уже не было суждено. В декабре 1862 г. он с работниками завода из-под льда вылавливал в непогоду рыбу на Пестовском озере, сильно простудился и получил воспаление легких. Он был отправлен в Петербург, но спасти его не удалось.

Владимир Павлович Врасский умер 10 января 1863 г. в возрасте 33 лет, в полном расцвете сил и таланта. Его похоронили в селе Пестове у стен церкви, рядом с могилой матери. В результате своей кипучей деятельности он не нажил капитала, фактически разорил семью, не восстановил своих затрат, не успел воспользоваться результатами своих трудов. Но оставил после себя открытие мирового уровня по искусственному осеменению икры, оставил хорошо оборудованный завод, оставил оригинальный способ транспортировки рыбы по рекам и озерам страны. Наконец, он оставил потомкам моральные ценности — пример творческой увлеченности, бескорыстного служения делу.

Следует заметить, что у истоков рыбоводства Врасский стоял не один. Рядом с ним по праву стоит Петр Малышев из Нижнего Тагила, пользовавшийся поддержкой заводчика А.Н.Демидова. Первые опыты по разведению налима он начал в декабре 1855 г. на р.Тагил, неподалеку от Медведь-камня, и сразу получил хорошие результаты.



Заводской пруд площадью 20 тыс. м², питающий водой Никольский завод.



Никольский рыборазводный завод. Современный вид.



Памятник В.П.Врасскому.

Демидов, довольный достижением своего подопечного, пишет ему: «Любезный Малышев! Я получил Ваш ответ с приложением к нему занимательной записки об опытах, сделанных Вами касательно разведения рыб. Прочел с живым участием это замечательное сочинение и сообщил Исидору Жоффруа Сент-Илеру, представителю общества акклиматизации в надежде, что он обратит на Вас внимание этого ученого общества и доставит Вам с его стороны какой-нибудь знак одобрения. Я уже подписал недавно акт, освобождающий Вас и все Ваше семейство. Вы найдете тут, надеюсь, доказательство, что Ваши труды были достаточно оценены... Итак, поздравляю Вас,

любезный Малышев, с результатами, которые Вы получили, и убеждаю Вас всеми силами продолжать постоянно этот род исследований и опытов...». В результате Малышев получил в 1857 г. медаль Императорского Парижского общества. Однако дальнейшего развития рыбководство в Тагиле не получило. Малышев уехал в Москву, и на этом следы его деятельности теряются. Последние сведения касаются того, что он пытался получить место надсмотрщика в Никольском рыбном заводе, но Врасский ему отказал.

С кончиной Врасского деятельность завода не прекратилась. В 1865 г. Никольский рыбководный завод перешел в ведение казны и стал главным центром научно-исследовательской работы по рыборазведению в России. Особую страницу в его историю вписал профессор Петербургского университета, ученый-ихтиолог, доктор зоологии Оскар Андреевич Гримм (1845—1921). За 33 года его руководства (1879—1912) завод стал признанным центром по рыборазведению, где прошли практику многие будущие ученые-рыбоводы. К концу XIX в. возникло несколько отделений по всей стране, которые выпускали до 5 млн оплодотворенных икринок в год. С 1889 г. начал выходить журнал «Из Никольского рыбководного завода», где печатались известные ученые. Завод многократно представлял российское рыбководство на международных рыбопромыш-

ленных выставках, где удостоивался самых высоких наград. После Гримма заводом руководили его ученики, достойно продолжившие дело. Активной была деятельность завода в 20—30-е годы 20-го столетия.

Война разрушительным смерчем пронеслась по нашей земле, прекратив на четыре года деятельность завода. Но уже в 1946 г. по решению правительства начинается его восстановление, с 1948 г. продолжилось разведение ценных пород рыб.

* * *

Осень 2009 г. для Никольского рыбководного завода стала по-настоящему юбилейной. Самому заводу исполнилось 155 лет, его создателю В.П.Врасскому — 180, местному музею — 10. Более 35 лет прошло с тех пор, как принял на себя ведение хозяйства Никольского завода Иван Александрович Мещеряков, направленный сюда гидротехником после окончания Тобольского мореходного училища. Возглавляемое им предприятие испытало и взлеты, и падения. С годами ослабевало внимание правительства к рыбководству на внутренних водоемах, в тупике оказалось рыборазведение. Тем не менее Никольский рыбководный завод с его яркой историей гармонично вписался в современную жизнь Валдайского национального парка. И хочется надеяться, что уникальный памятник будет сохранен для последующих поколений. ■

Литература

1. Новгородский сборник. Рассказы о былом / Под ред. Н.Богославского. Изд-во Новгородского статистического комитета, 1865.
2. Гримм О.А. Дополнение к статье В.П.Лисовского // Вестник рыбопромышленности. 1889. №1.
3. Протокол экстраординарного собрания Комитета акклиматизации растений и животных. 23 июля 1857 г. // Журнал сельского хозяйства. 1857. №8.
4. ЦИИАЛ. Ф.398. Оп.22. Д.7750. Л.4—8а (О выдаче 10-летней привилегии колл. Секретарю Врасскому на изобретенный им садок для перевозки и содержания живой рыбы).

«И мы вместе пойдём, нас нельзя разлучить»

Т.Б.Авруцкая,
Институт общей генетики РАН им.Н.И.Вавилова,
Мемориальный кабинет-музей академика Н.И.Вавилова
Москва

Этот очерк посвящен Марии Полиевктовне Садовниковой-Кольцовой, доктору биологических наук, натуралисту, энтомологу, зоопсихологу, жене, другу и верной спутнице Н.К.Кольцова, выдающегося ученого, основателя экспериментальной биологии в стране.

О Кольцове написаны статьи и книги, его имя носит Институт биологии развития, о Марии Полиевктовне же почти ничего неизвестно. Кем была спутница ученого? Почему из всех слушательниц Московских высших женских курсов Николая Константиновича выбрал именно ее? Что мы знаем о женах великих людей? И часто ли то немногое, что мы слышали о них, справедливо и беспристрастно? Полагаясь на архивные и документальные материалы, автору этих строк хотелось бы представить портрет жены ученого.

М.П.Садовникова-Кольцова родилась в Москве 29 мая (10 июня) 1882 г. в семье потомственного почетного гражданина, богатейшего купца-мануфактурщика Полиевкта Тихоновича Шорыгина. Основателем старообрядческого рода Шорыгиных был «крепостной крестьянин княгини С.Г.Волконской Иван Михайлович. Он открыл в 1825 г. в селе Хозникове Житковской волости Ковровского уезда Владимирской губернии ручную ткацкую фабрику «светелку» и контору по раздаче пряжи для работы на домах семейным кустарным способом» [1]. Его «светелка» стала родоначальницей крупных предприятий, которые позже возглавил его внук Полиевкт Тихонович, «отличавшийся огромным трудолюбием, природной крестьянской сметкой»; его жена — Матрена Андреевна — «женщина деловая и властная, крепко держала в руках домашние дела» [2]. В семье Шорыгиных было пятеро детей: четыре



Мария Полиевктовна Садовникова-Кольцова (1882—1940).

Фото из Кабинета-музея
Н.И.Вавилова

сына — Александр, Иван, Петр, Павел — и дочь Мария. Сам Полиевкт Тихонович высшего образования не имел, но понимал его ценность и необходимость для своих детей. «Знания, полученные человеком, — говорил он, — прочно принадлежат ему, и отнять их никто и никак не может» [2]. Сыновья получили прекрасное образование в Императорском высшем техническом училище и продолжили дело отца. Младший из сыновей — Павел, окончивший затем еще и Фрейбургский университет в Германии, после национализации фабрик в 1917 г. занялся научными исследованиями и стал выдающимся химиком, академиком АН СССР.

Дочь отдали на обучение в частную гимназию 1-го разряда госпожи М.Б.Пуссель. Упоми-

нания об этой гимназии связаны прежде всего с именами ее преподавателя словесности Александра Даниловича Алферова, позже организованной вместе с женой, Александрой Самсоновой, знаменитую женскую гимназию, и с именем Раисы Адамовны Кудашевой (урожденной Гидройц) — автора слов всеми нами любимой песенки «В лесу родилась елочка». Обучение Марии давалось легко, каждый год она получала похвальные листы. В свидетельстве об окончании гимназии говорится, что Мария Шорыгина «показала отличные успехи в обучении Наукам, Языкам и Искусствам, при отличном поведении» [3. Д.2. Л.1]. Интересно отметить, что в аттестате кроме обязательных предметов (только с отличными оценками) приведены и необязательные, три из которых ученица Шорыгина выбрала сама — французский и немецкий языки и рисование, хотя в списке еще значатся танцы, гимнастика, педагогика, хоровое пение и английский. Вполне осознанный выбор. Интерес Марии к изучению жизни насекомых проявился очень рано: «еще до по-



Слушательница Высших женских курсов (1904—1908).
Здесь и далее фото из Архива РАН

ступления в Высшую школу меня интересовала наука о поведении животных, зоопсихология» [3. Д.1. Л.2].

На выбор Марии, безусловно, повлияли книги французского натуралиста Ж.А.Фабра «Жизнь насекомых», «Инстинкты и нравы насекомых» и «Энтомологические воспоминания». «Еще в детстве, читая его, — вспоминала она, — мы начинали увлекаться его «прекрасными насекомыми» и многих из нас он вывел из душных лабораторий на свежий воздух к самой жизни. Он научил любить жизнь в ее прекрасных, чистых проявлениях... Он научил нас любить звуки природы. Его духовные ученики рассеяны по всему свету, и я причисляю себя к ним. Его увлекательные книги направили меня на путь зоопсихологии» [3. Д.25. Л.2].

Как мы видим, интересы Марии определились достаточно рано, и у нее было страстное желание продолжить обучение. В те времена женщинам для получения высшего образования были необходимы письменное дозволение отца или мужа и справка о благонадежности. Поливект Тихонович такого дозволения не дал, видимо, считая вполне достаточными для дочери знания, полученные в гимназии. Но упорство и желание учиться были столь велики, что она все же продолжила обучение на естественном отделении физико-ма-

тематического факультета Московских высших женских курсов. «Я хотела учиться, — писала Мария, — и уйти из окружающей меня среды и вышла замуж за инженера Садовникова (он и подписался под моим прошением при поступлении на МВЖК), фамилия которого сохранена на первых научных работах» [3. Д.1. Л.2—3]. О Садовникове удалось узнать совсем немного: что он инженер Покровской мануфактуры им.Грязнова и что его имя — Михаил. Судя по немногим сохранившимся письмам, М.Садовников был человеком состоятельным, любящим и заботливым мужем. Он не жалел для жены денег на украшения и наряды, лошадей и шикарный автомобиль, и на все то, что жене было необходимо для работы — фото-, кино- и стереоскопические камеры, ценные коллекции насекомых и даже шимпанзе. Видимо, отказа Марии ни в чем не было. Она много путешествовала по стране и по Европе, откуда привозила для мужа образцы тканей, скатертей, салфеток. Во время обучения в 1906 г. работала у профессора Анри в Сорбонне и на зоологических станциях в Неаполе и Виллафранке [4. Д.11. Л.19].

Высшие женские курсы, организованные передовой московской профессурой, существовали на взносы учащихся. Преподавали там лучшие профессора — В.И.Вернадский, С.А.Чаплыгин, Н.Д.Зелинский, С.Н.Реформатский, М.А.Мензбир, П.П.Сушкин, Н.К.Кольцов. Как мы видим, формирование Садовниковой проходило в удивительно насыщенной интеллектуальной среде. Годы ее обучения совпали с переменами в общем управлении Высшими женскими курсами и резким поворотом в постановке преподавания зоологии, до этого обучение имело только лекционный характер. На Курсах «возникает самостоятельная лаборатория с инструментарием, большой микроскопический зал, вмещающий до 50 человек, расширен ряд практических курсов, увеличен штат преподавателей» [5]. Еще будучи студенткой, Мария проявила себя заинтересованным, пытливым, думающим человеком, ее способности и склонность к преподавательской работе были замечены и использованы в помощи проведения практических занятий. После окончания Курсов с отличием и получения диплома 1-й степени, в котором отмечалось, что она «выдержала все установленные факультетом испытания — по физике, неорганической химии, по введению в органическую химию, по анатомии растений, морфологии и систематике растений, анатомии человека, физиологии растений, физиологии животных, эмбриологии и палеонтологии. Специально занималась зоологией и прошла Большой зоологический практикум» [3. Оп.6]. Марию Полиевктовну оставили ассистентом Н.К.Кольцова. Период жизни Садовниковой в высшей школе, несомненно, сыграл большую роль в ее становлении как будущего ученого.

В 1909 г. в Москве проходил XII съезд естествоиспытателей и врачей. 30 декабря в помещении

зоологической лаборатории Курсов (Мерзляковский пер., дом Титовой) демонстрировали методику преподавания зоологии «путем выставки материалов, препаратов слушательниц и их рисунков» [5]. В выпущенной к съезду брошюре приведен перечень курсов и практикумов по зоологии и их руководители и ассистенты. Садовникова упоминается там как ассистент Большого зоологического и Малого микроскопического практикумов под руководством Кольцова и самостоятельно проводящая групповые занятия по зоологии беспозвоночных. В архиве сохранилось письмо, иллюстрирующее отношение слушательниц курсов к своему преподавателю: *«Многоуважаемая и дорогая Мария Полиевктовна! Мы узнали, что доктор решительно запретил Вам не только вести занятия, но и вставать с постели. Мы очень ценим Ваши занятия, но Ваше здоровье не менее дорого для нас, а потому мы очень просим Вас отложить работы до после Рождества. Мы уверены, что после Рождества у Вас будет больше сил и мы не только сумеем возобновить наши занятия, но и наверстаем за 4 субботы, которые остаются в этом... семестре. <...> Будьте уверены, что после Рождества Вы найдете нас всех на своих местах в лаборатории. Уважающие Вас... (42 подписи. — Т.А.) [3. Д.71. Л.6—7].*



Любимый брат П.П.Шорыгин.

Для проведения Большого зоологического практикума необходимо было «обеспечить слушательниц пресноводной и морской фауной, которая собиралась главным образом преподавателями, а также выписывалась на зоологических станциях Виллафранке, Александровске на Мурмане и Севастополе».

В 1913 г. Садовникова получает приглашение от Председателя правления Университета Шанявского М.В.Сабашникова, в котором говорилось: *«Милостивая Государыня Мария Полиевктовна. Правление Университета имеет честь сообщить, что Попечительский Совет Университета в своем заседании 29 апреля 1913 года постановил пригласить Вас преподавательницей Университета на 1913—1914 академический год для чтения предложенного Вами курса “Сравнительная зоопсихология”» [3. Д.5. Л.1].*

Содержательные и увлекательные занятия Марии Полиевктовны вызывали живой интерес у слушателей и побуждали к научной деятельности. Отзывчивая и всегда деятельная, она стремилась помочь всем, кто в этом нуждался. «Не забыл я и замечаний ассистентки Н.К.Кольцова М.П.Садовниковой, — вспоминал М.М.Завадовский, — ко-

торая, видя мое увлечение, на одном из последних занятий сказала, что из меня должен получиться ученый. Я стыдливо и трепетно мечтал о науке, но у меня еще не было уверенности в том, что хватит на это сил. Неожиданно брошенное замечание коснулось святая святых, и где-то в глубине вспыхнула радость» [6].

Сохранившиеся в архиве черновые записи Марии Полиевктовны показывают ее серьезную подготовку к лекциям. Впечатляет объем используемой ею литературы, которая начинается древними философами и заканчивается новейшими исследованиями в области зоопсихологии.

«Одним из важнейших достижений Кольцова в предреволюционное время, — писал Н.В.Тимофеев-Ресовский, — была организация первой в мире лаборатории и кафедры экспериментальной биологии в Университете Шанявского и кафедры зоологии на МВЖК, где первой задачей было — с помощью первого поколения его учеников сформировать достаточное количество научно-грамотной молодежи» [7]. В этих достижениях есть несомненный вклад и Марии Полиевктовны. На Высших женских курсах Мария Полиевктовна преподавала с 1908 до 1918 г., а в 1918—1930 гг. — во 2-м МГУ.

В газете «Утро России»* от 16 ноября 1913 г., в рубрике «Женщины на академической кафедре», о Садовниковой говорилось как о *«наиболее молодой из женщин среди московской профессуры. <...> В 1912 г. М.П. выступила пред широкой публикой с лекцией о материнском инстинкте в царстве животных, которую прочла с большим успехом. В 1912—1913 гг. М.П. начала читать лекции по зоопсихологии — “Сравнительная психология животных” — в Университете Шанявского, кроме Москвы кафедра психологии существует только в Петербурге, которую занимает проф. Вагнер. М.П. в своей квартире устроила музей с весьма редкими и ценными коллекциями по сравнительной психологии, собранные в Африке и Индии. В настоящее время М.П. производит наблюдения над маленьким шимпанзе, которого предполагает демонстрировать на лекциях. М.П. издан небольшой труд из жизни муравьев».* Интересно, что в предыдущих номерах газеты в этой же рубрике был помещен материал о знаменитых профессорах — М.В.Павловой и В.Н.Харузиной, которые «запечатлели свою приверженность к науке общепризнанными капитальными трудами».

* «Утро России» — ежедневная газета, издатель П.П.Рябушинский. Выходила в 1907—1918 гг.



Преподаватели физико-математического факультета Московских высших женских курсов:
Садовникова (в третьем ряду снизу) — единственная женщина.

«Жизнь муравьев» — первая публикация Марии Полиевктовны, итог летнего путешествия 1911 г. Это альбом стереоскопических фотографий, сделанных ею в Шварцвальде и частью в Ницце; несколько снимков в альбоме исполнены Кольцовым. Такие фотографии позволяли увидеть в стереоскопе совершенно неожиданные подробности из жизни муравьев. «Объектом своих первых исследований, — писала Садовникова, — я выбрала жизнь социальных животных: муравьев, ос и пчел, а также родственных им одиночных перепончатокрылых. В результате своих наблюдений я напечатала ряд очерков по поведению животных, выступала с публичными лекциями в больших аудиториях» [3. Ед.хр.1. Л.2—3].

Научно-популярные очерки М.П.Садовниковой — «Аммофила и Помпил» (1914)*, «Загадочная птица (кукушка)» (1915), «Война и мир в царстве муравьев» (1915), «Новейшие исследования американцев по зоопсихологии» (1916) были напечатаны в журнале «Природа».

За долгие годы Мария Полиевктовна собрала довольно большой музей по поведению животных, главным образом по их постройкам. В своем «Жизнеописании» она писала: «С уверенностью могу сказать, что собранная мной коллекция по богатству и разнообразию материала занимает первое место в Союзе». Совместно с В.Н.Лебедевым** были приготовлены кинематографические ленты, иллюстрирующие поведение различных насекомых. Эти ленты Садовниковой демонстрировала во время своих публичных лекций. Академик Н.М.Кулагин отмечал, что «она [М.П.] насквозь проникнута любовью к своей специальности и, несомненно, обладает незаурядным талантом научного творчества».

Летом 1914 г. Мария Полиевктовна путешествовала по Кавказу. «Из Москвы мы выехали 26 мая. В состав нашей маленькой экспедиции входило четверо преподавателей В.Ж.К.: проф. Н.К.Кольцов и три ассистента. Эту поездку задумали еще в прошлом году, на съезде русских естествоиспытателей и врачей в Тифлисе. (XIII Всероссийский съезд естествоиспытателей и врачей. Август 1913 г. — Т.А.) Мы взяли с собой кроме нескольких фотографических большой кинематографический аппарат Debris, с которым уже раньше работал В.Н.Л[ебедев], готовясь к нашему путешествию, и все кинематографы сделаны нами. Мы взяли с собой палатку и войлочные мешки для холодных горных ночевков. Уже заранее мы наметили наш маршрут: Владикавказ, Военно-Грузинская дорога, Тифлис. Из Тифлиса должно начаться путешествие по Армении — Ани, Эривань, Эчмиадзин, о.Гокча, Айриджа, Селимиский пер., Тифлис, Сухум, Батум, Кисловодск» [3. Оп.6].

* Этот очерк мы публикуем ниже. — *Примеч. ред.*

** В.Н.Лебедев (1882—1951) — ассистент Н.К.Кольцова на Высших женских курсах, один из первых сотрудников Института экспериментальной биологии, заместитель Кольцова. Пионер научного кинематографа в стране.



Ассистент кафедры зоологии Высших женских курсов (1908—1917).

По материалам этой поездки Садовникова подготовила лекции «По высокой Армении» и «Через Кавказский хребет», которые проводились в пользу Общества по усилению средств Университета Шанявского. Благодаря сохранившимся черновикам лекций мы почти через 100 лет можем вместе с путешественниками пройти тем же маршрутом. «Мы ехали на почтовых лошадях. Поездка на почтовых представляет своеобразную прелесть. В большом экипаже размещаешься по-домашнему, каждую минуту можно спрыгнуть, сорвать растение или поискать муравьев под камнями, можно остановить лошадей, чтобы сделать фотографии или кинематограф. На станции, при перемене лошадей прогулки, новые лица туземцев, неожиданные встречи. Вспо-



Среди преподавателей и учащихся. Рядом с Садовниковой ректор курсов С.А.Чаплыгин. 1912 г.

минается недалекое прошлое, когда наши отцы и деды ездили на перекладных, вспоминаются времена Пушкина и Тургенева. <...> Среди такого богатства и разнообразия природы и жизни, нельзя оставаться узкими специалистами, и на мир хочется смотреть не только глазами натуралиста-зоолога, но и глазами археолога, этнографа, радоваться краскам и линиям, ненасытно воспринимать окружающую красоту». Путешествие продолжалось более двух месяцев, и в конечной точке маршрута его участники узнали о войне. «К Кисловодску мы приехали около 6 вечера, торопились попасть на московский поезд. Это было 16 июля. На вокзале нас удивило объявление, что все места в поезде предоставляются семьям офицеров, мы ведь ничего не подозревали, так как в течение 10 дней были оторваны от всего мира, и только здесь узнали, что объявлена война между Австрией и Сербией» [3. Д.43. Л.5—8].

Мария Полиевктовна обладала удивительным качеством — действенной добротой. Вернувшись в Москву, она поступает на краткие курсы госпитальной практики по уходу за больными при Александринской общине сестер милосердия Российского общества Красного Креста, заканчивает его с отличием и получает диплом сестры милосердия на время военных действий.

Счастливым союз

Встреча Марии Полиевктовны с Кольцовым, которая определила не только ее научную, но и личную судьбу, произошла на Высших женских курсах. При внешней эмоциональной несхожести — она активная, эмоциональная и импульсивная, он — внешне спокойный и сдержанный, было полное внутреннее созвучие. Их связывали и общие взгляды и естественно-научные интересы, но Садовникова была замужем, и Николай Константинович почти 10 лет добивался того, чтобы быть рядом с ней. В 1912 г. в одном из писем из Парижа он писал: *«Прежде всего, мне хочется сказать тебе, что я люблю тебя больше жизни и на всю жизнь. Это не пустые фразы, которые я повторяю по привычке, это ответ на все наши долгие мучительные разговоры в Бурбоне. В этих словах моя вера, она привязывает меня к жизни. <...> Я хотел бы передать тебе всю глубину своего чувства. Париж 4/17 VII-12 г.»* [3. Д.105. Л.14. Рукопись, автограф]. Через пять лет в дни отречения царя и провозглашения революции он напишет Марии Полиевктовне, что *«никого, кроме тебя, не полюблю никогда. Ты можешь давать мне свободу, я ею органически воспользоваться не могу. Но связывает ли тебя моя любовь,*



Фотографии муравьев с пояснениями автора, подготовленные к первой публикации Садовниковой «Жизнь муравьев».

это только ты одна и можешь решить. Никаких цепей я тебе никогда не надевал и надевать не могу» [З. Д.105. Л.1].

Мечты Кольцова о личном счастье осуществились в 1917 г., после того как Садовникова получила развод. Она была не только частью жизни и работы Николая Константиновича, но и его вдохновительницей. Их ученики в своих воспоминаниях называли их союз «очень счастливым, но бездетным» [8].

В том же году Кольцов организовал Институт экспериментальной биологии. Сначала он размещался в доме №41 по ул.Сивцев Вражек и имел всего три комнаты и три штатные единицы. Есть еще упоминание о том, что Садовникова в 1920—1924 гг. была заместителем директора ИЭБ.

В 1925 г. по декрету Совнаркома институту передали бывший особняк купца Бардыгина*, расположенный по Воронцову полю, б. «Удалось с небольшими затратами, — пишет Кольцов, — приспособить это здание, построенное, конечно, для жилья, к лабораторным целям. Во все комнаты

* Михаил Никифорович Бардыгин (1864—?), известный егорьевский фабрикант, меценат, депутат Государственной Думы, родственник меценатов Бахрушиных. Сын первого городского головы Егорьевска — Н.М.Бардыгина. В его особняке часто собирались гости, музицировали. В 1923 г. уехал с семьей во Францию.



Поздравление с выходом альбома «Жизнь муравьев».

проведены газ и вода... Все аппараты обслуживаются техническим током. Библиотека помещена в бывшей гостиной, красивая обстановка которой располагает к усидчивой работе. Библиотека получает большое количество книг, и в особенности журналов. В этом отношении ей могут позавидовать лучшие учреждения того же рода за границей. Имеется аудитория, где происходят собрания всех ученых... с эпидиаскопом и кинематографическим аппаратом. Прежние гаражи превращены в "виварии", где содержатся сотни опытных крыс, мышей, морских свинок, кроликов, собак, кур, овец и обезьян. В "террариумах" и "аквариумах" имеются большие запасы лягушек, аксолотлей, рыб. В саду при здании разведены плантации шелковичных деревьев и в садовой беседке, в теплое время, воспитываются для научных опытов десятки тысяч шелковичных червей. Институт распада-



Дома, у книжных полок, с орхидеями. Вероятно, этой фотографией навеяно стихотворение Кольцова «Легенда». Вот его фрагмент:

*Высоко в зеленой листве орхидея
Гроздьями спустила цветы,
Прекрасные, нежные, снега белее
Нездешней, больной красоты*

*В ту чащу лесную тропой одинокой
Однажды пришел человек
Увидел цветок он на ветке высокой
И сердце утратил навек.*

ется на 8 отделов, соответственно главным научным течениям современной биологии» [9].

В течение первых 12 лет Мария Полиевктовна заведовала в институте особым отделом зоопсихологии, а после его присоединения в 1930 г. к генетическому работала в должности старшего научного сотрудника.

Особняк купца Бардыгина станет для семьи Кольцовых не только служебным помещением. Здесь в течение 15 лет будет их дом, их квартира и лаборатория, здесь осуществится идея Николая Константиновича «об уютном уголке, где письменный стол мужа стоит рядом с рабочим столом жены» [3. Д.21. Л.134—179]. Здесь она разместит свою огромную и ценную коллекцию и свою библиотеку. В этом доме будет проходить их насыщенная научная и культурная жизнь. Крупнейшие ученые, артисты, художники, музыканты будут гостями Кольцовых в этом прекрасном особняке. Ученики вспоминали: «Здание на улице Воронцово поле, 6 стало для всех работавших в институте настоящим домом. Жизнь и работа продолжалась там до позднего вечера, в конференц-зале заслушивались интереснейшие доклады не только сотрудников института, но и ученых из разных городов Советского Союза, а также зарубежных гостей. Среди них... О.Фогт и крупнейшие биологи и генетики Гольдшмидт, Бэтсон, Холдейн, Меллер, Дарлингтон, Бриджес и многие другие. <...> Когда к семье Кольцовых приходил в гости кто-либо из артистов или певцов, то нередко он [Н.К.] просил исполнить что-либо для сотрудников. И тогда подавался сигнал: скорее идите в зал, будет петь Обухова (Дзержинская или Доливо-Саботницкий) или играть трио имени Бетховена. <...>

Лето Н.К. обычно жил на Аниковской станции вместе с женой М.П.Садовниковой-Кольцовой, обедал вместе с нами в столовой, поэтому общение не ограничивалось рамками научных вопросов. На станции сочеталась большая наука и непринужденная товарищеская атмосфера. Летом 1922 г. именно там было положено начало Менделеевским праздникам, на которых выступали с научными докладами, ставили пьесы в стихах, написанные сотрудниками. Активная научная и культурная жизнь была и на Звенигородской станции, где в 1925 г. начал работать кружок «Дрозсоор» — совместное «орание» дрозофильщиков, где играли в городки и теннис, где по вечерам на даче у С.Н.Скадовского слушали классическую музыку» [8].

С переездом в новое здание Мария Полиевктовна начала экспериментальные работы по изучению наследственности темперамента крыс, «стремясь связать методику зоопсихологии (различные типы лабиринтов, колесо Гринмана) с методикой генетики». В результате десятилетних опытов гибридизации диких и лабораторных крыс она установила широкую изменчивость активности, измеренной по методу колеса Гринма-

на и по тесту в лабиринтах. Изучила влияние на темперамент возраста и половых периодов. Вывела активные и малоактивные группы, при очень резком различии активности между дикими и лабораторными крысами. Через опыты было проведено 2 тыс. крыс, связанных между собой точно установленными родственными связями. Опубликовала серию статей по генетике темперамента у крыс.

В 1935 г. Садовниковой-Кольцовой присудили звание доктора биологических наук без защиты диссертации. В отзыве С.Н.Давиденкова отмечалось: «серия работ (1925—1935) посвящается одной и той же большой теме и носит общий заголовок “Генетический анализ психических способностей крыс”. Хотя исследование это и разбито на ряд отдельных статей, помещенных в периодической прессе на русском, немецком и английском языках, тем не менее, по существу оно является монографическим изучением вопроса, причем, каждая особая глава исследования является в известном смысле самостоятельной темой. <...> Эти последовательные статьи являются результатом весьма продолжительной и тщательной работы, свидетельствующей о том, что та или иная степень “одаренности” характеризует определенные семьи и находится в совершенно ясной корреляции с психическими особенностями родителей. Таких работ еще очень немного. Исследования М.П.Садовниковой-Кольцовой определенно выде-



Мечты осуществились: М.П.Кольцова, ? и Н.К.Кольцов. 1917 г.



В гостях у Тимофеевых-Ресовских. Слева направо: Н.В.Тимофеев-Ресовский, М.П.Садовникова-Кольцова, Е.А.Тимофеева-Ресовская, С.Ф.Ольденбург, Дж.Хаксли, Н.К.Кольцов. Дни советской науки. Берлин. 1928 г.

Фото из Кабинета-музея Н.И.Вавилова



Кабинет в квартире Кольцовых (Воронцово поле): фрагмент коллекции Марии Полиевктовны.

Фото из Кабинета-музея Н.И.Вавилова

ляются в этой литературе. Но особенно ценным является то, что в этот вопрос работами М.П.Садовниковой-Кольцовой внесено новое, большое и причем совершенно оригинально разработанное, фактическое содержание, мимо которого уже нельзя будет пройти ни одному исследователю, работающему в этом направлении. Они касаются непосредственно одной из актуальнейших и важнейших тем современной неврологии».

В 1931 г. Мария Полиевктовна заканчивает с отличием курсы английского языка МООНО с квалификацией — переводчик. Около 10 лет она в порядке общественной работы занимается с сотрудниками и аспирантами английским языком и в Институте урогравиданотерапии у А.Замкова*, и в Институте экспериментальной биологии. Там же возглавляет детскую комиссию. Мария Полиевктовна, делавшая много малого и незаметного добра, в 1938 г. «премирована, как сотрудник, работа которого создает условия **для работы института в целом**» (выделено мной. — Т.А.) [З. Д.13. Л.6].

Сохранившиеся тетради М.П. Кольцовой дают возможность увидеть ее деловые качества и как хозяйки дома. До последних дней Кольцовы были неутомимыми путешественниками, сохранили

* А.А.Замков (1884—1942) — врач, директор Института урогравиданотерапии. Муж скульптора В.И.Мухиной, друг семьи Кольцовых.

легкость передвижения, даже по горным дорогам, особо часто посещали любимый Кавказ. Оба любили театр, ходили на премьеры в театре Мейерхольда, но больше были связаны со 2-м МХТ и Большим театром, дружили с В.И.Качаловым, Н.А.Обуховой, Н.Н.Озеровым, Л.В.Собиновым.

Однако не следует думать, что Мария Полиевктовна делила с мужем только радости и победы, ей приходилось делить с ним и все испытания, выпавшие на его долю. Трудно себе представить, как она пережила арест Николая Константиновича в 1920 г. и смертный приговор, замененный пятью годами тюрьмы условно; кампанию в прессе в 1929-м, закончившуюся репрессиями против С.С.Четверикова и Н.К.Беляева; и, наконец, травлю и обвинение в фашизме в 1938—1939 гг., после выдвижения Кольцова в действительные члены АН СССР.

Последние годы для Марии Полиевктовны — время многочисленных безвозвратных потерь. В 1939 г., в год избрания в действительные члены Академии наук, уходит из жизни любимый брат Павел Полиевктович, особенно близкий для Кольцовых. Меньше чем через год умирает учитель и близкий друг семьи Николай Михайлович Кулагин, который в одном из писем к Кольцовой писал: «*Вы и Николай Константинович для меня не только друзья, но и истинно хорошие родствен-*



Неутомимые путешественники Кольцовы. Одна из последних фотографий.

Фото из Архива РАН

ники. Это не просто слова, а сущая правда» [З. Д.88. Л.2]. В августе арестован Николай Иванович Вавилов. После незаслуженных нападков, не желая отказываться от своих убеждений, Кольцов жертвует постом директора института и «уходит в тишину своей маленькой лаборатории вместе со своей верной спутницей» [8].

Мария Полиевктовна решает на передачу своих зоологических коллекций — радость и дело всей своей жизни, правда отдает коллекцию в хорошие руки — коллеге и другу А.Ф.Котсу в Дарвиновский музей. Выпавшие на ее долю невзгоды и испытания она переносит трудно, но видя, что кому-то хуже, чем ей, старается помочь добрым отношением, советом, прямой и материальной помощью. В письме вдове Кулагина Мария Полиевктовна пишет: «Улыбка как-то ушла из жизни, не хочется улыбаться, все кажется грустным вокруг. <...> Этой зимой, нигде не бывая, после смерти любимого брата (химика Шорыгина), я начала делать цветы. Я сделала для Вас траурную хризантему». Продолжая письмо, она просит за студента, отца которого сослали, и ему не на что жить — «Н.М. (Кулагин) очень ему сочувствовал и конечно не дал бы ему бросать учебу, чтобы служить. У меня сейчас нет связей в Академии (сельскохозяйственная им.К.А.Тимирязева. — Т.А.), не могли бы Вы что-нибудь сделать для него» [З. Д.112. Л.1—3].

Осенью 1940 г. Кольцовы уехали в Ленинград на конференцию. 30 ноября Николая Константиновича госпитализировали в больницу Свердлова. 2 декабря он скончался от инфаркта. На следующий день в гостинице «Европейская» Мария Полиевктовна покончила с собой, приняв яд, прежде написав предсмертную записку:

«9 ч 50 мин утра умер мой учитель, друг и муж. Умираю и я. Я слишком больна, чтобы жить одинокой без ухода. Пусть мои друзья простят мне эту последнюю слабость.»

Прошу наши тела переправить в Москву, сжечь и урны похоронить в могиле моей мамочки. Также всегда желал этого и Н.К.

Надо продать наши библиотеки и на эти деньги сделать ограду вокруг могил отца и мамочки. На мамочку поставить мраморный крест, а нам мраморную плиту, на которой написать любимые слова Н.К. «и мы вместе пойдем, нас нельзя разлучить». Последняя работа Н.К., начало его речи на юбилейном заседании. Пусть звучала бы его последняя мысль. Она его так интересовала и радовала. Во время болезни, как-то ночью он ясно сказал «как бы я желал, чтобы все проснулись, чтобы все проснулись». Еще в день припадка*

* Н.К.Кольцов готовил речь «Химия и морфология» для юбилейного заседания Московского общества испытателей природы в 1941 г.



«Нас нельзя разлучить». Барельеф выполнен Н.П.Беляевой-Поповой.

Фото Т.П.Авруцкой

был счастлив. Мы говорили с ним, что мы *барру, барру, барру*.

Среди врачей Ленинграда мы встречали исключительную внимательность и доброту. Спасибо им всем.

Пишу около тела Н.К., как он страдал эти четыре дня. **Сейчас кончилась большая, красивая и цельная жизнь** (выделено мной. — Т.А.).

Прошу милого В.Н.Догеля помочь перевезти тела. Он депутат Ленинграда и сможет это устроить.

Литература

1. Иоксимович Ч.М. Из истории купеческих родов. Мануфактурная промышленность в прошлом и настоящем. М., 1915.
2. www.rustana.ru/print.php.nid=14297.
3. Архив РАН. Ф.450. Оп.6.
4. Архив РАН. Ф.570. Оп.1.
5. О преподавании зоологии на М.В.Ж.К. / Под ред. Н.К.Кольцова. М., 1909. С.5.
6. Завадовский М.М. Страницы жизни. М., 1991.
7. Тимофеев-Ресовский Н.В. Истории, рассказанные им самим, с письмами, фотографиями и документами. М., 2000. С.156.
8. Астауров Б.Л., Рокицкий П.Ф. Н.К.Кольцов. М., 1975. С.18.
9. Кольцов Н.К. Как изучались жизненные явления. М., 1928. С.5—6.

Теперь относительно Москвы. <...> Нехорошо будет моим иждивенцам*... но все равно без Н.К. я бы не смогла работать, будучи больной, и не смогла бы помочь им. <...>

Кольцо с руки Н.К. прошу отдать С.Л.Фроловой**, по-своему она любила Н.К. Мое колечко передайте Н.Н.Шорыгиной*** с прощальным приветом» [З. Д.14. Л.4].

Марии Полиевктовне было всего 58 лет, Николаю Константиновичу — 68.

Последнюю волю Марии Полиевктовны исполнили ученики Кольцова: В.В.Сахаров, Б.Л.Астауров и И.А.Рапопорт перевезли тела супругов в Москву. Прах захоронен на Введенском (Немецком) кладбище. На мраморной плите прекрасный барельеф с изображением Николая Константиновича и Марии Полиевктовны и слова: «И мы вместе с тобой, нас нельзя разлучить». Медальон с барельефами выполнен художницей Ниной Петровной Беляевой-Поповой. Жена Николая Константиновича Беляева, талантливый ученик Кольцова, репрессированного в 1929 г. и расстрелянного в 1937 г., она делала чудесные иллюстрации к работам мужа — цветные рисунки тутового шелкопряда.

Закончить очерк о Марии Полиевктовне хочется словами Н.К.Кольцова о директоре русской зоологической станции в Виллафранке А.А.Коротневе, которые как нельзя лучше подходят и к Марии Полиевктовне: «Далеко не всегда русское общество умеет бережно хранить память тех деятелей, работа которых менее бросалась в глаза, но, настойчивая и длительная, мало-помалу принесла значительные результаты. Может быть, переживаемая нами историческая полоса испытаний заставит нас, русских, внимательнее относиться к памяти наших работников и, подводя итоги их деятельности, мы научимся тщательно оценивать тот вклад, который они внесли».■

* На иждивении семьи Кольцовых было немало людей, это и родственники, и пожилые знакомые, оставшиеся без средств, и два студента, которым помогали закончить образование.

** С.Л.Фролова (1884—1955) — цитолог, ученица Н.К.Кольцова, преподаватель Московского университета.

*** Н.Н.Шорыгина (1898—1991) — химик, профессор, родственница Марии Полиевктовны.

ПРИРОДА

популярной
естественно-научно-художественный журнал

Под редакцией
проф. Ж. К. Кольцова и проф. Л. А. Тарасевича.

Французским и немецким научным журналам предоставляется право перевода оригинальных статей и воспроизведение рисунков при условии точной ссылки на источник.

Русским изданиям перепечатка статей и воспроизведение рисунков, помещаемых в журнал "Природа", могут быть разрешены лишь по особому согласию.

ПРИРОДА

ЛЮБИМ

1914

Аммофила и помпил

(Очерки сравнительной психологии)

М.П.Садовникова

На юге Франции, в маленьком городке Сериньяне, живет восьмидесятилетний школьный учитель Фабр (рис.1). Скромный домик с маленькими комнатами, простой обстановкой. В рабочем кабинете небольшой стол почти такой же старый, как его хозяин. Кругом банки, коробки, сетки. За столом согбенная фигура типичного старого учителя в грубых сапогах, в поношенном платье. Кто бы сказал, что это знаменитый энтомолог, написавший десяток томов своих наблюдений! Французская академия не раз присуждала ему высшие награды, и газеты выставляют его кандидатом на премию Нобеля. И русской публике хорошо знакомы увлекательные сочинения Фабра, собранные под названием «Инстинкт и нравы насекомых».

В представлении неспециалиста энтомолог рисуется сухим, узким ученым, который всю

свою жизнь собирает и накалывает на булавки различных насекомых, определяет их названия, считает членики их усиков. Фабр бесконечно далек от такого типа и сам иронизирует над ним. Он часто даже не определяет точно насекомых, им описываемых. Его задача изучать не форму и строение, а жизнь и привычки живого существа. В этом Фабр со своей наблюдательностью и опытом достиг высокого совершенства. Он проложил новые пути научных исследований, пути, по которым теперь идут уже многие ученые-биологи.

Ряд интересных наблюдений Фабра относится к жизни жуков-навозников, которые скатывают навозные шары, роют норки, чтобы спокойно съесть там свою неприхотливую пищу и, в отличие от большинства жуков, обнаруживают удивительные заботы о потомстве. Любопытные и порой неожиданные инстинкты описывает он у жу-



Рис.1. Жан-Анри Фабр.

ков-могильщиков, у листоедов, у сверчков и богомолов, у муравьев рабовладельцев, у одиночных пчел, собирающих мед.

Последний том своих энтомологических воспоминаний Фабр посвятил жизни пауков. Но излюбленным предметом его наблюдений являются хищные роющие осы; большинство из них сами кормятся медом, для своих же личинок собирают животную пищу: насекомых, гусениц, пауков. Живая добыча могла бы повредить маленьким личинкам: ее надо обезвредить, но не убить, так как убитая добыча делается жертвой бактерий, гнивает. На этой почве развивается замечательный инстинкт — оса, не убивая добычи, парализует ее уколами жала в центральные узлы нервной системы. Добыча остается неподвижной, но живой в продолжение долгого времени.

Читатель, незнакомый по личным наблюдениям с жизнью насекомых, может подумать, что эти удивительные инстинкты обнаруживаются лишь у редких, не встречающихся у нас южных форм. Но это не так: большинство из описываемых Фабром фактов можно наблюдать, оставаясь в пределах Центральной России. Такие поверочные наблюдения весьма полезны. Конечно, Фабр не мог увидеть всего, и притом насекомые в нашей полосе обнаруживают несколько иные инстинкты, чем под горячим солнцем юга Франции. Эти слабые отклонения в инстинктах особенно интересны с точки зрения сравнительного метода: только они и могут привести к созданию новой науки сравнительной зоопсихологии, которую у нас в России стремится ввести В.А.Вагнер¹.

Большую услугу в постановке таких наблюдений оказывает фотография. До сих пор сцены из жизни ос-парализаторов были иллюстрированы лишь немногими рисунками, сделанными от руки², в них многое относилось на долю фантазии художника. Этим летом под Москвой мне удалось снять стереоскопической камерой Цейсса несколько интересных моментов из жизни роющих ос: аммофилы и помпила.

Вероятно, многие знают аммофилу: длинную, тонкую, изящную осу, одетую в черное с красной перевязью.

Все лето она, любящая солнце, шныряет по песку, по дорожкам. Наиболее обычный из наших видов, *Ammophila sabulosa*, достигает в длину 2—3 см; другой вид, *Ammophila campestris*, — несколько меньше. Я наблюдала *A.sabulosa*.

¹ Вагнер В.А. Биологические основания сравнительной психологии. В 2 т. СПб., 1913.

² Peckham, Solitary Wasps.

³ Для рассматривания стереоскопических фотографий, помещенных в книге, нет необходимости вырезать их и вкладывать в стереоскоп. Гораздо удобнее пользоваться для этой цели простым американским стереоскопом ценою в 1 1/2—2 рубля, от которого отрезается дощечка для вставки картин, только мешающая и при обычном пользовании.

В жаркий июльский день аммофила устраивает свою норку. Челюстями она выкапывает землю и лапками откидывает ее далеко назад. Работа продолжается несколько часов. Мало-помалу оса скрывается под землей и лишь время от времени вылетает из глубины норки с кусочком земли в челюстях, бросает его на лету и опять возвращается в норку.

Готовое гнездышко состоит из почти вертикального входного канала, 2—3 см длиной, и небольшой круглой или овальной камеры, в которой оса может свободно повернуться. Когда норка кончена, оса прикрывает ее отверстие крупными кусочками земли, но не торопится улететь за добычей: ей еще надо хорошо запомнить место вокруг норки. В продолжение нескольких минут она то взлетает, то бегаёт, то совсем улетает, но вскоре опять возвращается. Наконец она скрывается окончательно. Проследить, куда она улетела, нет никакой возможности, и приходится терпеливо ждать ее возвращения. В местах, посещаемых аммофилой, нетрудно наблюдать и самую охоту. Аммофила отыскивает для своей будущей личинки гусеницу ночной бабочки и, схватив ее, парализует несколькими уколами жала в брюшные нервные узлы. Волоча добычу по земле, аммофила быстро бежит прямо по направлению к гнезду. Невольно удивляешься ее способности ориентироваться, ее памяти. Добравшись до места, где приблизительно находится норка, она оставляет гусеницу и принимается за поиски входа. Быстро разбросаны камешки, прикрывающие вход, и аммофила скрывается в норке, как бы для того чтобы убедиться, все ли в порядке. Я отодвигаю гусеницу; вышедшая аммофила, не найдя добычи, останавливается в изумлении, озабоченно бегаёт вокруг. Находит гусеницу, подтаскивает ее к самому отверстию, но опять не решается внести ее без осмотра норки и одна входит внутрь. Опыт можно повторять много раз, результат всегда тот же. Поражаешься, что оса не обращает никакого внимания на постороннее вмешательство, ее не пугает ни моя тень, ни стоящий совершенно рядом фотографический аппарат, ни блестящий пинцет, которым я отнимаю у нее изо рта гусеницу! Наконец я перестаю ей мешать, и она втаскивает свою добычу в норку (рис.2). Я жду несколько минут, в течение которых аммофила успевает отложить яичко. Вот она появляется с веселым жужжаньем, смешно потягивается, чистится, ее главная роль закончена, остается только закрыть норку. Одну за другой приносит она песчинки, внимательно выбирая материал (рис.3). Я подсовываю ей кусочек стекла, аммофила с пренебрежением отбрасывает его. Когда она улетает, чтобы уже никогда не вернуться, я разрываю гнездышко и вынимаю гусеницу, на которой отложено белое продолговатое яичко до 2 мм длины (рис.4). В стеклянной пробирке можно наблюдать, как вышедшая из яичка личинка в несколько дней поедает

ет гусеницу и превращается в куколку, из которой на следующее лето вылетает оса.

Другая роющая оса, помпил, кормит своих личинок пауками.

Начиная с мая месяца можно видеть помпила бегающим по песку или в траве в поисках добычи. Едва успеешь заметить, как он, набросившись на паука, вводит свое жало и парализует жертву одним ударом: у паука все нервные центры собраны в одну массу. В отличие от аммофилы, у помпила в это время еще нет готовой норки. Надо ее приготовить, оставив добычу в сохранном месте. Помпил подвешивает паука за коготок одной из ножек на верхушке какой-нибудь былинки и уходит рыть норку. Паук остается висеть, ветер колышет его, кажется, что он жив, что движения его произвольны; он действительно жив, но глубоко парализован и неподвижен. Помпил разборчив и нередко, бросив работу в одном месте, он начинает ее в другом. От времени до времени он возвращается к пауку, как бы желая удостовериться в его целостности, а может быть, и для того, чтобы не позабыть дороги. Найдя паука, он дотрагивается до него своими усиками и быстро убегает назад заканчивать постройку. Норка очень проста, на ее приготовление не требуется более четверти часа. Подобно аммофиле, помпил, притащив к норке паука, оставляет его у входа и спускается осмотреть, не забрался ли к нему какой-нибудь враг. Я впустила как-то в этот момент в норку маленького жука; перепуганный помпил быстро выскочил и больше не вернулся назад, унеся паука в другое место. Если все обстоит благополучно, паук вносится в норку и на него откладывается яичко. Затем помпил приступает к закапыванию норки.

Здесь можно поставить интересный опыт: я вынимаю на глазах у помпила паука с отложенным на него яичком — помпил, не обращая внимания, спокойно продолжает закапывать. Очевидно, он не понимает, что работа стала бессмысленной, ненужной! Раскапывая замеченные норки через различные промежутки времени, можно собрать подробную серию развития личинки помпила.

Инстинктом или разумом руководствуются аммофила и помпил при выполнении своих сложных действий? Ясно, что оса не знает анатомии своей жертвы, не знает, что у гусеницы имеется девять нервных узлов, а у паука один. Нельзя думать, что оса понимает, для чего нужна ей добыча; она никогда не видит своих детей, никогда не видала своих родителей, которые могли бы ее чему-нибудь научить. Логическая связь между отдельными поступками очевидно отсутствует в психике помпила, иначе он не стал бы зарывать пустую норку. Вместе со своим целесообразным морфологическим строением помпил унаследовал от своих предков способность производить целесообразный ряд поступков, который он должен слепо выполнить, порядок которых он не может изменить. Помпил

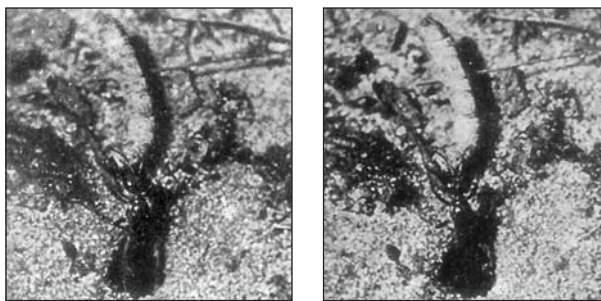


Рис.2. Аммофила втаскивает добычу в норку.

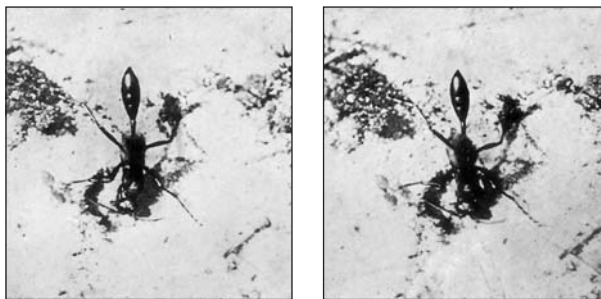


Рис.3. Аммофила, отложив яичко на гусеницу, закапывает норку.

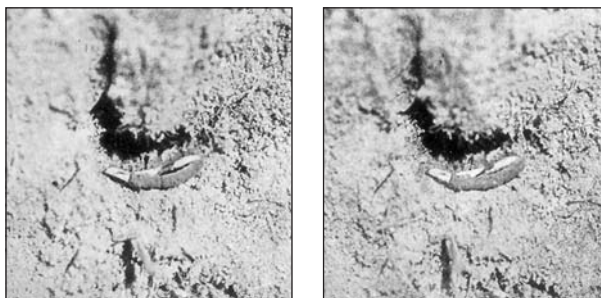


Рис.4. Вскрытая норка аммофилы; в ней парализованная гусеница, уцепившаяся за веточку (слева); справа на гусенице яйцо аммофилы.

точно так же не может парализовать гусеницы, как не может он получить длинной талии и красной перевязи аммофилы.

Перед нами типичный инстинкт — унаследованная способность производить сложные действия без научения и опыта, способность, присущая всем особям данного вида в одинаковой степени. Но все ли поступки наших ос можно отнести к природным инстинктам? Конечно, нет. Помпил рождается с готовым «знанием», что после откладки яйца надо закопать норку, но он не может родиться со знанием местонахождения норки, со знанием былинки, на которую он подвесит паука. И былинку, и норку он каждый раз должен точно запомнить. Способность запоминать не есть уже инстинкт, она является основой той высшей

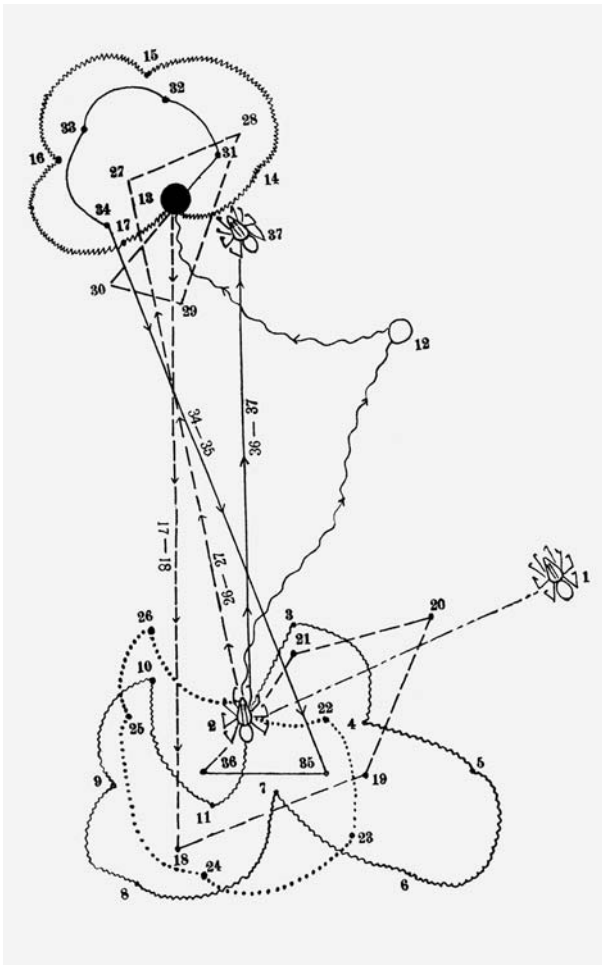


Рис.5. Схема наблюдений за действиями помпила.
 1 — место, где помпил парализует найденного паука;
 2 — помпил привесил паука к былинке;
 3—11 — запоминает место вокруг; 12 — пробует рыть норку, но бросает работу и роет норку в 13;
 14—17 — запоминает место вокруг начатой норки;
 17—18 — идет навещать паука; 18—21 — ищет;
 22—26 — еще раз запоминает место, где висит паук;
 26—27 — возвращается к гнезду; 28—30 — ищет норку, заканчивает ее приготовление; 31—34 — новый осмотр места; 34—35 — помпил идет за пауком;
 35—36 — отыскивает его; 36—37 — приносит к норке.
 Расстояние между былинкой с пауком и норкой представлено на схеме значительно уменьшенным.

психической способности, которую одни называют привычкой (Моргана), другие условным рефлексом (Павлов), пластичностью (Форель) или разумностью (Циглер).

Кто видел, как аммофила, прикрыв землей приготовленную норку, кружится вокруг, останавливаясь моментами, с головой, обращенной к отверстию норки; или как помпил бегаёт вокруг былинки с пауком, тот не может уклониться от вывода, что оса запоминает зрительный образ места.

К этому заключению приходят такие тонкие наблюдатели жизни перепончатокрылых, как Вагнер, Форель, Бутель-Рэпен.

За последние годы появились интересные наблюдения Корнеца над способностью муравьев запоминать и отыскивать место гнезда и добычи. Он доказывает, что муравьи запоминают главным образом направление пути и расстояние, которое их отделяет от запоминаемого пункта. То же самое мы наблюдаем и у помпила, как видно из составленной мною схемы (рис.5).

В пункт 2 помпил подвесил парализованного паука, кружится около былинки, идет отыскивать место для норки, останавливается в точке 12, бросает начатую работу, начинает рыть в пункте 13. Чтобы запомнить выбранное место, бегаёт вокруг. Несмотря на сложные изгибы пути между 2 и 13, в памяти помпила сохранилось только общее направление между этими двумя пунктами, и, отправляясь проведать паука, помпил сразу берет почти правильное направление. Очевидно, кроме того, у помпила удержалось в памяти и расстояние, так как, пройдя по пути 17—18 приблизительно это расстояние, помпил останавливается недалеко от знакомой былинки и принимается за поиски.

Назад к гнезду он возвращается не по своим прежним следам, а по новому пути 26—27. Когда норка кончена, он идет за пауком и возвращается, выбирая каждый раз новую дорогу и руководствуясь всюду в первую очередь зрением, которое у помпила очень хорошо развито, а также чувством направления и знанием расстояния. Это чувство направления не есть таинственное мистическое чувство, связанное с магнитной силой (Бете); по-видимому, оно связано с каким-то органом чувства, как зрение связано с глазом, а слух и чувство равновесия с ухом.

По всей вероятности, определяющую роль в чувстве направления играет мышечное чувство, которое человек знает хорошо по отношению к самому себе. При помощи мускульного чувства (связанного с чувствительными нервными окончаниями в мышцах) мы оцениваем сделанную нами работу, определяем, например, насколько правая сторона работала больше левой, и, следовательно, можем измерить углы, на которые мы повернули свое тело. Способность определять направление пути известна и у человека, в особенности ясно она выражена у диких племен, и нет ничего удивительного, что у насекомых она достигает высшего развития.

Итак, мы видим, что в психической жизни аммофилы и помпила наряду с унаследованными инстинктами наблюдаются благоприобретенные привычки, память, разумность. Но эту разумность мы должны искать не в тех действиях осы, которые нас особенно поражают своей целесообразностью, как приготовление норки, парализование добычи и т.д., а в более незаметных явлениях запоминания места и нахождения дороги.

След человека в истории Канозера

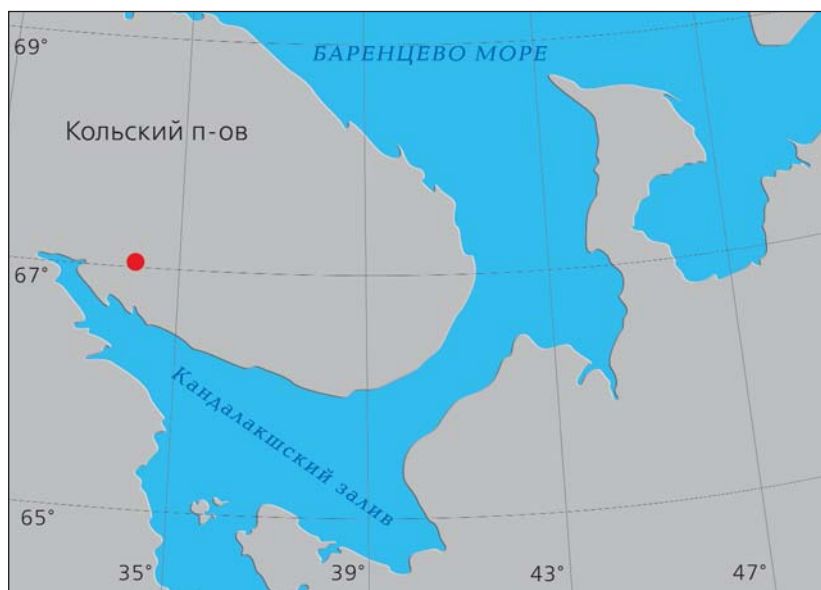
Т.В.Сапелко,
кандидат географических наук
Институт озероведения РАН
Санкт-Петербург

Е.М.Колпаков,
кандидат исторических наук
Институт истории материальной культуры РАН
Санкт-Петербург

С древнейших времен люди селились по берегам рек и озер. Археологические исследования, включающие ныне нивелирование береговых образований, точную топографическую привязку, определение абсолютной высоты изучаемых разрезов и т.д., позволяют проследить даже небольшие колебания уровней озерных бассейнов, раскрывая их историю. В свою очередь палеолимнологические исследования помогают археологам восстановить среду обитания людей в далеком прошлом, понять пути и причины их миграций.

Палеолимнологи Института озероведения РАН в последние годы активно сотрудничают с археологами Института истории материальной культуры РАН и Кунсткамеры (Санкт-Петербург), а в настоящее время ведут комплексные исследования совместно с Кольской археологической экспедицией (КАЭ) под руководством В.Я.Шумкина. К числу важнейших объектов, которые исследует КАЭ, относятся петроглифы Канозера, расположенного на юго-западе Кольского п-ова, в 28 км к северу от Кандалакшского залива Белого моря.

Первые наскальные рисунки на островах Канозера были открыты в 1997 г. С тех пор там работает Кольская археологическая экспедиция, занимаясь поис-



Местоположение Канозера.

ком, фиксацией, изучением рисунков, высеченных еще в эпохи неолита и раннего металла. К настоящему времени найдено уже более 1100 изображений*. Петроглифический комплекс Канозера — уникальный памятник наскального творчества северной Фенноскандии**. Типологические связи канозерских наскальных изображений прослеживаются вплоть до южной Швеции. На территории России,

* Колпаков Е.М. Петроглифы Канозера // Природа. 2008. №2. С.87—88.

** См., напр.: Шумкин В.Я. Новые наскальные изображения Лапландии // Природа. 1992. №2. С.72—80.

Норвегии, Швеции обнаружено всего несколько комплексов такого уровня и масштаба.

В изучении канозерских петроглифов сделаны лишь первые шаги. Когда и в какой последовательности они были выбиты, кто был их творцом, с какой целью они создавались — на все эти вопросы еще предстоит найти ответы. И вот здесь на помощь археологам приходят палеолимнологи.

Датировка петроглифов, за редкими исключениями, связана со значительными трудностями. Время создания канозерских наскальных изображений пока оп-



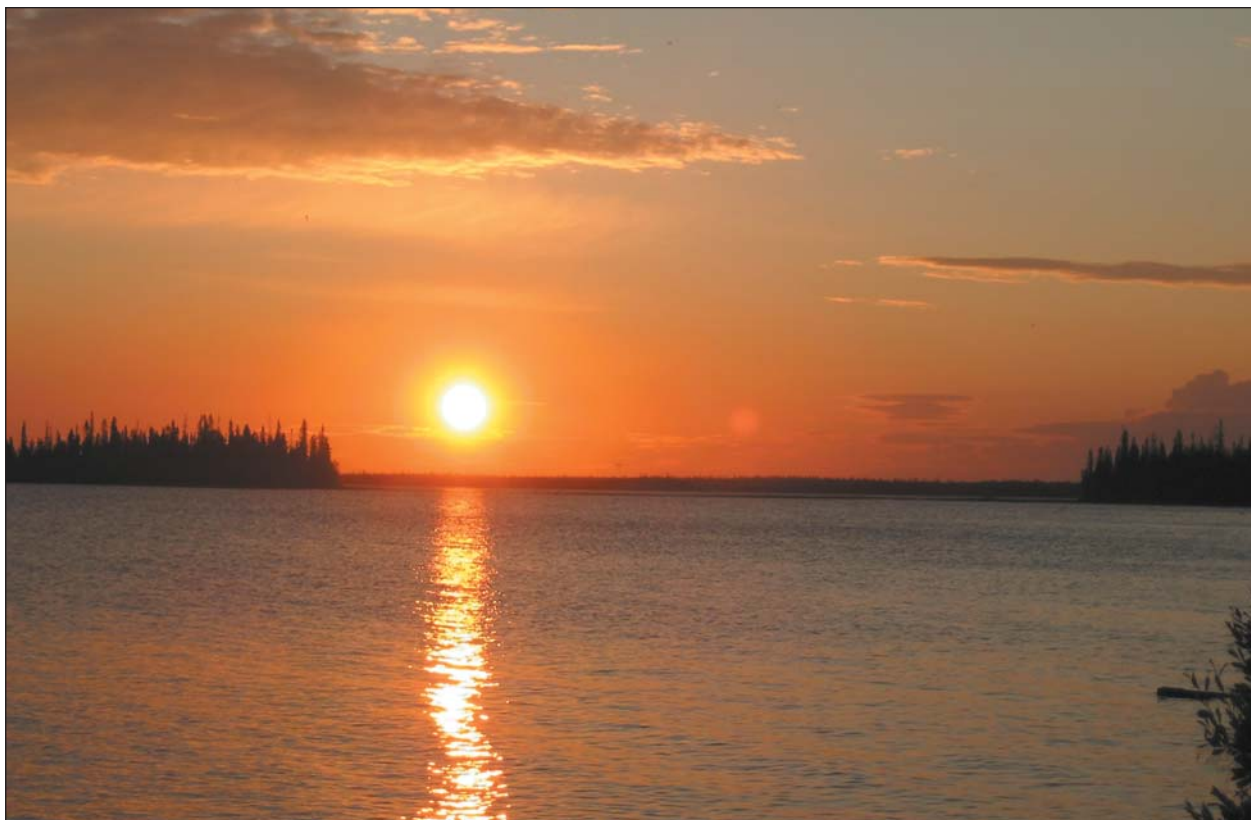
Остров Каменный. Петроглифы расположены над современным уровнем воды на высотах от 0.3 до 7.8 м.

Здесь и далее фото авторов



Петроглифы на о.Еловом, омываемые набегающей волной.

ределяется лишь по аналогии с относительно похожими на них петроглифами Залавруги, которые находятся в устье р.Выг на Белом море, в Карелии. На Залавруге были обнаружены выбивки, перекрытые культурным слоем с вещами и остатками очагов. По образцам из очагов получены радиоуглеродные даты. Фрагменты керамики позволили датировать культурный слой на основе типологического метода. Таким образом было установлено время, позднее которого петроглифы Залавруги не могли быть созданы. Реконструкция же береговых уровней, изменявшихся в связи с изостатическим поднятием Балтийского щита и относительным понижением уровня моря, позволила определить время, ранее которого петроглифы Залавруги не могли появиться на свет, поскольку скалы, на которых они выбиты, находились под водой. Все эти данные позволили археологу А.М.Жуль-



Закат на Канозере.

никову отнести памятники Завлауги к 4–3-му тысячелетию до н.э. Именно эта датировка прилагается сейчас и к канозерским изображениям.

Разумеется, однако, что датировать петроглифы Канозера необходимо не по аналогии с другими памятниками, а непосредственно. Возраст и условия формирования этого петроглифического комплекса как раз и должны помочь уточнить палеолимнологические исследования. Реконструкция и датирование уровней воды в озере позволят обосновать возраст петроглифов, которые ныне располагаются над современным его уровнем, на высотах от 0 до 8 м.

Летом 2008 г. в ходе полевых работ были отобраны колонки донных отложений в различных точках как самого Канозера, так и других озер (Треугольного, Ахмоламина), расположенных на разных абсолютных отметках. Используя литологический,

палинологический, диатомовый и другие виды анализов, мы получили первые результаты, позволяющие охарактеризовать последовательные этапы формирования Канозера — от позднеледникового до современного. Задача дальнейших исследований — уточнить хронологию изменений уровня этого водоема на протяжении рассматриваемого периода.

Выполненный на данный момент анализ колонки донных отложений из Кирвинской губы Канозера дает представление о том, в каких условиях развивался водоем. В период позднеледникового на этой территории накапливались светло-серые глины. В то время (около 10 тыс. лет назад) здесь существовал крупный приледниковый пресноводный бассейн. По-видимому, современная Кирвинская губа была прибрежной зоной этого водоема. Судя по распространению тундровых ланд-

шафтов с небольшим участием древесных пород (в основном березовых редколесий), климат тогда был холодным. На основе палинологического анализа можно говорить о позднеледниковом возрасте светло-серых глин, а выделенный этап отнести к позднему дриасу (более 10 тыс. лет назад).

На следующем этапе климат несколько улучшается. Происходит смена характера седиментации — переход от светло-серых глин к зеленовато-бурой однородной гиттии (иловой грязи). В связи с потеплением более широко распространяются березовые леса. В древостое появляются сосны. Увеличивается процент пыльцы кустарничков и кустарничков. Климат еще прохладный, но более влажный. По распространению макрофитов можно судить о начале снижения уровня водоема, который до этого был выше современного. Предварительно этот этап



Изображение загарпуненного китообразного, которое никогда не водилось в Канозере.

отнесен к пребореальному времени (10 300—9300 лет назад).

На третьем этапе климат становится теплее и суше. Отмечен переход от зеленовато-бурой к коричневой детритовой гиттии. Растительность приобретает черты северотаежного типа. Распространяются как березовые, так и сосновые леса. Возрастает число бореальных видов, а число представителей гипоарктических сокращается. Однако нет еще пыльцы термофильных видов растений. Отсутствие макрофитов при широком распространении осок подчеркивает резкое снижение уровня водоема — начинается процесс заболачивания северной части Кирвинской губы, продолжающийся и по сей день. Глубина залива постепенно уменьшается вследствие заполнения котловины донными осадками. Теперь можно говорить о начальном этапе формирования современного озера, который относится к бореальному времени (9300—8000 лет назад). Делавшиеся ранее предположения, что около 8600 лет назад Канозеро было заливом Белого моря, наши исследования не подтвердили. В тот период водоем был пресноводным и в нем отсутствовала морская флора.

Следующий этап в истории Канозера характеризуется наиболее мягким климатом и среднетаежными ландшафтами; эти условия вполне благоприятны: тепло и влажно. Разрастаются сосновые леса с включениями берез, ели и широколиственных пород. Увеличивается продуктивность водоема, при этом активно продолжается его заболачивание. С большой степенью уверенности этот этап можно датировать как атлантический (8000—4500 лет назад). Именно в тот период здесь могли появиться люди. Однако памятников этого времени вокруг озера не найдено. Его уровень тогда был невысоким, а берега заболочены.

Затем климат становится более прохладным. Характер растительности вновь приобретает черты северотаежного типа. Шире распространяются сосновые и сосново-еловые леса. На заболоченных участках водосбора увеличивается количество берез в древостое. Уровень водоема продолжает снижаться, о чем свидетельствует не только процесс заболачивания, но и появление пыльцы водных растений. Осадки сформировались, видимо, в суббореальное время (4500—2500 лет назад). Возмож-

но, вновь наступившее похолодание заставило людей с северных территорий продвигаться на юг. Так они дошли и до Канозера, оставив здесь свои наскальные рисунки.

Природная обстановка на последнем этапе истории озера, который мы отнесли к субатлантическому времени (от 2500 лет назад), практически отвечает современной. Распространяются северотаежные ландшафты с преобладанием сосновых лесов, правда, в их составе становится больше ели. Сравнение выделенных палинологических спектров со взятыми поверхностными пробами донных отложений, характеризующих современную растительность, говорит об их схожести. Уровень водоема, по-видимому, несколько повысился и стал соответствовать нынешнему, из чего можно заключить, что на предыдущем этапе он был ниже современного. Повышение уровня озера привело к подтоплению его побережья и островов, что, вероятно, могло смыть стоянки. Таким образом и некоторые наскальные рисунки оказались у самой кромки воды или вообще под водой.

Как показали наши исследования, в давние времена, например в атлантический период, озеро, как и сейчас, было малопривлекательным для поселения человека — непроходимые болота на многие километры окружали его со всех сторон. На берегах и островах археологам удалось найти лишь скудные следы кратковременных стоянок, следов же самих древних поселений пока не обнаружено.

Итак, изучение природной обстановки в этом районе Кольского п-ова помимо решения субгубо палеогеографических задач позволяет комплексно подойти к уточнению возраста и этапов формирования петроглифического комплекса Канозера. Выводы о пребывании на Канозере людей носят предварительный характер, но исследования продолжаются. ■

Новости науки

Планетология

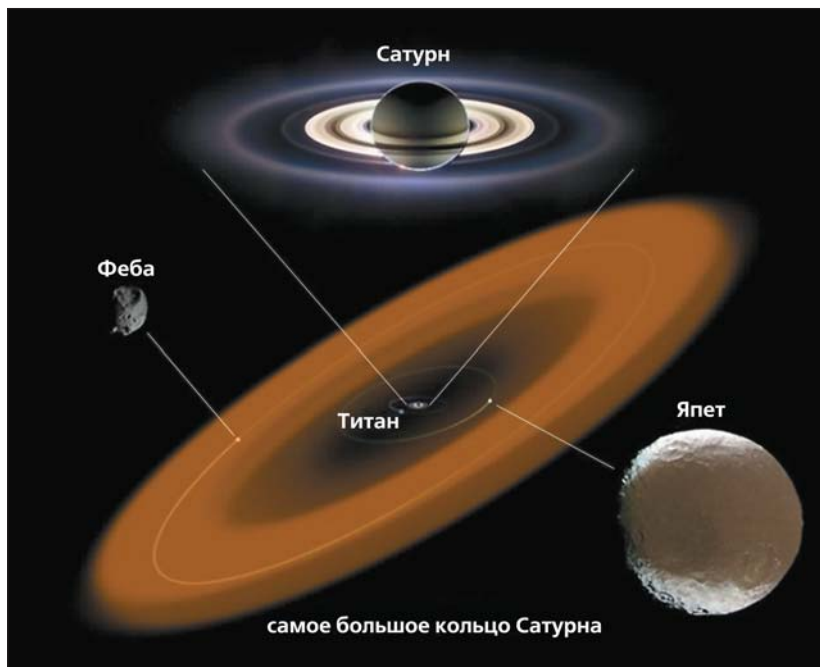
Обнаружено самое большое кольцо Сатурна

Космический инфракрасный телескоп «Spitzer» (NASA) открыл необычное кольцо Сатурна — самое большое среди известных колец у планет Солнечной системы¹. От поверхности своих планет большинство колец располагается на расстоянии нескольких радиусов; это вызвано гравитационным притяжением планеты, разрушающим вблизи себя крупные спутники и превращающим их в кольца.

Новое кольцо Сатурна находится очень далеко от основной системы колец — на расстоянии от 128 до 207 радиусов планеты (напомним, что радиус Сатурна составляет 60 330 км). Частицы этого кольца располагаются симметрично относительно плоскости орбиты Сатурна, в отличие от всех других колец, которые лежат в экваториальной плоскости планеты, наклоненной на 27° к плоскости орбиты.

Вещество кольца обнаруживается начиная с расстояния примерно 6 млн км от планеты и прослеживается далее еще на 12 млн км. Один из удаленных спутников Сатурна, Феба, движется в пределах нового кольца и, вероятно, поставляет материал для него. В отличие от «классических» спутников и ранее известных компактных колец Сатурна, частицы нового кольца, как и сама Феба, движутся по орбите в обратном направлении.

Для земного наблюдателя видимый размер нового кольца на небе равен двум диаметрам полной Луны (правда, из-за низкой



Система Сатурна в инфракрасном диапазоне. Сатурн со своими кольцами выглядит как маленькая точка в центре системы. Диаметр нового открытого кольца примерно эквивалентен 300 радиусам Сатурна.

Здесь и далее изображения НАСА

яркости заметить глазом это кольцо невозможно). В отличие от всех других известных колец, новое кольцо Сатурна толстое — его высота около 40 радиусов планеты. Насколько это много, показывает сравнение с размером нашей планеты: для заполнения объема кольца понадобилось бы около миллиарда планет Земля.

Кольца Сатурна впервые были описаны Х.Гюйгенсом в 1655 г. С тех пор об этой системе собрано много данных, особенно большой вклад внес полет зонда «Cassini-Huygens». До недавнего времени самым дальним и самым большим из известных колец Сатурна считалось кольцо E, которое простирается на расстояние от 3 до 8 радиусов планеты, а ве-

щество получает от активных гейзеров на ледяном спутнике Сатурна — Энцеладе.

Новое кольцо состоит из частиц льда и пыли. Оно очень разреженное. Если бы мы оказались внутри кольца, то просто не заметили бы его: в 1 км³ находится всего 10–20 частиц вещества. Чувствительные инфракрасные детекторы телескопа «Spitzer» смогли обнаружить свечение холодной пыли, имеющей температуру всего около 80 К. Экстремально разреженное состояние кольца приводит к тому, что оно отражает очень мало света и поэтому практически невидимо. Обычными методами его до сих пор не удавалось обнаружить, однако возможность его существования предпо-

¹ Nature. 2009. №461. P.1098–1100.



Спутник Япет.

лагали на основе недавнего открытия других колец, тоже связанных со спутниками Сатурна и состоящих из выброшенного ими вещества (например, обнаруженные в 2006 г. кольца Янус и Эпиметей). До полетов «Cassini» такой непосредственной связи колец со спутниками не предполагалось.

Открытие кольца поможет решить загадку одного из спутников Сатурна. Речь о Япете, который имеет очень странный вид: одна его сторона светлая, а на другой — огромное темное пятно. Астрономы давно подозревали, что существует связь между темной областью на Япете и спутником Феба. Новое кольцо предоставляет убедительные доказательства такой связи. Наблюдения с борта «Cassini» в ближнем ИК-диапазоне обнаружили спектральное подобие между Фебой и темным веществом на спутниках Япет и Гиперион. А это свидетельствует о единой природе материала на всех трех телах. Исследователи считают, что кольцо Фебы может быть ответственным

за темные пятна на Япете, а также за красноватые вкрапления на Гиперионе. Однако астрономам до сих пор не удалось точно определить структуру кольца и его состав, чтобы подтвердить эту гипотезу.

Дальнейшие наблюдения кольца Сатурна станут возможны лишь после запуска инфракрасного телескопа «James Webb Space Telescope» в 2014 г.

© Н.Т.Ашимбаева,
кандидат физико-математических наук
Москва

Физика. Энергетика

Energy harvesting: энергия, собранная по крохам

Когда говорят об альтернативных источниках энергии, обычно выделяют три ресурса: свет (от Солнца), тепло (например, земных недр) и всякого рода движение (ветер, течения, приливы и т.п.). Для источников питания,

автономных датчиков и медицинских имплантантов, для средств связи и мобильной электроники перспективен лишь третий ресурс: работа фотоэлементов требует наличия светового потока, а термоэлементы — больших перепадов температуры между частями устройства, что трудно осуществить в миниатюрных приборах.

Одна из наиболее популярных схем сбора энергии основана на использовании упругой консоли из пьезоэлектрического материала, механические вибрации которой преобразуются в колебания электрического напряжения. Расчеты показывают, что резкое увеличение эффективности такого метода наблюдается на тонких пластинах толщиной в несколько десятков нанометров: их изгибная деформация дает в поляризацию дополнительный вклад, в разы превосходящий обычный, «объемный», пьезоэлектрический эффект¹.

Любопытное развитие такой схемы сбора энергии предложили американские исследователи: они изготовили консоль из двух жестко связанных между собой слоев — пьезоэлектрического и магнитострикционного². Последний при колебаниях в магнитном поле Земли испытывает дополнительные деформации, которые передаются пьезоэлектрическому слою. В результате амплитуда переменного напряжения удваивается по сравнению со случаем чисто пьезоэлектрической консоли. Такое устройство можно использовать на подводных аппаратах и буях — энергию океанских волн усилит магнитное поле Земли. Здесь необходимо одно замечание: частоты колебаний, встречающиеся в естественных условиях, невелики — герцы, от силы десятки герц. Это означает, что, с одной стороны, вырабатываемая агрегатом мощность (она пропорциональна кубу частоты) будет очень мала, а с другой — размеры конструкции получатся отнюдь не микро-

¹ Majdoub M.S. et al. // Phys. Rev. B. 2008. V.78. P.121407(R).

² Shuxiang Dong et al. // Appl. Phys. Lett. 2008. V.93. P.103511.

скопическими¹. Так, описанная система представляет собой пластину длиной 10 см, шириной 2 см и толщиной 3 мм с грузиком массой 1 г и вырабатывает 1 мкВт в пересчете на 1 см³ (для сравнения: литий-ионная батарея емкостью 1 кДж/см³ может работать в таком режиме 30 лет).

Большие надежды возлагаются на использование других видов колебательного движения. Так, расположенные в ботинке пьезоэлементы позволят вырабатывать при ходьбе до 1 мВт/см³, а вибрации мотора автомобиля дадут до 30 мВт/см³. Конечно, пока и речи нет о том, чтобы подобные устройства пришли на смену аккумуляторам в сотовых телефонах и карманных компьютерах. Сам сбор «урожая» такой дармовой энергии (energy harvesting), скорее, можно описать, как в «Колобке»: «по сусекам поскрести, по амбарам помести». И это объясняет, почему в таких случаях часто используют другой термин — energy scavenging (в буквальном переводе с английского scavenging означает «уборка, утилизация мусора»).

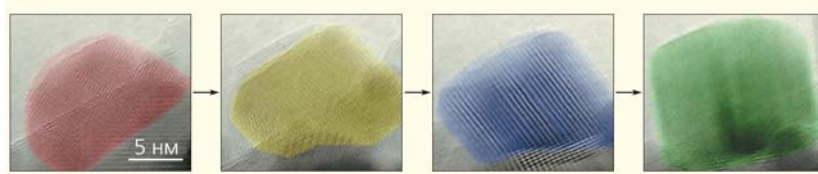
<http://perst.issp.ras.ru>
(2009. Т.16. Вып.1/2).

Физика

Нановзгляд на рост кристаллов

Кристаллы обычно зарождаются в расплаве и затем растут, приобретая в итоге совершенные формы. Детальный механизм этого процесса пока окончательно не понят. Свыше 100 лет назад В.Оствальд, основываясь на результатах визуального наблюдения за кристаллизацией переохлажденных расплавов и пересыщенных растворов, сформулировал так называемое правило стадий: кристалл формируется путем цепочки последовательных переходов из одного метастабильного состояния в другое, пока не достигнет термодинамического равновесия. Группа атомов спонтанно образует маленький упорядоченный кластер,

¹ Mitcheson P.D. et al. // Proc. IEEE. 2008. V.96. P.1457—1486.



Последовательность изменения состояния нанокристалла LiFePO₄ в процессе его роста при T = 450 °C по данным электронной микроскопии высокого разрешения. Промежуток времени между первым и последним кадром составляет 4 мин.

который начинает расти за счет присоединения к нему других атомов, но при этом остается термодинамически неустойчивым и поэтому в любой момент может вновь «раствориться». Диссоциация прекращается только тогда, когда размеры этого кластера достигают критической величины, при которой потеря энергии за счет упорядочения атомов внутри кластера становится больше, чем приращение энергии из-за формирования у кластера «поверхности».

Пока радиус кристаллита меньше критического, новые атомы могут присоединиться к нему только в случае, если им удастся преодолеть определенный энергетический барьер. Оствальд предположил, что существуют некоторые промежуточные состояния кластера, для которых этот барьер сравнительно низок и потому может быть легко преодолен за счет термических возбуждений, так что кластер успеваеет дорасти до термодинамически устойчивого размера.

Изучение начального этапа образования кристалла осложняется высокой скоростью роста зародыша до критической величины и большим количеством таких зародышей, одновременно присутствующих в расплаве. Эти трудности преодолели корейские ученые², изучавшие не рост кристаллов в расплаве, а рекристаллизацию аморфной фазы. Подбирая температуру системы в интервале между температурами рекристаллизации и плавления, они смогли регулировать характерное время формирования кристаллитов и довести его

² Chung S.-Y. et al. // Nature Phys. 2009. V.5. P.68—73.

величину до нескольких минут, что доступно для экспериментального наблюдения. Кроме того, они использовали локальную электронную микроскопию, что позволило проследить за «жизнью» отдельных кристаллитов. В целом правило Оствальда подтвердилось: наблюдались последовательные переходы кластера-нанокристаллита от менее устойчивых кристаллических форм к более устойчивым. Детали микроскопического механизма таких переходов еще предстоит выяснить.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2009. Т.16. Вып.1/2).

Медицинская физика

Токсичны ли для человека углеродные нанотрубки?

Исследования, проведенные итальянскими учеными³, показали, насколько важно правильно применять эти новые уникальные материалы.

В работе изучалось воздействие многостенных углеродных нанотрубок (МСНТ) на три типа клеток человека (in vitro) и на лабораторных мышей и крыс (in vivo), а также исследовались иммунологические эффекты. Применявшийся коммерческий материал, по данным его производителей, на 90% состоял из многостенных нанотрубок (диаметром 110—170 нм, длиной 5—9 мкм), содержал остаточный аморфный углерод и менее 0.1% примесей металлов. Перед экспериментами МСНТ не модифицировали, но стерилизовали.

³ Chiarelli M. // J. Phys.: Condens. Matter. 2008. V.20. P.474203.

Суспензии с различной концентрацией МСНТ (10, 20 и 40 мг/кг) вводили внутрибрюшинно нескольким группам мышей. Их поведение, внешний вид и физиологические функции исследовали в соответствии с тестом Ирвина, который используется в фармакологии при оценке новых лекарственных средств. Эффекты многократного воздействия изучали на группе из четырех мышей, которым в течение семи дней ежедневно вводили дозу 5 мг/кг массы тела.

Тест Ирвина не выявил никаких существенных нейровегетативных или поведенческих нарушений, кроме незначительного кратковременного снижения активности непосредственно после воздействия. В группах мышей, которым однократно вводили суспензию МСНТ по 20 и 40 мг/кг массы тела, за время эксперимента зарегистрировано по одному случаю смерти.

Гистологические исследования 24 животных не выявили никакой патологии ни в плевральной, ни в перикардиальной полости. При высокой дозе в 40 мг/кг наблюдался адгезивный перитонит и четко различались агрегаты нанотрубок; при дозе в 20 мг/кг перитонит был менее выражен, агрегаты МСНТ отсутствовали. Когда в течение недели ежедневно вводилась доза в 5 мг/кг, никаких отклонений в поведении мышей и случаев смертности не зарегистрировано, но при вскрытии обнаружилось отложение МСНТ в брюшине. Безвредными оказались дозы многостенных нанотрубок при иммунологических исследованиях — различий между подопытными и контрольными животными не выявлено.

На двух крысах изучался эффект имплантации МСНТ: в мышцы спины через глубокий надрез (с анестезией) одной внедрили 20 мг нанотрубок, а другой — 5 мг. Первая погибла через 180 мин; вторая на седьмой день была в нормальном состоянии, наблюдалась только вполне ожидаемая гранулематозная реакция на инородное тело.

Исследователи отмечают, что МСНТ действуют на три типа клеток человека по-разному: в одном случае число клеток снижалось, что говорит о цитотоксичности нанотрубок; в другом этот эффект наблюдался лишь при высокой дозе; в третьем никакого эффекта вообще не было.

Таким образом, в экспериментах *in vivo* однократные дозы МСНТ в 5 и 10 мг/кг массы тела оказались безопасными, чего нельзя сказать о высоких дозах. При имплантации доза в 20 мг/кг — чрезмерно велика, а 5 мг/кг не вызывали никаких патологических реакций. Исследования *in vitro* показали, что отклик на воздействие нанотрубок может зависеть от клеточной линии и типа ткани.

Авторы не касались вопроса канцерогенности нанотрубок — для этого нужны специальные исследования. В целом же, хотя дозы МСНТ в 5 и 10 мг/кг массы тела оказались нетоксичными, исследователи призывают к осторожному использованию нанотрубок в медицинских целях¹.

<http://perst.iissp.ras.ru>
(2009. Т.16. Вып.1/2).

Экология

«Полезные знакомства» с азотфиксаторами

Как известно, азот находится в воздухе в недоступной для усвоения форме, использовать его могут только азотфиксирующие бактерии. Именно поэтому желающих завести с ними «полезное знакомство» немало среди всех основных царств живых организмов. Самый известный пример у растений — это клевер, в корневых клубеньках которого живут азотфиксирующие бактерии. Некоторые грибы вступают в симбиоз с цианобактериями, образуя лишайники. В этих случаях клевер и грибы дают прокариотам место

¹ См. также публикации в «Природе»: Вредны ли углеродные нанотрубки? (2006. №4. С.82—83); Биосовместимость нанотрубок с живыми организмами (2006. №8. С.82); Углеродные нанотрубки против бактерий (2009. №11. С.83).

обитания, а те взамен снабжают их азотом.

У животных симбиоз с азотфиксирующими бактериями тоже не редкость (различные их виды находят в кишечном тракте у многих животных, как позвоночных, так и беспозвоночных). Недавно группа американских ученых из Висконсинского университета² открыла неизвестный ранее симбиоз муравьев-листорезов (*Atta* sp.) и бактерий из родов *Klebsiella* и *Pantoea*.

Листорезы — один из наиболее эволюционно продвинутых и распространенных видов муравьев в Южной Америке. Они строят колоссальные по размерам муравейники и вытаптывают тропы, вполне сравнимые по ширине с человеческими. Но больше всего они известны своими «грибными садами».

В каждом муравейнике есть специальные камеры, выполняющие функции теплиц. Там принесенные листья рабочие особи размалывают, смешивая со слюной, и выкладывают из них «грядки», на которых выращивают грибы. Листья используются только в качестве субстрата, а грибы идут в пищу. Таким образом, муравьи получают еду, создавая грибам необходимые условия для жизни. Листорезы защищают свои грядки от «сорняков» — плесени — с помощью бактерий: во рту у муравья есть специальная камера, в которой живут актиномицеты, способные вырабатывать вещества, которые подавляют рост некоторых видов плесени.

Исследуя содержание азота в муравейнике, ученые заметили, что меньше всего его в свежих принесенных листьях, на порядок больше — в «грибных садах» и теле муравьев и еще больше — в обработанных листьях. Те же результаты были получены при работе с лабораторным муравейником. Откуда же взялся дополнительный азот? В условиях эксперимента он не мог попасть из почвы. Используя изотопный метод, ученые показали, что азот из воздуха включается в состав органических веществ.
² Pinto-Tomás A.A. et al. // Science. 2009. V.326. №11. P.20 (США).

чается в состав грибного мицелия, откуда затем переходит в организм муравья. Оказалось, что в субстрате «грядок» живут азотфиксирующие бактерии из родов *Klebsiella* и *Pantoea* — именно они и помогают листорезам справиться с дефицитом столь необходимого им элемента. Часть неиспользованного муравьями азота попадает в окружающую среду вместе с отработанными листьями — по оценкам экспериментаторов, одна колония листорезов может внести в экосистему до 1.8 кг фиксированного азота в год.

Экологический успех листорезов можно объяснить тем, что они используют растения разных таксонов, в отличие от других насекомых, «привязанных» к одному виду. Доверяя переработку листьев грибам, муравьи не попадают под действие токсинов, которые растения направляют против насекомых. В то же время, будучи посредником между деревом и грибом, муравьи помогают грибу преодолеть защитный барьер растения.

Так благодаря симбиотическим азотфиксаторам муравьи-листорезы смогли стать одним из самых распространенных в Южной Америке видов муравья.

© В.С.Мухина
Москва

Геология

Газогидраты Беринговоморского региона

Единственным неразработаемым сегодня источником природного газа остаются газогидраты, обладающие огромным ресурсным потенциалом. О новом открытии газогидратов в Беринговом море сообщили Н.А.Петровская и Е.В.Грецкая (ОАО «Дальморнефтегеофизика», Южно-Сахалинск). Зоны их распространения с максимальной площадью до 1600 км² были выявлены на глубинах 600—2600 м по данным региональных сейсмических исследований, проведенных в 1988—2007 гг.

Известно, что газогидраты в основном приурочены к континен-

тальному склону и подножию различных структур Мирового океана; их скопления сосредоточены в рыхлых неконсолидированных осадочных отложениях, в пределах которых невозможна латеральная миграция углеводородов. В Беринговом море присутствие газогидратов было подтверждено В.А.Панаевым еще в 1987 г. бурением скважины: в ней на глубине 610 м (при величине водного слоя 2110 м) в миоценовых терригенных отложениях был обнаружен 10—15-метровый горизонт, насыщенный газом. А в 1997 г. по результатам сейсмических исследований открыто около 12 тыс. участков скопления газогидратов (26 трлн м³) и подгидратных скоплений свободного газа (5.6 трлн м³) в южной глубоководной (более 3.5 км) части Берингова моря (Б.М.Валяев). Благодаря проведенным в 1988—2007 гг. сейсмическим исследованиям в Хатырском осадочном бассейне и в глубоководной части Берингова моря выявлены зоны развития твердых углеводородных газогидратов.

Геология морей и океанов. Тезисы докладов XVIII Международной школы морской геологии. Т. II. М., 2009. С.86—89.

Гляциология

Подземные льды российской Субарктики

Залежные подземные льды, широко представленные как в отложениях равнин, так и в горных районах, формировались в определенных геолого-географических условиях, «память» о которых сохраняется в особенностях их строения, свойствах льда и вмещающих пород. Поэтому, считает Н.А.Шполянская (Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова), к таким льдам следует относиться как к прямым свидетелям палеогеографического развития районов их распространения. Немалую информацию содержат подземные льды и о плейстоценовой истории российской Субарктики.

Поскольку подземные льды по своему происхождению неоднородны, автор подразделяет их на пять генетических типов: субма-

ринные (1), прибрежно-морские (2), полигонально жильные (3), инъекционные (4) и погребенные глетчерные (5). Преобладание того или иного типа позволяет реконструировать палеогеографическую историю района.

Субмаринные и прибрежно-морские пластовые льды широко распространены на низменных равнинах северо-востока Европейской России, Западной Сибири и Чукотки. Эти льды всегда приурочены к морским отложениям и чаще всего отличаются тонким переслаиванием льда и грунта. Субмаринные льды формировались в глубоководных условиях в процессе одновременного накопления и промерзания донных осадков. При глубине моря от 40—50 до 200 м устанавливается самая низкая температура придонных вод (от –1.6 до –1.8°С). Их соленость препятствует замерзанию, но по мере накопления осадков на некоторой глубине от поверхности дна наступает такое соотношение температуры и солености поровых вод, при котором снизу вверх начинает нарастать пресная льдистая толща. В глинистой вмещающей породе соли адсорбируются, а в песчаной скапливаются в замкнутых линзах с очень высокой минерализацией (криопэгах). Во многих районах шельфа присутствует изначально субмаринная криолитозона (вечная мерзлота), формирование которой продолжается и поныне.

Прибрежно-морские льды образуются в краевых частях морского бассейна. Они появляются в основании сезонно-талого слоя при регулярном нагонном затоплении берега. По мере накопления осадков сезонно-талый слой перемещается вверх, а вместе с ним и надмерзлотный водоносный горизонт — так снизу вверх нарастает ритмично слоистая льдяная толща. Наиболее часто льды 1-го и 2-го типов встречаются в казанцевских отложениях, т.е. они формировались в период межледниковья в море глубиной не менее 50 м. Есть такие льды и в зырянских отложениях Ямала, Таймыра, Северо-Сибирской низ-

менности и Чукотки, а значит, на этих территориях тогда сохранялся морской режим при менявшейся глубине моря.

Полигонально жильные льды образуются в континентальных условиях на периодически заливаемых водой поверхностях. Для их возникновения необходимы многократное морозобойное растрескивание поверхности грунтов, формирующее полигональную систему трещин, и многократное проникновение воды в трещины с последующим ее замерзанием. Наличие таких льдов свидетельствует об отсутствии ледникового покрова во время их формирования. На Яно-Индиригирской, Колымской, Центрально-Якутской низменностях полигонально жильные льды известны с раннего плейстоцена, что говорит о непрерывно суровом климате и отсутствии на этих низменностях покровного оледенения. На севере Западной Сибири 3-й тип льдов встречается в сарганских и зырянских отложениях Ямала и Гыдана, что исключает и там развитие покровного оледенения.

Льды 4-го типа — инъекционные — известны в районах разгрузки напорных подземных вод, на них всегда остаются следы напорного внедрения воды. Их широкое распространение в российской Субарктике указывает на ограниченное оледенение региона.

Для погребенных глетчерных льдов характерна крупноблоковая слоистость — чередование прозрачного льда и уплотненного грунта. Эти льды отличаются от 1–4-го типов по многим признакам, известны преимущественно в горных районах, приурочены к отложениям холодных эпох.

Анализ подземных льдов приводит автора к выводу о весьма ограниченном распространении в российской Субарктике древнего оледенения; покровных ледниковых цитов в плейстоцене, скорее всего, не было нигде к востоку от п-ова Канин.

Материалы VI Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Новосибирск, 19–23 октября 2009 г. С.647–650.

Организация науки

Внеочередной съезд Русского географического общества

17–18 ноября 2009 г. в Москве, в здании президиума Российской академии наук, состоялся внеочередной съезд Русского географического общества (РГО), на котором были приняты поправки в уставе и произошла смена руководства этой крупной общественной организации с очень давними традициями. Президентом РГО вместо ушедшего в отставку вице-адмирала А.А.Комарицына тайным голосованием избран С.К.Шойгу, министр РФ по чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Председателем попечительского совета общества стал премьер-министр РФ В.В.Путин.

Русское географическое общество, основанное в 1845 г. по инициативе членов Петербургской академии наук Ф.П.Литке, К.М.Бэра, Ф.П.Врангеля и других крупных ученых, стало инициатором проведения уникальных экспедиций, исследовавших территорию и богатейшие ресурсы нашей страны. Через РГО многие экспедиции финансировались российскими меценатами. Спустя несколько лет после создания общества появились его подразделения в разных регионах России — от Камчатки до Кавказа. Около 70 лет РГО именовалось Императорским; дважды его председателями становились великие князья Романовы: в 1850 г. — Константин Николаевич, в 1892-м — Николай Михайлович¹, который находился на этом посту вплоть до 1917 г. До революции в составе членов общества состояло около 10 тыс. человек, в советское время его численность возросла почти до 30 тыс.

Центральная организация РГО по сей день располагается в Санкт-Петербурге (пер.Гривцова,

¹ Ярукова Л.И. Последний председатель Императорского Русского географического общества // Природа. 2003. №3. С.46–51.

д.10). Хранящиеся здесь богатейшие коллекции и архивы, к сожалению, находятся в непригодных условиях. Крупный московский центр РГО некогда имел помещение на ул.25-го Октября (ныне Никольская). Здесь работали отделы и комиссии общества, проходили конференции. После того как в 90-х годах помещение откупила частная фирма, московский центр вынужден был приютить Институт географии РАН. Связи РГО с Российской академией наук всегда были тесными; к сожалению, в последнее десятилетие финансовая поддержка академии значительно сократилась. Ныне РГО существует на членские взносы и поступления от подписки на журнал «Известия Русского географического общества». Естественно, что на такие средства проводить экспедиции и пропагандировать их результаты чрезвычайно трудно. Новый президент РГО Шойгу, выступая в день открытия внеочередного съезда, отметил: «Общество было незаслуженно забыто властью, благотворительными структурами и россиянами в целом»².

18 ноября, когда кроме делегатов съезда в зале присутствовали гости и большое число студентов-географов, на форуме выступил В.В.Путин. Он подчеркнул актуальность возрождения традиций Русского географического общества, выразил надежду на его успех в научных исследованиях, усилении охраны природы, развитии экологического туризма, освещении проблем взаимодействия природы и общества в средствах массовой информации³.

Новый президент РГО наметил некоторые направления развития общества, в том числе привлечение молодежи, подчеркнул важность обеспечения сохранности архивов РГО и выразил надежду, что благодаря поддержке попечительского совета удастся реализовать потенциал Географического общества, способствовать новому витку в развитии исследовательских проектов и воспитании у граждан бережного отношения

² <http://www.ras.ru/news/>

³ Там же.

к природе страны. О значении РГО и географической науки говорили на съезде видные географы — директор Института географии РАН почетный президент РГО В.М.Котляков и декан географического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова Н.С.Касимов.

Внеочередной съезд был организован Президиумом и Ученым советом РГО, Отделением наук о Земле РАН. Генеральный спонсор — Культурный фонд «Крепость Пор-Бажын»¹, созданный в 2006 г.; его попечительский совет возглавляет Шойгу. Первый проект фонда был связан с исследованием крепости VIII в., расположенной на острове посреди оз.Терехоль на юго-востоке Тувы; второй — с восстановлением древнего тувинского монастыря Устуу-Хурээ. В экспедициях наряду со специалистами участвовали более 800 студентов из Москвы, Санкт-Петербурга, Казани, Красноярска и Кызыла. «Пор-Бажын» — крупнейший проект в области научного туризма.

© М.Ю.Зубрева
Москва

Палеонтология

Вымирание мегафауны в Северной Америке

Переход от плейстоцена к голоцену сопровождался значительными перестройками в животном и растительном мире на протяжении периода 18—6 тыс. лет назад. К наиболее характерным чертам перехода относятся массовое вымирание крупных млекопитающих (34 рода) и возникновение растительных сообществ, которые не имеют аналогов в современной биосфере. Причины таких изменений и последовательность событий до сих пор дискуссионны.

Вымирание мегафауны Северной Америки в конце плейстоцена совпадает по времени с отступлением ледников и сменой растительных сообществ. К предполагаемым причинам вымирания относят изменения климата,

¹ Культурный фонд «Крепость Пор-Бажын». М., 2009.

охоту первобытных людей или сочетание этих двух факторов; их сравнительная роль остается предметом дебатов. Экологические объяснения тоже спорны: одни авторы считают, что смена растительных сообществ привела к дроблению и утрате местообитаний крупных млекопитающих, другие указывают, что, напротив, облик растительных сообществ во многом определяется крупными растительными видами, которые избирательно поедают разные виды деревьев, трав и кустарников, участвуя в то же время в распространении их семян. Выдвигается также гипотеза столкновения Земли с астероидом или кометой 12.9 тыс. лет назад, но как к причине вымирания многие специалисты относятся к ней скептически.

Группа американских ученых под руководством Ж.Гилл (J.Gill; Университет штата Висконсин, США) изучала донные осадки оз.Эппельман в штате Индиана и нескольких озер в штате Нью-Йорк. Датированные радиоуглеродным методом осадочные слои исследовались на содержание частиц древесного угля, пыльцы разных видов деревьев и спор грибка *Sporormiella*, присутствующего в навозе травоядных млекопитающих (жизненный цикл этого грибка требует прохождения через пищеварительный тракт жвачных животных). Обилие таких спор служит косвенным показателем численности популяций мегафауны: они найдены в содержимом желудков мамонтов и в их копролитах, почти перестают встречаться после вымирания мегафауны и вновь появляются лишь с началом массового разведения скота. В оз.Эппельман эти споры обильны в нижних слоях, их число начинает снижаться в отложениях моложе 14.8 тыс. лет, падает до менее чем 2% от общего количества пыльцы на рубеже 13.7 тыс. лет и после этого постоянно остается низким.

Обилие частиц древесного угля характеризует частоту и интенсивность лесных пожаров. Эти частицы практически отсутствуют

в отложениях возрастом более 14.3 тыс. лет; затем появляются отдельные пики на фоне низкого содержания, причем первый значительный пик приходится на рубеж 14.1 тыс. лет назад, затем такие пики возникают время от времени, а выше рубежа 10.7 тыс. лет назад частицы угля массово присутствуют во всех отложениях.

Характерны также изменения в содержании пыльцы ели, сосны и дуба: в значительных количествах пыльца ели встречается в отложениях возрастом больше 13.7 тыс. лет; на этом рубеже ее обилие резко падает, затем частично восстанавливается и снова резко падает около 11.7 тыс. лет назад; в более молодых отложениях ее очень мало. Пыльца дуба, напротив, начинает встречаться лишь после рубежа 13.7 тыс. лет назад и до 10.7 тыс. лет назад присутствует в малых количествах, затем в более молодых слоях ее содержание существенно увеличивается. Обилие пыльцы сосны возрастает начиная с 12.3 тыс. лет назад, достигает пика на рубеже 11.7 тыс. лет назад и затем убывает; в отложениях возрастом 10.3 тыс. лет и выше ее присутствие незначительно. Листопадные деревья с твердой древесиной — ясень и хмелеград — в пыльцевом комплексе шире всего представлены в период от 13.7 до 11.7 тыс. лет назад, затем их обилие резко падает, а потом восстанавливается на более низком уровне. Эти виды широко представлены в позднплейстоценовых растительных сообществах, не имеющих современных аналогов.

Полученные авторами данные позволяют отвергнуть гипотезу о вымирании мегафауны вследствие изменений растительности, вызванных климатическими сдвигами, поскольку снижение обилия *Sporormiella* предшествовало существенным изменениям пыльцевого комплекса. Отвергается также предположение, что позднплейстоценовые растительные сообщества, не имеющие современных аналогов, возникли благодаря растительной мегафауне: эти сообщества появились

уже после того, как обилие спор *Sporormiella* значительно снизилось. Увеличение в пыльцевом комплексе доли видов с твердой древесиной может быть следствием как потепления, так и освобождения от пресса крупных травоядных. Многие вымершие травоядные предпочитали хвойным видам широколиственные, так как их листва более питательна и содержит больше воды. Такой режим питания приводит к формированию ландшафтов, подобных африканским саваннам, — с низкой плотностью древостоя и преобладанием кустарников и хвойно-лиственного редколесья. Ясени и хмелеграбы смогли образовывать сомкнутые широколиственные леса лишь после того, как повысились влажность и температура, а также прекратилось их выедание травоядными. В саваннах пожары редки, но с появлением сомкнутых лесов именно они (а не давление травоядных) начинают регулировать облик ландшафтов и границы между лесом и степью. Именно поэтому первый пик обилия древесного угля после упадка *Sporormiella* во всех изученных озерах был заметно выше последующих: в первом крупном пожаре горела не только живая биомасса, но и накопившаяся после исчезновения травоядных мертвая древесина.

Во всех этих озерах снижение *Sporormiella* произошло задолго до начала позднего дриаса, что исключает в качестве причины вымирания и резкое похолодание, и гипотетическое столкновение с кометой 12,9 тыс. лет назад. Популяционная депрессия мегафауны, по-видимому, нарастала на протяжении нескольких тысячелетий. Снижение обилия *Sporormiella* в окрестностях оз.Эппельман продолжалось около 1000 лет, начавшись 14,8 тыс. лет назад, а окончательное вымирание грибка произошло лишь около 11,5 тыс. лет назад. Таким образом, приведенные данные исключают все причины быстрого вымирания вроде падения кометы или истребления палеоиндейскими племенами. Science. 2009. V.326. P.1100–1103 (США).

Археология

Условия существования Янской палеолитической стоянки

На левом берегу р.Яна, в 195 км от местности Сопливая Гора, участники российско-американской экспедиции (проект «Жохов-2000») открыли в 2001 г. уникальный памятник археологии — Янскую палеолитическую стоянку. По данным радиоуглеродного датирования (В.В.Питулько и др., Институт истории материальной культуры РАН, Санкт-Петербург), возраст ее культурного слоя составляет 27,5–28 тыс. лет. В ходе дальнейших исследований, которые проводили А.Э.Басилян и П.А.Никольский (Геологический институт РАН, Москва), М.А.Анисимов и Е.Ю.Павлова (Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург), был определен необходимый для изучения комплекс вмещающих четвертичных отложений, что позволило бы восстановить природную среду обитания палеолитического человека на этой территории. Накопленный к настоящему времени большой фактический материал позволяет считать разрез Сопливая Гора опорным при разработке современной стратиграфической схемы четвертичных отложений Яно-Индигирской низменности.

Прорывая Куларский массив мезозойских песчаников и аргиллитов, р.Яна начинает меандрировать и распадается на рукава и протоки. У начала протока Диринг-Аян река подмывает высокий левый берег, вскрывая на протяжении 5 км льдистые многолетнемерзлые четвертичные отложения, которые в летнее время интенсивно тают, образуя потоки мутной воды, — это место жители и называют Сопливой горой.

На участке берега в районе Янской палеолитической стоянки обнажается разрез трех надпойменных террас, высота которых над уровнем реки составляет соответственно 40–42, 16–18 (20)

и 8–10 м. Авторы детально изучили сложное строение разновозрастных генераций этих отложений, пронизанных полигонально жильными льдами, и восстановили последовательность их формирования. Послойно собранная коллекция костных остатков крупных и мелких млекопитающих позволила соотнести выделенные подразделения разреза с разновозрастными образованиями соседних регионов и с общей стратиграфической шкалой квартера. В верхней части отложений успешно применен радиоуглеродный метод датирования костных и растительных остатков. Всего по разрезу получено около 200 радиоуглеродных дат.

История формирования четвертичных отложений разреза Сопливая гора авторами прослежена по био-стратиграфическим данным с конца эоплейстоцена — начала неоплейстоцена. Отложения этого возраста залегают в основании разреза, образуя 7-метровую аллювиальную толщу (от руслового до старичного аллювия). Включая синкриогенные полигонально-жильные льды мощностью до 1,5 м, эти отложения представляют собой наиболее древний ледовый комплекс из всех известных на Яно-Индигирской низменности.

Вверх по разрезу на фоне постепенного перехода от русловых галечников до эоловых лессовидных алевритов выделено девять циклов накопления осадков, обусловленных, судя по спорово-пыльцевому анализу, климатическими изменениями. Около 40 тыс. лет назад в связи с произошедшим глубоким врезом началось накопление аллювия 2-й террасы. Как раз в разрезе этой террасы, в 7 м выше уровня воды в реке, и залегают культурный горизонт Янской палеолитической стоянки. Новый врез и начало накопления аллювия 1-й террасы относится к рубежу плейстоцена и голоцена.

Материалы VI Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Новосибирск, 19–23 октября 2009 г. С.63–65.

Прародина металла

Е.В. Антонова,
доктор исторических наук
Институт востоковедения РАН
Москва

Автор книги, Людмила Ивановна Авилова, специалист по эпохе бронзового века, посвятила свое исследование зарождению, становлению и развитию производства металла на Ближнем Востоке. В отечественной исторической науке этот регион далеко не самый популярный, несмотря на то что археологи постоянно обращаются к нему как к хронологической базе. Появлению рецензируемой книги предшествовало составление систематизированной сводки радиоуглеродных дат, в том числе по ближневосточным находкам [1]. Именно в этой зоне произошло открытие и освоение металла как нового материала.

В регион, о котором идет речь, входит Малая и Передняя (отчасти и Центральная) Азия — Анатолия, Месопотамия, Сиро-Палестина (Левант) и Иран. Эти территории совпадают с областью сложения древнейших цивилизаций в энеолите, раннем и среднем периодах бронзового века (5-е — начало 2-го тысячелетия до н.э.).

Изучение металлических изделий в столь обширных территориальных и хронологических масштабах и в едином методическом ключе стало возможным в рамках нового направления, предложенного и разрабатывавшегося в 1970—1990-х годах известным археологом Е.Н. Черных. Оно связано с выделением и изучением металлургических провинций — крупных производственно-культурных систем на территории Евразии [2]. Вышеупомянутые азиатские регио-

ны в раннем и среднем бронзовом веке входили в южную часть обширной Циркумпонтийской металлургической провинции, которую выделил Черных.

В русле этой концепции автор создала уникальные по объему и информативности базы данных по металлическим изделиям из исследуемых регионов, всего свыше 60 тыс. находок из 147 памятников. На сегодняшний день столь широкие обобщения, основанные на таком значительном фонде источников, не известны. Отметим также исключительно широкий круг публикаций на разных языках, использованных автором.

Сравнительный статистический анализ баз данных из четырех регионов, проведенный по единой методике, позволил Авиловой сопоставить количественные характеристики производства металлов по периодам и провести сравнение регионов между собой. Выработан ряд признаков, по которым проводится анализ: распределение материала по хронологическим этапам, по функциональным классам (орудия/оружие, украшения, сосуды, предметы культа, полуфабрикаты, литейные формы), по употреблявшимся металлам (медь/бронза, золото, серебро, свинец), по рецептуре сплавов на медной основе. Найдки описываются по 53 признакам, включая дату, морфологические характеристики, химический состав.

Автор, в частности, справедливо указывает на трудности определения искусственного и естественного характера примеси мышьяка в изделиях. Вслед



Л.И.Авилова. МЕТАЛЛ БЛИЖНЕГО ВОСТОКА: МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА В ЭНЕОЛИТЕ, РАННЕМ И СРЕДНЕМ БРОНЗОВОМ ВЕКЕ.

М.: Памятники исторической мысли, 2008. 229 с.



Оттиск цилиндрической печати аккадской эпохи (вторая половина 3-го тысячелетия до н.э.).

за специалистами по истории металлов Н.Гейлом и В.Пиготтом она считает, что в энеолите (медном веке) эта примесь имела естественное (рудное) происхождение, тогда как материалы раннего бронзового века позволяют говорить о целенаправленном производстве мышьяковых бронз.

Давая характеристику долгого пути становления металлургических познаний на Ближнем Востоке, автор сравнивает этот регион с Юго-Восточной Европой. Здесь в 5 тысячелетии до н.э. сформировалась первая из известных науке и поразительно яркая Балкано-Карпатская металлургическая провинция эпохи энеолита. Основные производящие центры этого формирования локализовались в богатых медными рудами горных районах. Однако контраст всех основных характеристик между этой и Циркумпонтийской металлургической провинцией раннего и среднего бронзового века достаточно велик. Отличаются и состав металла, и природные ресурсы,

и роль географического фактора (сырьевая база).

Анализируя производство металлов в четырех регионах Передней Азии, автор включает в текст несколько конкретных сюжетов, связанных с металлическими находками: драгоценности из кладов Трои, особенности состава изделий из клада Нахаль Мишмар (Израиль), источники олова и драгоценных металлов, системы обмена на Ближнем Востоке.

Приложения к монографии показывают, как транспортировался, перерабатывался и использовался металл. Одно из них («Божественный плотник») посвящено изделиям из царского некрополя Ура, другое («Троянское золото») демонстрирует находки (всего их 322 381) из этого знаменитого памятника. Безусловное украшение книги — цветные иллюстрации изделий, искусно выполненных древними мастерами. Так же эффектно выглядит и обложка книги, на которой воспроизведена медная статуэтка храмового служителя (около 2880 г. до н.э.).

Итак, в книге наглядно демонстрируется глубокая древность производства металлов на Ближнем Востоке. Здесь имелись две основные предпосылки для открытия самородной меди, ее плавки, а в дальнейшем выплавки из руд: наличие природных ресурсов и развитая традиция термического производства, выработанная населением еще в раннем неолите при изготовлении известковых и гипсовых обмазок для строительства жилищ и обжига керамики в горнах.

Любителей древности, уверенных, что «история (и вообще все на свете) начинается в Шумере» ждет некоторое разочарование. Автор книги аргументированно доказывает, что развитие производства металлических изделий начинается в энеолите на территории Ирана и (в меньших масштабах) в Анатолии. Поразителен резкий контраст представительных коллекций, собранных на этих территориях, и почти полное отсутствие металла в памятниках Месопотамии того же времени.

Разница еще более удивительна, если учитывать достаточно высокую степень археологической изученности Двуречья, несравнимую с масштабами работ в Иране.

Авилова связывает феномен появления металлургии в энеолите этой страны с богатыми минеральными ресурсами и интенсивным обменом между земледельческой цивилизацией Двуречья с его неограниченными пищевыми ресурсами и населением Иранского плато. Напрашивается и параллель с тезисом Н.И.Вавилова о происхождении древнейшего земледелия не в аллювиальных долинах, а в зоне предгорий [3]. Думается, что существовал и какой-то важный фактор внутреннего характера, пока не выявленный, который привел к вспышке металлопроизводства на территории Ирана, подобной той, что имела место в тот же период в Балкано-Карпаты. Возможно, это особенности социального развития обществ, находившихся в иных природных условиях, чем речная цивилизация Месопотамии. Не отсюда ли берут свое начало плавное развитие иранской металлургии и консерватизм ее производственных традиций? Именно с этой территории в энеолите исходили передовые навыки и технологические импульсы, которые затем были восприняты и развиты на территории Месопотамии. В свете сказанного привычная «месопотомацентричная» модель культурного развития Западной Азии нуждается в переосмыслении. Рецензируемая книга — важный шаг в этом направлении.

Иным путем идет производство и употребление металла в Анатолии и Месопотамии. Оно характеризуется ярко выраженной скачкообразной динамикой, резким ростом производства и применения металла при переходе от одного периода к другому — иногда в 100 и более раз. При этом земледельческая цивилизация Месопотамии



Ур, Месопотамия, средний бронзовый век. Головной убор царицы Пуаби (реконструкция).

преодолела в своем развитии даже такое препятствие, как отсутствие источников минерального сырья, — за счет организации его доставки извне путем обмена. В Леванте скачкообразная динамика производства не столь очевидна.

Относительно этого региона можно отметить, что сирийская его часть, вероятно, должна тяготеть к анатолийско-месопотамской скачкообразной модели развития, тогда как Палестина начиная с глубокой древности представляла собой особый мир, одновременно и своеобразный (о чем свидетельствует уникальный клад Нахаль Мишмар), и открытый культурным влияниям извне.

В книге подчеркивается связь качественного скачка в развитии производства металлов в раннем бронзовом веке с процессами урбанизации и формирования ранних государств, когда резко возрастает потребность шумерского общества в металле, устанавливаются интенсивные постоянные контакты с центрами его добычи и обработки на соседних территориях [4]. Повышенный спрос месопотамской цивилизации на металл был постоян-

ным стимулом для развития производства и социальных отношений у народов, населяющих Иранское и Анатолийское плато и побережья Персидского залива.

Сравнение производства четырех регионов западной Азии в эпоху ранней бронзы приводит автора к выводу о вхождении северной Месопотамии, восточной Анатолии, западного и центрального Ирана, Северного Кавказа, а также в какой-то мере Леванта в единую культурную зону с общей производственной традицией. В это время появились группы профессиональных ремесленников, чья продукция могла распространяться в виде товарных слитков и готовых изделий, что способствовало выработке морфологических и технологических стандартов, функционировавших в ареале собственно урукских памятников и в обширной зоне от Северного Кавказа до Леванта, в той или иной мере затронутой влиянием урукской цивилизации.

Равным образом отсутствие единой культурно-производственной зоны в более позднюю эпоху средней бронзы (несмотря на то, что в это время просле-

живаются интенсивные контакты между весьма отдаленными территориями) логично увязывается автором с распространением различных раннегосударственных образований — раннединастических центров в южной Месопотамии, раннегосударственных структур в Анатолии, Аккадской державе на севере Двуречья, эламских центров в юго-западном Иране. Во всех регионах имеются четкая социальная стратификация (погребения элиты), архитектура городского типа с дворцами и храмами, комплексы ритуального характера, клады драгоценных предметов, серии изделий культового назначения. В морфологии изделий нарастают черты местного своеобразия.

Хотелось бы, чтобы эти не вызывающие сомнений наблюдения были поданы в свете конкретных исторических событий, подробностей. Может быть, стоило бы обсудить возмож-

ность несколько иной историко-географической группировки материала. Думается, что регион юго-восточной Анатолии и верхнее течение Евфрата в историко-культурном отношении ближе к области Сирии и северной Месопотамии, чем к Троеде, а Сузы не являются типично иранским памятником. Такой подход несколько не поколебал бы исходной исследовательской стратегии автора, но облегчил бы переход от глобальных (и, следовательно, обобщенных) археологических построений к исторической конкретике. Желательна более четкая оценка значения исследованных процессов для юга России (Северный Кавказ, северное Причерноморье).

Одним из наиболее важных и общезначимых для изучения бронзового века на территории всего Старого Света можно считать вытекающий из наблюдений Авиловой вывод: древний

металл на Ближнем Востоке, начиная с появления первых предметов из самородной меди и вплоть до конца эпохи средней бронзы, функционировал преимущественно в сфере сакрального. Характерной чертой обществ ближневосточного типа была так называемая храмовая экономика, когда храм выступает не только как центр культа, хранилище знаний, но и как организатор производства и обмена.

Книга Авиловой представляет собой масштабное исследование в географическом и хронологическом плане. Размах и тщательность проведенного исследования, обширность приводимого материала и историческая значимость выводов — все это позволяет уверенно полагать, что монография будет иметь весьма широкую читательскую аудиторию археологов и историков как в России, так и за рубежом. ■

Литература

1. Черных Е.Н., Авилова Л.И., Орловская Л.Б. Металлургические провинции и радиоуглеродная хронология. М., 2000.
2. Chernykh E.N. Ancient Metallurgy in the USSR. The Early Metal Age. Cambridge, 1992.
3. Вавилов Н.И. Происхождение и география культурных растений. Л., 1987.
4. Algaze G. The Uruk Expansion: Cross-Cultural Exchange in Early Mesopotamian Civilization // Current Anthropology. 1989. V.30. P.28.

Геохимия. Биогеохимия

А.Ю.Ленин, М.В.Иванов. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ МЕТАНА В ОКЕАНЕ. М.: Наука, 2009. 576 с.

Данная книга — результат 35-летней активной работы в океане, практически дело всей жизни авторов. В монографии рассматриваются геолого-минералогические и микробиологические аспекты круговорота метана в воде и осадках Мирового океана. Приведены собственные и литературные оценки скоростей процессов

образования и окисления метана с использованием радиоизотопных и изотопных методов, рассматривается роль процессов аэробного и анаэробного микробного окисления метана в продукции органического вещества и в образовании аутигенных карбонатов. И это не только для современного этапа развития океана, но и для геологического прошлого с привлечением материалов из длинных колонок донных осадков и кернов глубоководного бурения. Обращает на себя внимание широта охвата объектов

исследования — водная толща океанов и морей, донные осадки с их иловыми водами, гидротермальные флюиды, прослои газгидратов, черные курильщики на гидротермальных полях с картированием и отбором проб из подводных обитаемых аппаратов «Пайсис» и «Мир». Особое место уделено изучению процессов трансформации метана в местах его крупномасштабного поступления в водную толщу — из глубоководных гидротермальных источников, грязевых вулканов и холодных метановых сипов.

Для широкого круга исследователей, интересующихся геохимией, биологией океана и процессами глобального цикла углерода.

Медицина

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ РЕВМАТОЛОГИИ. Сборник научных работ / Под ред. академика РАМН А.Б.Зборовского. Вып. XXVI. Волгоград: Царицынская полиграфическая компания, 2009. 108 с.

Сборник научных работ посвящен вопросам этнологии, патогенеза, эпидемиологии, диагностики, лечения и реабилитации ревматических заболеваний. Этот, 26-й, выпуск организован Институтом клинической и экспериментальной ревматологии и Волгоградским государственным медицинским институтом. Помимо специалистов из Волгограда в нем приняли участие медики из Оренбурга, Саратова, Ставрополя, Ростова-на-Дону, Краснодара, Кемерово, Кирова.

Сборник включает более 70 специальных научных публикаций и заканчивается материалом, посвященным 80-летию академика А.Б.Зборовского, под редакцией которого подготовлено издание. Оно рассчитано на широкий круг научных работников и медиков.

География

В.А.Никонов. ГЕОГРАФИЯ ФАМИЛИЙ / Под ред. С.И.Брука. 4-е изд. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 200 с.

Это последняя работа Владимира Андреевича Никонова (1904—1988) — географа и этнографа, одного из крупнейших советских специалистов по ономастике (науке об изучении собственных имен различного типа — географических объектов, людей, животных и т.д.).

Родился Владимир Андреевич 29 июля 1904 г. в Симбирске (ныне Ульяновск). Здесь в местной газете он начал свою трудовую деятельность, прошел путь от репортера до редактора, трудился и на ниве просвещения. В 1933 г. переехал в Москву, где занялся литературной деятельностью: печатался в «Литературной газете», журналах «Знамя», «Красная новь», «Октябрь» и др. Более 300 статей и заметок Никонова опубликовано в энциклопедиях (Большой советской, Малой литературной, Исторической, Географической).

В годы Великой Отечественной войны Владимир Андреевич служил в Волжской военной флотилии, в 1944 г. по доносу был арестован и 10 лет провел в сибирских лагерях и ссылке. Вышел на волю только в середине 50-х. Ономастикой Никонов начинает заниматься именно тогда. Им написаны получившие широкую известность и признание монографии «Топонимика в историко-географической этнографии» (М., 1964), «Введение в топонимику» (М., 1965), «Краткий топонимический словарь». (М., 1966), «Имя и общество» (М., 1974), многочисленные статьи. Под руководством Никонова подготовлены и вышли в свет коллективные монографии, посвященные различным проблемам ономастики, проводились Всесоюзный и региональные ономастические конференции.

Но наиболее широкий отклик получила «География фамилий», издающаяся в четвертый раз. Фамилии — это своего рода живая история страны. В Европе они появились впервые в Италии в X—XI вв., затем во Франции, Англии и в других странах. Фамилии у русских сформировались только в XVI в.

Какова история их происхождения? Какие фамилии наи-

более распространены? В каких районах чаще всего встречаются фамилии Иванов, Кузнецов, Попов, Смирнов? На эти и другие вопросы отвечает эта книга. Рекомендуются специалистам — этнографам и филологам, а также широкому кругу читателей.

Экология

ИЗМЕНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА. ПРИРОДНЫЕ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ: В 8 т. / Пред. ред. кол. Н.П.Лаверов. М.: ИФЗ РАН, 2008. Т.4: Процессы в биосфере: изменения почвенно-растительного покрова и территориальных вод РФ, круговорот веществ под влиянием глобальных изменений климата и катастрофических процессов / Отв. ред. Г.А.Заварзин, В.Н.Кузнецов. Пушкино; М.: ИБР и БПП РАН, ИФЗ РАН, 2008. 268 с.

В этой коллективной монографии представлено 11 больших статей, посвященных самым разным темам. Это и исследования почв разных ландшафтов, температурный режим мерзлотных почв, климат и первичная продукция фотосинтеза, влияние катастроф на лесные экосистемы, микробные процессы в болотных экосистемах, ртутные загрязнения в Братском водохранилище, исследования газовых гидратов в осадках вулканов оз.Байкал, изучение морской биоты на примере залива Петра Великого, особенности цикла углерода на шельфе восточного сектора Российской Арктики. Последняя, завершающая сборник, статья посвящена сравнительной оценке адаптации человека в контрастных экологических условиях. Книга рассчитана на специалистов в области наук о Земле, лесоведения и озероведения, а также на почвоведов, экологов и микробиологов.

Параллельные жизни

А.Ю.Закгейм,

кандидат технических наук

Московская государственная академия тонкой химической технологии им.М.В.Ломоносова

Александр Порфирьевич Бородин родился 31 октября (12 ноября) 1833 г., Дмитрий Иванович Менделеев — 27 января (8 февраля) 1834-го. Эпоха определила ряд общих черт и общих обстоятельств их биографий, хотя исходные условия существенно различались. Менделеев — сын директора Тобольской гимназии, получившего личное дворянство. Однако сибиряк не мог поступить на университетское обучение в Москве или Санкт-Петербурге [1].

Бородин был незаконнорожденным. Его отец князь Лука Степанович Гедианов и помыслить не мог обвенчаться с солдаткой дочерью Авдотьей Константиновной Антоновой. Он любил сына, Авдотья Константиновна жила безбедно. Однако Александр числился крепостным, сыном дворового человека Порфирия Ионовича Бородина. Лишь под самый конец жизни Гедианов дал ему вольную, а в 1849 г. мать, затратив немало денег, смогла приписать «вольнотпущенного князя Гедианова, дворового человека Саратовской губернии, Балашовского уезда, сельца Новоселок, Александра Порфирьевича Бородина» в Новоторжское третьей гильдии купечество [2]. И у него тоже не было надежды поступить в университет. Благодаря хорошему образованию, полученному дома, и блестящим способностям он смог претендовать на место в Медико-хирургической академии.

Незаконнорожденные — вообще очень интересная группа людей в русской культуре XIX в.

Из них в литературу вошли В.Е.Жуковский, А.И.Герцен, А.А.Григорьев, А.А.Фет и под конец века — К.И.Чуковский; в живопись — О.А.Кипренский и В.Г.Перов; в музыку и химию — А.П.Бородин. Они принадлежали к относительно благополучной части многочисленных детей знатных отцов и бесправных матерей. Но не могли не чувствовать ущербности своего положения. Например, Бородин всю жизнь называл родную мать тетушкой.

На протяжении 50-х годов биографии Менделеева и Бородина прекрасно укладывались в классическую схему Плутарха βίον παράλληλον, что можно, чуть погрешив против точности, перевести как «параллельные жизни». Оба обрели учителями выдающихся химиков и великих педагогов: в Педагогическом институте, где учился Менделеев, преподавал А.А.Воскресенский, в Медико-хирургической академии — Н.Н.Зинин.

Обоих отличали редкостное трудолюбие и редкостная трудоспособность. Вот описание обычного рабочего дня Менделеева в его дневнике 1861 г.: «8 января. Отлично занимался утром. Перегнал бром, определил его капиллярность. Получил уже цинк-этиль, отлично шло все, и славное настроение духа произошло от того. Поешь себе чудно. После обеда были у Гофманов. Софья Карловна пела отлично “Соловья” и “Саго mio ben”. Потом пошли ко мне. <...> Вечером после них еще поработал» [3].

А это, со слов Екатерины Сергеевны Бородиной, типичный день ее будущего мужа: «Мы часто бывали вместе. День его

устраивался так: с 5 часов утра до 5 часов вечера — химическая лаборатория. С 5 до 8 — наши с ним прогулки по горам. А с 8 или 9 часов вечера до 12 — музыка в зале Гофманского пансиона» [2. С.56—57].

Невольно обращаешь внимание еще на одну общую черту Менделеева и Бородина. Они умели отдыхать. Отдых для них в значительной степени был связан с искусством. Для Бородина это, несомненно, музыка. Менделеев тоже был неравнодушен к музыке. Друзья в шутку называли его Леонорой за то, что он постоянно напевал мелодии Бетховена. В письме родным в Тобольск из Германии от 24 сентября 1860 г. он пишет об органной музыке: «Такие минуты наслаждения, что помнишь всегда» [4. С.163].

Оба они увлекались художественной литературой. Менделеев несколько раз встречался с И.С.Тургеневым, был знаком с Ф.М.Достоевским и Л.Н.Толстым, хотя взгляды Толстого на науку категорически не одобрял. Бородин писал хорошие стихи; большинство созданных им романсов и значительная часть «Князя Игоря» написаны на его слова. Когда Менделеев в конце жизни стал готовить для своих детей автобиографические альбомы, в первый из них были помещены лирические стихи Бородина [5].

Но все же для Менделеева главным увлечением стало искусство изобразительное, прежде всего живопись. Теснейшее взаимодействие художников и ученых — его излюбленная мысль. Менделеевские среды собирали на его квартире в университете цвет художников



Александр Порфирьевич Бородин.

(прежде всего передвижников) и университетских профессоров. Он стал членом Академии художеств, членом ее Совета, получил высшее в Академии звание почетного члена [6].

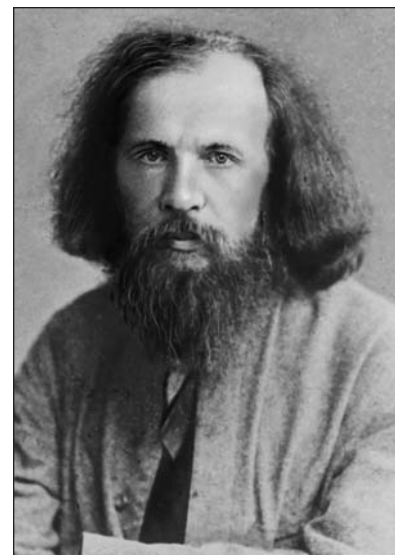
Для Бородина главной в искусстве была, конечно, музыка. Он разрывался между химией, которую считал основным своим делом, и музыкой, которую воспринимал как отдых и развлечение. Химики полагали, что музыка отвлекает его, выдающегося химика-синтетика, от еще больших профессиональных успехов, а музыканты мечтали о том, чтобы этот гениальный композитор поменьше занимался химией, освобождая силы и время для главного.

Объединяла обоих также любовь к природе и к путешествиям. В письмах родным в Сибирь Менделеев восторженно описывает красоту альпийских пейзажей. В других письмах говорит о прелести итальянских городов. Из 22 месяцев заграничной командировки 1859—1861 гг. он провел в путешествиях 5 месяцев 20 дней, чаще всего умудряясь сочетать любование природой, архитектурой, местным бытом с посещением научных лабораторий, беседами с крупными учеными, приобретением на-

учного оборудования. И в дальнейшем профессор Менделеев при первой возможности отправлялся то на научный конгресс, то консультировать промышленников в Баку, Ярославль, то в экспедицию на Урал, то отдыхать в Швейцарию или Францию. Вообще Менделеев до старости оставался удивительно легким на подъем. Больше всего поражает хронология его путешествий в 1900 г. Ему уже 66 лет. Слабеет зрение. Тем не менее... Февраль—март: посещает Берлин, Прагу, Вену, Варшаву. Апрель—июнь: Всемирная выставка в Париже. Июль: снова Париж, Конгресс по чистой химии. Сентябрь: Париж, Международный комитет мер и весов. Ноябрь—январь 1901 г.: посещение Вены, отдых в Каннах.

Бородину путешествовать труднее. На него была возложена огромная работа по организации кафедры химии в Медико-хирургической академии, причем кафедра существовала в невероятно скудных условиях. Любимый ученик и в дальнейшем преемник Александра Порфирьевича А.П.Дианин приводит данные, что на кафедре были два профессора и всего один лаборант [2. С.207]. Другое тяжелое обстоятельство заключалось в том, что супруга Бородина отличалась слабым здоровьем и требовала постоянной заботы. Но все равно Бородин использовал малейшие возможности, чтобы посетить Европу или хотя бы отдохнуть с женой во Владимирской губернии, среди милой русской природы. А как замечательно выражено его отношение к природе в романсах «Песня темного леса» и «Море»!

Даже отдельные эпизоды биографий двух друзей удивительным образом совпадали. Прежде чем поступать в Педагогический институт, Менделеев хотел пойти в Медико-хирургическую академию. Но, присутствуя при вскрытии, почувствовал себя плохо, в результате чего отказался от мысли стать медиком. Похожее произошло с Бороди-

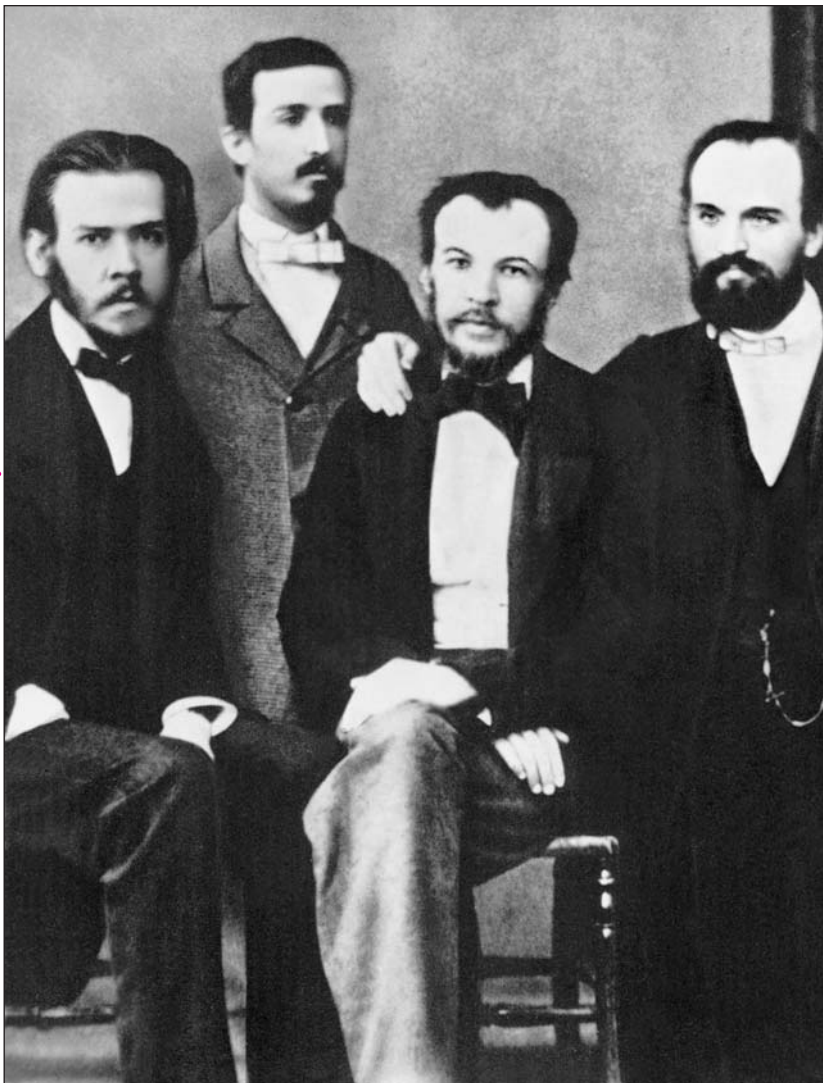


Дмитрий Иванович Менделеев.

ным, когда он уже получил степень доктора медицины и работал в военном госпитале. Пришлось вытаскивать занозы из спин шести крепостных, прогнанных сквозь строй. Ему стало дурно, а главный врач спросил: «Что же вы запоете, если по долгу службы вам придется накладывать клейма осужденным?» (Осужденных на каторжные работы клеймили раскаленным железом, это входило в обязанности врачей.) После этого Бородин окончательно отказался от карьеры медика.

Оба они, завершив высшее образование, недолго проработали по специальности, Менделеев — учителем гимназии в Симферополе и Одессе, Бородин — врачом в военном госпитале. Оба, продемонстрировав выдающиеся успехи, были командированы за границу для совершенствования в науках. И в маленьком германском Гейдельберге их пути сошлись.

По нынешним меркам они тогда были очень молоды. Им по 25—26 лет. Но они самостоятельны в своих решениях, даже в тех, которые определяют характер их работы и расходование выделенных им средств. Менделеев, не удовлетворенный постановкой работ в лабо-



В Гейдельберге. В центре — А.П.Бородин и Д.И.Менделеев. Слева и справа Н.Житинский и В.Олевинский.

ратории Р.В.Бунзена, оборудовал у себя на квартире собственную лабораторию. А позже, в 1861 г., Бородин меняет место работы, переехав из Гейдельберга в Пизу.

Оба приняли активное участие в Международном конгрессе химиков в Карлсруэ (1860), сыгравшем важнейшую роль в истории химии. Решения конгресса закрепили в химии определения таких понятий, как атом, молекула, эквивалент, закон Авогадро. Подготовкой этих решений занимался комитет из тридцати человек, пять из которых — Н.Н.Зинин, Л.Н.Шишков, Д.И.Менделеев,

А.Н.Савич и А.П.Бородин — были из России.

По окончании конгресса Менделеев и Бородин вернулись в Гейдельберг. Здесь с самого начала их пребывания сложился кружок российских ученых. В кружок входили будущий великий физиолог И.М.Сеченов, химики Н.Житинский и В.Олевинский. Бородин писал матери: «Русские разделяются на две группы: ничего не делающие, т.е. аристократы Голицыны, Олсуфьевы и пр., пр., и делающие что-нибудь, т.е. штудирующие, эти держатся все вместе и сходятся обедать по вечерам. Я короче

всех сошелся, конечно, с Менделеевым и с Сеченовым» [7. С.36]. Общество «делающих» собиралось то друг у друга, то у Т.П.Пасек, двоюродной сестры А.И.Герцена, пропагандистки его взглядов, то в пансионе Гофмана.

Сеченов в автобиографических записках писал: «Помню, например, что в квартире Менделеева читался громко вышедший в это время “Обрыв” Гончарова, что публика слушала его с жадностью и что с голодухи он казался верхом совершенства. Помню, что А.П.Бородин, имея в своей квартире пианино, угощал иногда публику музыкой, тщательно скрывая, что он серьезный музыкант» [8].

Здесь необходимы два уточнения. Первое. Сеченов ошибся, в том году вышел не «Обрыв», а «Обломов». Второе. Бородин не столько скрывал свое серьезное музыкальное дарование, сколько сам сомневался в его серьезности.

Задумаемся. Эти молодые ученые, проработав в лаборатории по 12 часов, отдыхают, обсуждая последний роман Гончарова или статью Герцена, музицируя, беседуя и споря. Такова была широта их интересов.

И они были веселы, и веселость сохранили на всю жизнь. Все, кто вспоминал среды Менделеева, отмечали непринужденность атмосферы этих встреч, «остроумные беседы и даже дурачества». Бородин мог порадовать друзей шуточной фортепианной импровизацией, где некоторые ноты приходилось брать кончиком носа, а его «Серенада четырех кавалеров одной даме» — одно из самых озорных произведений в мировой музыкальной классике.

Гейдельбергский период дружбы двух химиков продолжался около года. Осенью 1860-го они путешествовали по Швейцарии и Италии. Потом Менделеев вернулся в Гейдельберг завершать работы и в феврале 61-го возвратился в Россию, а Бородин поехал в Париж. С удовольствием вспоминали

они о путешествиях, о забавном эпизоде, когда в вагоне поезда Бородина приняли за революционера, борющегося против австрийского господства, и долго допрашивали, прежде чем отпустить. Это позволило настоящему революционеру, бежавшему из тюрьмы и ехавшему в том же вагоне, благополучно доехать до мест, уже не подвластных австрийцам, где русских путешественников встретили за это с триумфом.

После отъезда Менделеева расстояние между друзьями увеличилось, но дружба не остыла. В начале 1861 г. Бородин пишет Менделееву из Парижа письмо с просьбой хлопотать о скорейшей присылке полагающихся командированному средств. Зная о редкостной деликатности Бородина, понимаешь, что в подобном случае он мог обратиться только к близкому человеку. «А я, брат, — пишет он Менделееву, — сильно вспоминаю Гейдельберг и наше товарищество. Дай бог впредь когда-нибудь такое время. Как другим, не знаю, но мне хорошо жилось с Вами, и в свою очередь Вам спасибо, глубокое спасибо за истинно товарищеское расположение, которое, я уверен, не изменится от широты и долготы той местности, где нас снова сведет судьба» [9. С.243].

И впоследствии, уже в Петербурге, в письме от 10 июня 1863 г. он просит Дмитрия Ивановича наладить перевод книги «Gerhard и Chancel», так как нуждается в заработке. Причем если в письмах из Парижа он называл Менделеева на Вы, то здесь уже обращение — на ты. Ясно, что дружба продолжилась [2. С.211].

Правда, условия жизни и работы не позволяли им общаться столь же тесно и постоянно, как в Гейдельберге. Оба обзавелись семьями. У обоих появилось много административных обязанностей. Бородин принял кафедру и был вынужден заниматься ее делами, начиная со строительства здания и оборудования лаборатории. У обоих образова-

лись свои круги общения. И тот, и другой лучше всего чувствовали себя среди людей искусства. Менделеев теснее всего сдружился с Н.А.Ярошенко и А.И.Куинджи. А Бородин вошел в кружок музыкантов, прозванный Могучей кучкой, где М.П.Мусоргский и Н.А.Римский-Корсаков стали его близкими друзьями.

Кроме того, Менделеев и Бородин занялись разными областями химии. Бородин был замечательным органиком-синтетиком. Менделеев начинал тоже как органик, в 1861 г. написал и издал «Органическую химию». Затем курс органической химии в Университете стал вести А.М.Бутлеров, а Менделеев переключился на общую химию — решение, через недолгий срок приведшее его к величайшему свершению — открытию Периодического закона.

В письмах Бородин к жене время от времени мелькает, что он собирается к Менделееву, был на химическом обществе у Менделеева, что его «затащил к себе Менделеев». В августе 1873 г., приехав в Казань на IV съезд российских естествоиспытателей, он не без удовольствия сообщает, что их с Менделеевым поселили в одной комнате.

Разумеется, их объединяли не только воспоминания и встречи. Почвой, на которой продолжало расти их сотрудничество, стали дела общественные. В конце 1868 г. было официально образовано Русское химическое общество. В числе его основателей Менделеев и Бородин.

Необходимость такого объединения назрела. 60-е годы XIX в. были блестящим периодом в истории отечественной химии, начавшимся с плодотворной работы русских химиков на конгрессе в Карлсруэ (1860), продолжившимся теорией химического строения Бутлерова (1861) и завершившимся Периодическим законом (1869). И все десятилетие наполнено блестящими работами отечественных ученых. 1861 г. — Менделеев впервые установил существова-

ние «абсолютной температуры кипения» (современный термин — критическая температура). 1862 — Бородин впервые в истории химии синтезировал фторорганическое соединение, фтористый бензоил. 1865 — В.В.Марковников описал измерию жирных кислот; Н.Н.Бекетов изобрел алюмотермию. 1868 — Д.К.Чернов открыл критические температуры фазовых переходов в стали — точки Чернова. 1869 г. — Бородин при изучении альдегидов открыл реакцию конденсации; сформулировано правило Марковникова.

В те же 60-е годы началась драматическая история борьбы передовых российских ученых за высшее женское образование. Такие выдающиеся ученые, как Н.И.Пирогов, И.М.Сеченов, А.Н.Бекетов, С.А.Усов, А.С.Фаминицын, Д.И.Менделеев, А.М.Бутлеров, В.И.Герье, выдвигали и горячо поддерживали идею создания Высших женских курсов.

Правящие круги всячески препятствовали этому. Но давление общественности оказалось слишком сильным. В начале 1870 г. были открыты петербургские Публичные курсы для женщин. Лекции там читали лучшие университетские профессора, в их числе и Менделеев. Большинство лекторов выполняло эту работу безвозмездно. По праздникам и воскресеньям слушательницы могли работать в лабораториях. В то же время некоторые из них нелегально ходили на лекции и занятия в анатомическом театре в Медико-хирургической академии. Нелегально потому, что в 1864 г. военный министр приказом запретил женщинам посещать академию.

Наконец осенью 1872 г. было получено разрешение правительства и организованы курсы ученых акушерок при той же Медико-хирургической академии. И на плечи Бородина легло еще одно нелегкое дело. Он читал лекции, руководил химическим практикумом. Его ученицы выполняли полноценные научные работы; работа А.Лукаши-



А.П.Бородин (стоит пятый слева) и Д.И.Менделеев (стоит второй справа) в группе химической секции Первого съезда русских естествоиспытателей. 1868 г.

ной была опубликована в «Бюллетене Академии наук» — это, по-видимому, первая научная публикация женщины в изданиях Академии.

1880-й очень тяжел и для Менделеева, и для Бородина. В начале года скончались их учителя А.А.Воскресенский и Н.Н.Зинин. В ноябре Менделеева забаллотировали на выборах в Академию наук. Началось наступление на Высшие женские курсы, любимое детище Бородина, после 1882 г. их стали сворачивать.

Но могучие люди умели переносить удары судьбы. Они продолжали активно работать.

Между тем в 70—80-е годы оба друга стали все больше сил отдавать любимым искусствам. У Менделеева это было отчасти связано с историей его второй женитьбы на художнице А.И.Поповой.

Бородина, несмотря на колоссальную служебную нагрузку,

все более влекло музыкальное творчество. Да, написал он немного. Да, слишком большая часть осталась незавершенной и доделывалась друзьями уже после его смерти. Но такие шедевры, как «Князь Игорь», Первая и Вторая симфонии, Первый и Второй квартеты, как его романсы, стоят в первом ряду мировой музыкальной классики.

На протяжении 80-х годов музыкальное творчество Бородина было на подъеме. В научных исследованиях он занялся такими прикладными вопросами, как анализ чая, как применение химии в медицине (дезинфекция, анализ в клинической практике).

«Утром 15 февраля 1887 года Бородин сочинил финал для Третьей симфонии, но не успел записать его. Вечером он пошел на костюмированный танцевальный вечер <...>. В 11 ч 40 мин среди самого непринужденного веселья Бородин вдруг подошел

к стене, прислонился к ней и тут же, без стога, мертвый упал на пол» [2. С.150]. Не выдержало сердце. Ему было 53 года.

После смерти Бородина В.В.Стасов обратился к его коллегам с вопросом: каким он был химиком? Вот два ответа. С.П.Боткин назвал его «первоклассным химиком». Менделеев признавал в Бородине «первоклассного химика, которому многим обязана химия».

Менделеев пережил своего друга на 20 лет. В эти годы, в возрасте, когда люди обычно снижают свою активность, он успел удивительно много. На его долю выпали большие беды — и личные, и служебные. Умер его горячо любимый сын Владимир, умер маленький внук Дмитрий. Он тяжело пережил эти трагедии, но продолжал работать. Владимир Дмитриевич умер 19 декабря 1898 г. Уже 23 декабря Дмитрий Иванович заканчивает предисловие к кни-



Художники и ученые на одной из сред в доме Менделеевых.

ге сына «Проект поднятия уровня Азовского моря запрудой Керченского пролива», а в декабре 98-го — январе 99-го под его руководством проводятся работы по исследованию колебаний весов.

В 1890 г. Менделеев покинул Университет. Он осмелился, выступив перед студентами с призывом прекратить волнения, согласиться при этом передать их петицию министру, чтобы «сохранить покой университета». Ответ министра: «Министр и никто из состоящих на службе

его Императорского Величества лиц не имеет права принимать подобные бумаги». Профессор Менделеев подал в отставку.

Показательна дневниковая запись Менделеева, сделанная в 1905 г., когда он подводил итоги жизни: «Вышел из университета, защищая и его авторитет, и студенчество. Тут горького нет у меня, а есть только явная вражда к режиму, родившему... поверхностных радетелей, к каким прежде всех надо, по мне, причислить гр. Д.А.Толстого и Делянова». (Д.А.Толстой и И.Д.Деля-

нов — министры народного просвещения, ревностно осуществлявшие политику контрреформации).

Неизбрание в Академию наук и уход из университета не сломили ученого. Трудно даже перечислить все его свершения в науке и технологии за этот период.

Уже больше 120 лет, как нет Бородина. Больше 100 лет Россия живет без Менделеева. Но когда знакомишься с описаниями их судеб, с их трудами, понимаешь: эти великие жизни не забудутся во все времена. ■

Литература

1. Дмитриев И.С. Диалог с эпохой // Природа. 2009. №1.
2. Фигуровский Н.А., Соловьев Ю.И. Александр Порфирьевич Бородин. М.; Л., 1950.
3. Академия наук СССР. Научное наследство. Т.2. М., 1951.
4. А.П.Бородин в воспоминаниях современников. М., 1985.
5. Музей-архив Д.И.Менделеева. НАМ СПбГУ. Альб.1. Д.339, 340.
6. Закгейм А.Ю. Д.И.Менделеев и российские художники. М., 2007.
7. Письма А.П.Бородина. Вып.1. / Сост. С.А.Дианин. М., 1927—1928.
8. Сеченов И.М. Автобиографические записки. М., 1952.
9. Письма А.П.Бородина. Вып.4. / Сост. С.А.Дианин. М.; Л., 1950.

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желаящим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА
С.В.ЧУДОВ

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.01.2010
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 1018
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.