

ПРИРОДА

7 14



В НОМЕРЕ:**3 Гоглева А.А., Артамонова И.И.
CRISPR-системы: механизм действия и применения**

Недавно было экспериментально доказано, что участки прокариотического генома, именуемые CRISPR-системами, выполняют функцию адаптивного иммунитета против чужеродной ДНК. Какие молекулярные механизмы лежат в основе работы CRISPR и как их можно использовать для терапии генных заболеваний человека?

**10 Ямпольский И.В., Царькова А.С.,
Дубинный М.А., Петушков В.Н.,
Родионова Н.С.****БиOLUMИнесценция: возрождение**

После 25-летнего перерыва в открытии новых механизмов биolumинесценции расшифрован еще один тип люциферина — участника специфической химической реакции, вызывающей свечение, — из недавно найденного вида кольчатых червей.

**17 Колокольцев В.Г., Никитин М.Ю.,
Ковалевская Е.О.****Современные травертины в районе Санкт-Петербурга**

Очаг современного формирования известковых туфов — травертинов на Ижорском плато в Ленинградской обл. служит природной научной лабораторией для исследователей различных специальностей.

30 Горбунов А.П.**Топонимы Центральной Азии**

Озера Балхаш, Маркаколь и Зайсан, урочища Чимбулак и Туюксу, вершины Хан-Тенгри и Музтагата — почему сегодня они носят именно такие названия? Когда возникли эти топонимы? Восстановить историю и раскрыть значение ряда забытых и многих современных географических названий Центральной Азии поможет подробное изучение их семантики и этимологии.

43 Морозов Н.С.**Птица в муравейнике**

Некоторые птицы используют муравьев для «обработки» своего оперения. Хотя изучать это странное поведение можно и в неволе, его биологический смысл до сих пор так и неясен.

49 Кузьмин М.И.**К новой парадигме геологии**

Этот рассказ посвящен памяти замечательного российского геолога Л.П.Зоненишайна. Рассказ о глубинной геодинамике — о возникновении, развитии плюмового магматизма и его роли в формировании поверхностных структур Земли.

59 Галл Я.М.**Дэвид Лэк:
две версии видообразования****Научные сообщения****67 Черноморец С.С.****Новый «Казбекский завал»
17 мая 2014 года****Михайлов К.Г., Панов Е.Н.****Полосатая аргиопа движется
на север (73)****Расцветаева Р.К., Аксенов С.М.****И в минералах каналы бывают
«сухими» (79)****Рецензии****82 Коробов В.Б.****Велик ли вред морю от нефти?**

(на кн.: И.А.Немировская. Нефть в океане: Загрязнение и природные потоки)

84**Новые книги****Встречи с забытым****87 Фандо Р.А.****Биология в зеркале карикатуры**

CONTENTS:

3 Gogleva A.A., Artamonova I.I. **CRISPR-systems: the Mechanism of Action and Application**

The prokaryotic CRISPR-systems have been proved recently to serve as an adaptive immunity against foreign DNA. What are the molecular mechanisms underlie the operation of CRISPR and how to use them for the gene therapy of human diseases.

10 Yampolsky I.V., Tsarkova A.S., Dubinnyi M.A., Petushkov V.N., Rodionova N.S.

Bioluminescence: Revival

After 25-year break in the establishment of bioluminescence mechanisms a novel type of luciferin, a participant of the specific chemical reaction that causes glow, from the recently found species of annelides was discovered.

17 Kolokol'tzev V.G., Nikitin M.Yu., Kovalevskaya E.O.

Modern Travertine in St.-Petersburg Region

Center of modern formation of calcareous tufa or travertine on the plateau Izborskii in Leningrad region serves as a natural laboratory for scientific researchers of different disciplines.

30 Gorbunov A.P. **Central Asia Toponyms**

Lakes Balkhash, Markakol and Zaysan, Tracts Chymbulak and Tuyuksu, peaks Khan Tengri and Muztagata — why today they wear just such names? When did these toponyms arise? A detailed study of semantics and etymology of these toponyms will help to reconstruct history and uncover the meaning of a number of forgotten and of many modern place-names in Central Asia.

43 Morozov N.S.

A Bird in Ant-Hill

Some bird species use ants to process their plumage. Although this surprising behavior can be studied in captivity, its functions still remain unknown.

49 Kuz'min M.I.

To a New Paradigm in Geology

This story is dedicated to the memory remarkable Russian geologist L.P.Zonnenshayn. It is the story of deep geodynamics: about the origin and development of plume magmatism and its role in the formation of the surface structures of the Earth.

59 Gall Ya.M.

David Lack: The Two Versions of Speciation

Scientific Communications

67 Chernomoretz S.S.

New «Kazbek Obstruction» of 17 May 2014

Mikhaylov K.G., Panov E.N.

Striped Argiopa Moves to the North (73)

Rastzvetaeva R.K., Aksenov S.M.

In Minerals, too, Channels can be «Dry» (79)

Book Reviews

82 Korobov V.B.

How Big Is Damage from Marine Oil Pollution?

(on book: I.A.Nemirovskaya. Oil in the Ocean: Pollution and Natural Flows)

84 New Books

Encounters with Forgotten

87 Fando R.A.

Biology in the Mirror of Cartoon

CRISPR-системы: механизм действия и применения

А.А.Гоглева, И.И.Артамонова

В предыдущей статье* мы рассказали о недавно открытых в геномах большинства прокариот (45% бактерий и 85% архей) не кодирующих белки участках — CRISPR. Напомним, у этой структуры есть «тело» — кассета, состоящая из коротких прямых повторов, разделенных уникальными последовательностями (спейсерами), и «голова» — лидерная последовательность, которая, по-видимому, регулирует транскрипцию CRISPR-кассеты, а значит, и функционирование всей системы. Глядя на ее обобщенный «портрет», исследователи предположили, что CRISPR-структуры нужны прокариотической клетке, возможно, для сегрегации хромосом, репарации ДНК, иммунной защиты от вирусов или просто служат горячим локусом рекомбинации геномов, предоставляя эволюции все новые и новые возможности для выбора самых приспособленных форм. Какая же из гипотез оказалась верной?

Функция CRISPR

Люди научились одомашнивать не только коров и собак, но и бактерий. *Streptococcus thermophilus* — одна из ключевых одомашненных микробных куль-

* См.: Гоглева А.А., Артамонова И.И. CRISPR-системы: структура и гипотетические функции // Природа. 2014. №6. С.16—21.



Анна Анатольевна Гоглева, аспирант группы биоинформатики отдела вычислительной системной биологии Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН (ИОГен). Занимается изучением CRISPR-систем прокариотического иммунитета в микробиоме человека.



Ирина Игоревна Артамонова, кандидат биологических наук, руководитель группы биоинформатики ИОГен, доцент Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, старший научный сотрудник Учебно-научного центра «Биоинформатика» Института проблем передачи информации им.А.А.Харкевича РАН. Область научных интересов — эволюционная геномика, биоинформатика, аннотация геномов.

тур — используется для получения сыров, йогуртов и других молочнокислых продуктов**. Бактерии, даже самые полезные, тоже болеют. Существенное беспокойство молочной промышленности постоянно доставляет подверженность *S.thermophilus* различным вирусным инфекциям. Неслучайно именно на этом модельном организме были получены ключевые экспериментальные данные для подтверждения функции CRISPR-систем.

Оказалось, что если заразить живую культуру *S.thermophilus* бактериофагами, большинство бактерий погибнет, а очень небольшая часть выживет. Если затем секвенировать CRISPR-кассеты выживших клонов, то выяснится, что в любой из них число спейсеров уве-

** Подробнее см.: Суворов А.Н. Полезные микробы — кто они? // Природа. 2009. №7. С.21—30.

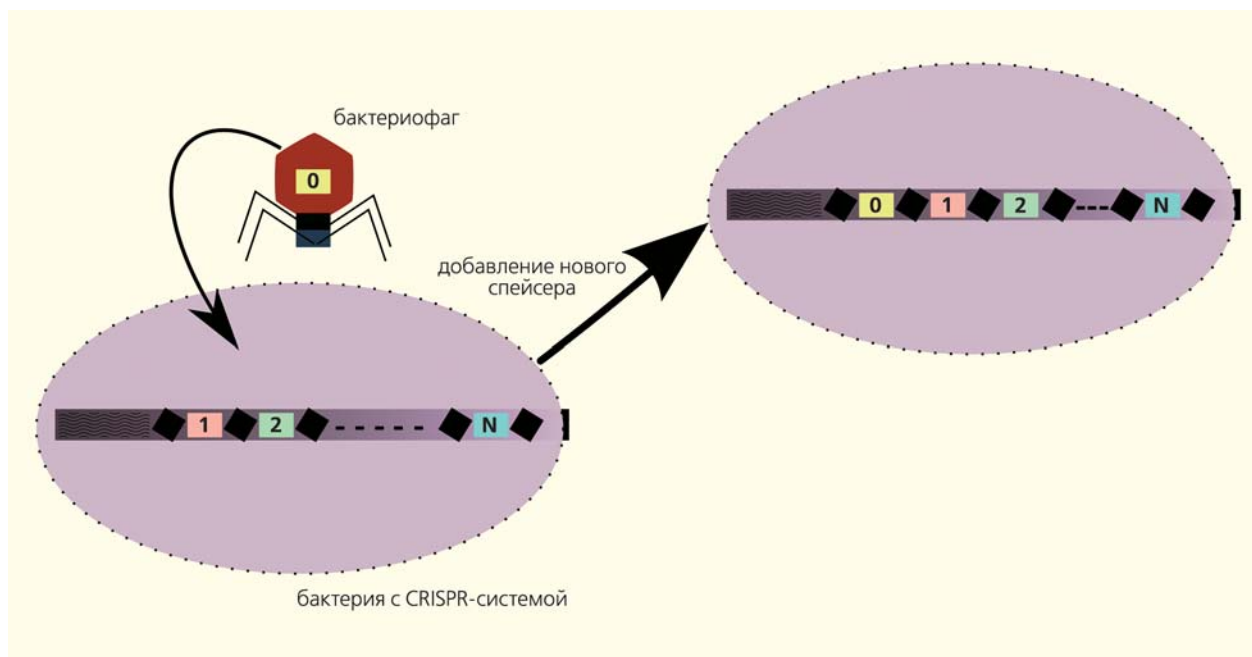


Рис.1. Направленное включение новых спейсеров в CRISPR-кассету.

личилось: в кассете каждого клона появилось от одного до четырех дополнительных спейсеров рядом с лидерной последовательностью [1]. При повторном заражении теми же бактериофагами все клоны выжили.

Как будто, переболев вирусной инфекцией, бактерия стала немного опытнее и записала себе в «медицинскую карту» что-то важное об этом вирусе, и такая инфекция ей теперь не страшна. Действительно, новые спейсеры оказались комплементарны участкам генома заразившего ее вируса. Получается, что CRISPR-кассета — это история болезни бактерии, а спейсеры соответствуют записям об отдельных инфекциях. Если теперь искусственно вырезать из вирусного генома небольшие фрагменты и вставить их в виде новых спейсеров, то клетка окажется невосприимчива к исходному вирусу, даже если никогда раньше с ним не встречалась. Наблюдение оказалось верным и в обратную сторону: при удалении из CRISPR-кассет спейсеров, подобных последовательностям данного бактериофага, исчезала и устойчивость к нему [1]. Эта серия простых и изящных экспериментов на *S. thermophilus* полностью подтвердила гипотезу об иммунной функции CRISPR-систем.

Что же происходит дальше с выжившей бактерией и вновь встроенным спейсером? По своему происхождению он полностью совпадает с участком фагового генома (протоспейсером) и обеспечивает полную защиту: этой клетке данный вирус не страшен. Если таких клеток много, то вирус вряд ли преуспеет в заражении большого числа бактерий и не сможет размножиться в массовых количествах, а значит, он вымрет. Не случись по-

вторного заражения тем же вирусом, спейсер в кассете долго не задержится: со временем он просто будет утерян в результате рекомбинации между повторами кассеты.

Заметим, что вирус тоже не бездействует — он умеет «убегать» от CRISPR-иммунитета за счет точечных мутаций, накапливаемых в последовательности протоспейсера. Интересно, что единичные замены в некоторых из них сразу лишают бактерию устойчивости к вирусу, замены в других лишь несколько ослабляют ее. В любом случае, когда протоспейсер теряет сходство с бактериальным спейсером, как злоумышленник, сделавший серию пластических операций, становится непохож на себя, пропадает и устойчивость. Теперь клетку при заражении спасет только встраивание нового спейсера из данного бактериофага.

Полярная манера включения новых спейсеров (рис.1) в состав CRISPR-кассет позволяет буквально читать историю взаимоотношений прокариот и их вирусов на определенном эволюционном промежутке. Таким образом, CRISPR — это не только иммунитет, но еще и память о недавних победах прокариотической клетки.

Механизм работы

Какие же молекулярные механизмы обеспечивают CRISPR-опосредованный иммунитет? Правильнее говорить о работе CRISPR/Cas-системы. Ведь только за счет сложных белковых машин из Cas-белков CRISPR-кассетам и удастся реализовать защитную функцию.

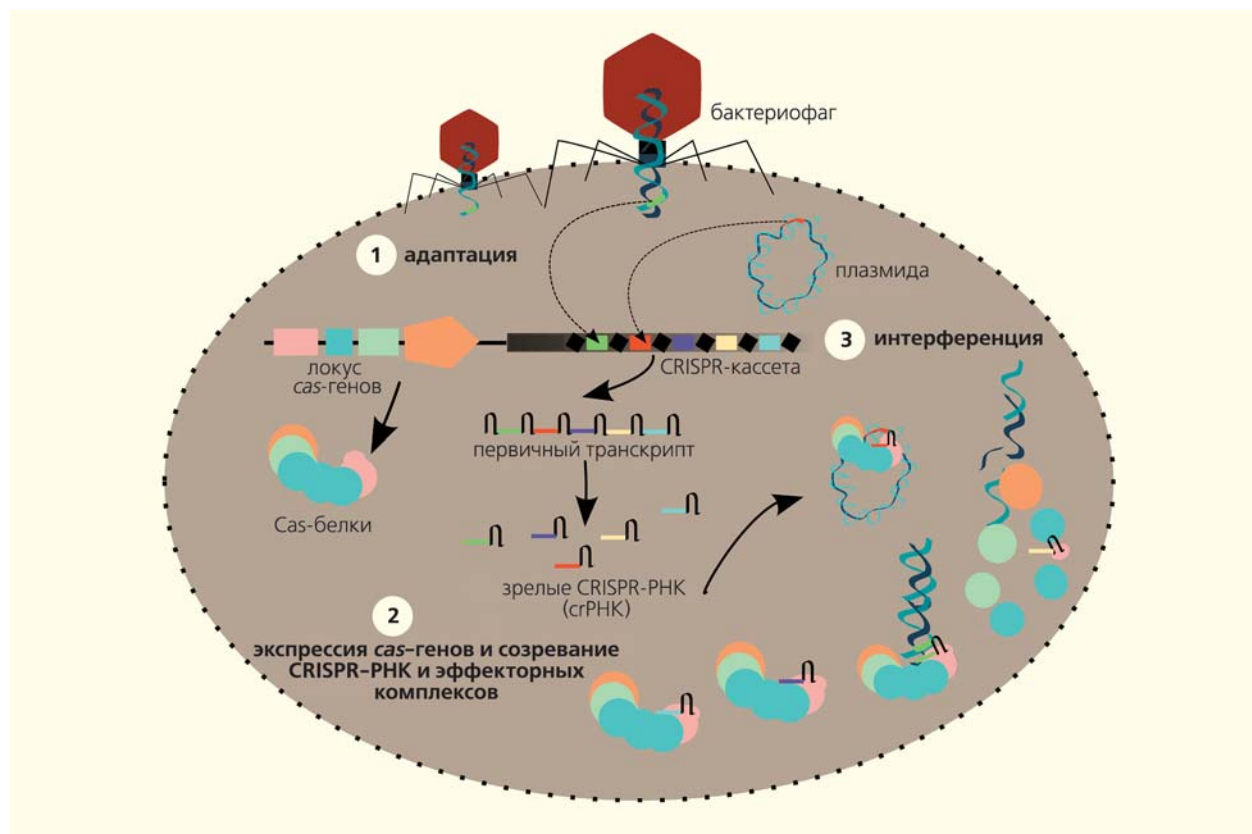


Рис.2. Основные этапы CRISPR-опосредованного иммунного ответа.

CRISPR/Cas-система работает в три этапа (рис.2): приобретение новых спейсеров (адаптация), созревание эффекторных комплексов и разрушение чужеродной ДНК (иммунный ответ).

Адаптация. Когда клетку с CRISPR-системой заражает вирус, из его генома вырезается небольшой фрагмент и встраивается в кассету в качестве спейсера [1]. При множественных повторных заражениях одним и тем же агентом включение первого спейсера, даже если он из-за случайных мутаций не обеспечивает полной защиты, ускоряет приобретение дополнительных спейсеров против того же самого чужеродного репликона (вируса или плазмиды). Это явление назвали праймированием [2]. Несколько спейсеров повышают шансы справиться с инфицирующим агентом даже при неполном совпадении спейсеров и протоспейсеров. Лидерная последовательность — это «точка роста» CRISPR-кассеты. С ней взаимодействуют белковые машины, отвечающие за включение новых спейсеров. Без лидерной последовательности кассеты не могут расти [3].

Привилегированных вирусных и плазмидных генов, служащих источником протоспейсеров, нет, однако это не совсем случайные последовательности. В вирусных геномах рядом с протоспейсерами находятся короткие, обычно длиной в два-три нуклеотида, мотивы, или PAM (от. англ. protospacer

adjacent motif) [4]. По-видимому, это — участки связывания важных для выщепления протоспейсера белков и, кроме того, своеобразные подсказки для CRISPR-системы, что найденный спейсером участок относится к чужеродной ДНК.

Ключевые игроки на стадии приобретения новых спейсеров — белки Cas1 и Cas2 [5]. В некоторых случаях они даже слиты для удобства в один белок. Такая белковая машина работает последовательно: сканирует чужеродную ДНК в поисках PAM-последовательности; вырезает протоспейсер; распознает лидерную последовательность и вставляет новый спейсер с дополнительной копией повтора рядом с ней.

Созревание эффекторных комплексов. Спейсеры — своего рода пассивная иммунная память. Для защиты от интервентов нужно перевести ее в активный иммунный ответ. Это происходит тоже в несколько стадий. Сначала CRISPR-кассета активируется (экспрессируется), что приводит к образованию длинной молекулы первичного PhiK-предшественника. Экспрессия запускается благодаря регуляторной области в составе лидерной последовательности. Одновременно начинают синтезироваться Cas-белки. Из них строится скелет активного эффекторного комплекса. У кишечной палочки (*Escherichia coli*) такой комплекс, названный Cascade [6], состоит из молекул пяти

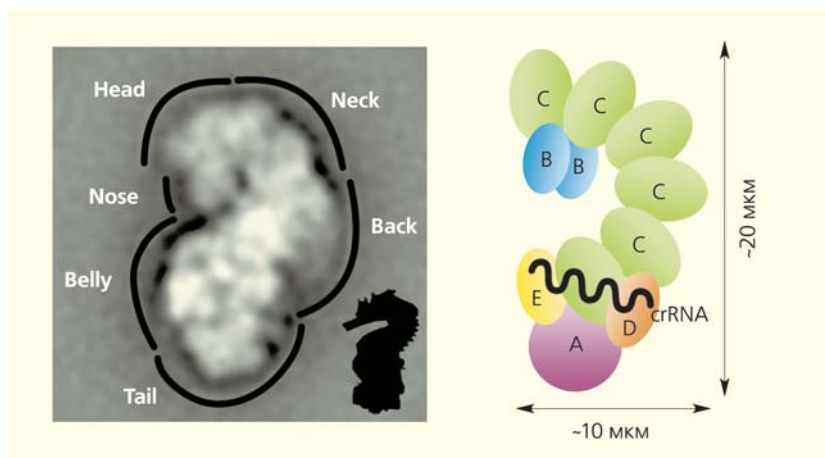


Рис.3. Структура Cascade-комплекса [7].

белков и по форме отдаленно напоминает морского конька (рис.3).

Комплекс из Cas-белков нарезает длинный первичный РНК-предшественник на короткие РНК (CRISPR-РНК или, кратко, сРНК), соответствующие последовательности одного спейсера, обрамленной неравными по длине участками повторов [6]. Субъединицы белкового комплекса расположены в пространстве так, что между ними образуется спиральная бороздка, в которую вкладывается сРНК. Cas-белки с намотанной на них сРНК составляют готовый к сражениям эффекторный комплекс.

Иммунный ответ. Правильно сориентированная сРНК в составе комплекса может комплементарно взаимодействовать с протоспейсером вирусной или плазмидной ДНК. Однако нужно не просто узнать чужеродную нуклеиновую кислоту, но и уничтожить ее. У *E.coli* за это отвечает эндонуклеаза Cas3, которая может резать как одноцепочечную, так и двухцепочечную ДНК. Важно, что Cas3 разрезает ДНК очень эффективно и совсем не специфично. Эффекторные Cas-сРНК-комплексы, напротив, очень специфично узнают последовательности, комплементарные спейсеру, изменяют свою конформацию и только после этого рекрутируют и правильным образом усаживают на ДНК белок Cas3 [8]. Особенно важны для такого узнавания семь якорных нуклеотидов на границе протоспейсера и PAM-мотива. Если между якорным участком и сРНК есть различия хотя бы в один нуклеотид, то CRISPR-опосредованный иммунитет не сработает. Единичные отличия сРНК от протоспейсера за пределом этой якорной области допускаются и уже не так драматически влияют на успех CRISPR-иммунитета. По мере накопления одноцепочечных разрывов в ДНК-мишени сродство эффекторного комплекса к ней снижается: он отсоединяется и распадается на отдельные субъединицы. Cas3 вносит большое число разрывов начиная с места своей

посадки и далее в более или менее случайной манере, кроша ДНК интервента. Возможно, короткие фрагменты ДНК, образованные в результате работы Cas3, служат заготовками для новых спейсеров. Такая преемственность между циклами работы CRISPR/Cas-систем могла бы объяснять эффект праймирования [2].

Описанный молекулярный сценарий позволяет CRISPR-системам нейтрализовать вирусные инфекции, предотвращать трансформацию плазмидами, нарушать процесс лизогенизации (перехода вирусов в покое)

состояние за счет встраивания своего генома в геном прокариота-хозяина), а также препятствовать индукции провирусов (переходу покоящихся вирусов, интегрированных в геном, в активное состояние). Изначально считалось, что CRISPR-системы уничтожают только ДНК. Однако позднее открыли архейные CRISPR/Cas-системы, эффективные против вирусов с РНК-геномами [9].

Ошибки CRISPR. Живое ошибается. Время от времени, например, полимеразы путают нуклеотиды, эндонуклеазы разрезают неправильные последовательности, а рибосомы неверно узнают антикодоны тРНК и включают неправильные аминокислоты в белки. Наверно, ошибаются и CRISPR-системы? В кассетах некоторых организмов замечены спейсеры, совпадающие с участками собственного генома клетки, а это страшно. Такие спейсеры заставляют CRISPR работать по аутоиммунному сценарию, т.е. разрушать собственную ДНК.

Автоспейсеры — это не такое уж редкое явление. У 18% организмов, имеющих CRISPR-системы, есть по меньшей мере одна кассета хотя бы с одним таким спейсером-предателем [10]. Автоспейсеры возникают на стадии адаптации, видимо, из-за ошибок работы Cas1 и Cas2. Часто автоспейсеры расположены в начале кассеты, а значит, были приобретены совсем недавно. Судя по всему, у автоспейсеров в активных CRISPR-кассетах очень короткое время жизни: либо они успевают оказать негативное воздействие на клетку, либо еще до этого удаляются из состава кассеты.

При попадании в кассету автоспейсеров CRISPR-система должна быть немедленно инактивирована. Например, у *Lactobacillus acidophilus* обнаружен автоспейсер против гена 16S рРНК, а это одна из трех ключевых рибосомальных РНК, формирующих структуру рибосомы [10]. Такой спейсер в составе активно работающей CRISPR-кассеты означал бы немедленную гибель клетки. Но, так как мы можем наблюдать такую кассету, время от времени этого не происходит. Напри-

мер, у *Lacidophilus* практически полностью отсутствуют cas-гены, т.е. CRISPR-система, судя по всему, нефункциональна. Возможно, именно из-за негативных аутоиммунных эффектов так часто обнаруживаются дегенеративные, очевидно неработающие CRISPR-касеты.

Эволюция CRISPR-систем

Ламарк верил во врожденное стремление организмов к самосовершенствованию. По Ламарку, эволюция происходит посредством «упражнения или неупражнения органов»: постоянное использование определенного органа должно приводить к его постепенному функциональному улучшению. Жираф тянется к листьям на дальних ветках — и его шея понемногу удлиняется. Такое изменение наследуется. По Дарвину, основные факторы эволюции — это нейтральная изменчивость, т.е. случайные, ненаправленные мутации, и отбор.

С позиций современного ламаркизма, адаптивная реакция на определенный фактор внешней среды должна быть опосредована молекулярным механизмом, вносящим изменения в геном. Напротив, согласно парадигме дарвиновской эволюции, внешняя среда рассматривается не как первопричина, а, скорее, как селективная сила, которая может благоприятствовать закреплению определенных случайных изменений, если они оказываются адаптивными в текущих условиях.

Посмотрим теперь на CRISPR-систему [11]:

- фактор окружающей среды (вирус) непосредственно задействован в модификации генома;

- модификация (вставка уникального спейсера) напрямую воздействует на фактор окружающей среды, послуживший ее причиной;

- модификация очевидно адаптивна и передается по наследству.

Все отвечает ламарковскому сценарию.

Особенность CRISPR-наследственности — необычное время жизни возникающих изменений; даже в геномах близкородственных видов состав спейсеров сильно различается.

Другие защитные системы прокариот

CRISPR-система, конечно, не единственное оружие, которое прокариоты изобрели для борьбы с вирусами и плазмидами. Численность вирусных частиц значительно превосходит численность клеток всех прокариот в биосфере. Вирусы столь разнообразны в основном благодаря быстрой способности мутировать. Прокариоты вынуждены постоянно противостоять огромному, непрерывно и очень быстро изменяющемуся миру вирусов. Самая драматичная и жестокая гонка вооружений на планете происходит, в прямом смысле слова, прямо перед нами. Как многократная иллюстрация прин-

ципа Черной Королевы: «приходится бежать со всех ног, чтобы только остаться на том же месте».

Представим, что прокариотическая клетка — это крепость с многослойной системой защиты. Задача первого слоя — предотвратить контакт вирусных частиц с поверхностью клетки. Для этих целей хороши: производство слизи, наращивание полисахаридных капсул и маскировка рецепторов, служащих местом контакта с вирусными частицами на поверхности клетки. Все эти уловки в какой-то степени эффективны против любого инфицирующего агента, но не специфичны ни к одному из них и, как следствие, далеко не всегда срабатывают [12].

Задача второго слоя — борьба с вирусными частицами, сумевшими внедрить внутрь прокариотической клетки свой генетический материал. Вирусы очень маленькие, это просто «беглые нуклеиновые кислоты» в простой белковой упаковке. Как мы уже упоминали, прокариоты стремятся минимизировать свой геном, но это несравнимо с тем, насколько аскетичны геномы вирусов. Вирусы почти ничего не умеют делать сами, но зато умеют заставлять клеточные системы репликации, транскрипции и трансляции работать на себя. Это информационная война. Основная идея вируса — быстро и эффективно наладить массовое производство новых вирусных частиц силами захваченной клетки-хозяина. А задача прокариотической клетки — вовремя распознать и уничтожить нуклеиновую кислоту интервента. Одной из кодировок для того, чтобы отличить свою ДНК от чужеродной, служат модификации нуклеотидов, например, метилирование. Клеточная ДНК, как правило, имеет нужную модификацию, а чужеродная — нет. Любая ДНК, лишенная нужной модификации, распознается как агрессор и автоматически становится мишенью для неспецифических рестриктаз, нарезающих ДНК на мелкие кусочки. По описанному принципу работают хорошо изученные и очень распространенные системы рестрикции-модификации, распознающие чужеродную ДНК по статусу метилирования, а также недавно описанная dnd-система, которая узнает замену бокового кислорода в фосфодиэфирном скелете ДНК на серу [13].

Когда никакие защитные системы уже не помогают и не удается справиться с вирусным поражением, запускаются системы abortивной инфекции (abi), в результате деятельности которых клетка очень быстро и планомерно погибает. Так предотвращается распространение вирусных частиц внутри популяции своего вида. Такое самопожертвование может показаться несколько удивительным, так как прокариоты — это одноклеточные организмы и каждая клетка, казалось бы, должна заботиться только о собственном благополучии. Но это не совсем так. Многие прокариоты формируют колонии, конгломераты, организуются в биопленки или даже толстые маты (как делают, например, цианобактерии). Такие сообще-

ства часто приобретают какую-нибудь примечательную способность, которой не обладают составляющие клетки по отдельности. Например, конгломерат начинает целенаправленно синтезировать определенное вещество, или колонизировать поверхность эпителия животных, или светиться в темноте, или становиться подвижным. Но это все происходит, только если участников в сообществе собралось достаточно много. Такое явление получило название «чувство кворума». Благодаря механизму abortивной инфекции многоклеточные сообщества лучше противостоят вирусным инвазиям, пусть и ценой жизни отдельных клеток.

CRISPR-системы занимают привилегированное положение и, скорее, принадлежат ко второму из описанных типов, но выгодно отличаются специфичностью действия и способностью сохранять память о предшествовавших вирусных инвазиях. Можно думать о CRISPR как специализированном подразделении хорошо обученных стрелков. CRISPR часто работают вместе со всеми остальными защитными системами, однако детали такого взаимодействия пока неизвестны. Возможно, разные защитные системы работают как синергисты. Например, в результате работы систем рестрикции-модификации образуются короткие фрагменты чужеродной ДНК, которые могли бы служить предшественниками для спейсеров CRISPR-кассет.

Практическое использование

CRISPR-системы привлекательны своей высокой эффективностью, программируемостью и наследуемостью не только для бактерий и архей, но и для человека. Где же CRISPR могут пригодиться?

Маркировка и типирование штаммов. Жизнь каждого бактериального штамма неповторима и уникальна, как и череда перенесенных им инфекций, записанная языком спейсеров. Индивидуальный рисунок CRISPR-кассеты служит естественной генетической маркировкой запатентованных коммерческих штаммов. Как мы уже упоминали в предыдущей статье, типирование штам-

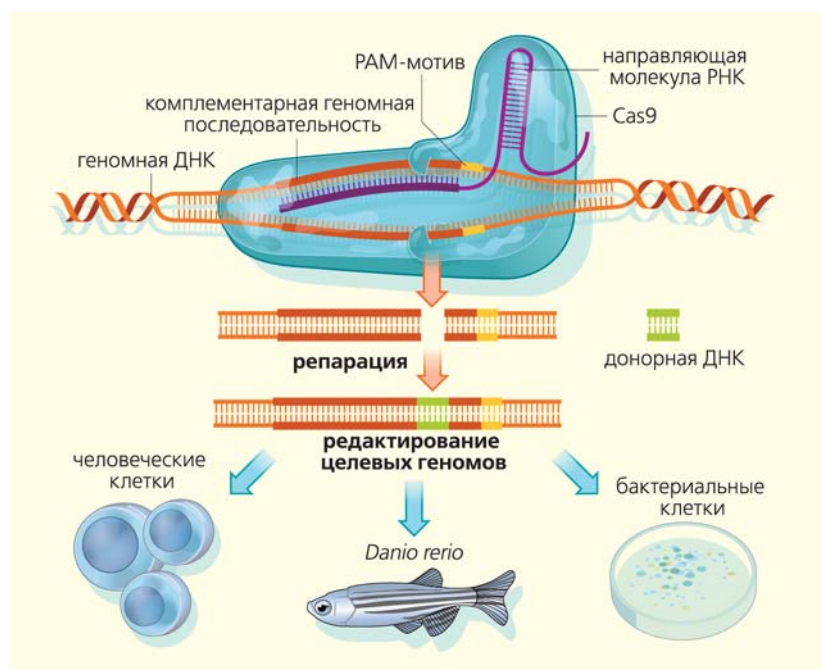


Рис.4. Редактирование целевого генома с помощью РНК-направляемого белка Cas9 [17]. Cas9 — это ДНК-специфичная эндонуклеаза, присутствующая во многих бактериях в качестве одного из ферментов CRISPR-системы. Cas9 содержит два активных сайта, каждый из которых разрезает одну из цепей двойной спирали ДНК. Этот фермент находит целевую ДНК с помощью короткой молекулы РНК, комплементарной последовательности, которая должна быть разрезана. Кроме того, целевая последовательность ДНК должна быть фланкирована PAM-мотивом. РНК-направляемая активность Cas9 ориентирована на специфичное расщепление двойной цепи ДНК, которая затем репарируется по механизмам негомологичной сшивки концов или гомологичной рекомбинации. Во время гомологичной рекомбинации добавление донорной ДНК позволяет привнести новую последовательность в точку разреза. Несколько недавних статей показывают, что РНК-направляемое расщепление с помощью Cas9 можно использовать для модификации геномов человеческих и мышиных клеточных линий, а также даже для модификации генома рыбки *Danio rerio* во время одноклеточной эмбриональной стадии.

мов на основании множества спейсеров CRISPR-кассет, например, широко и давно применяется для определения эпидемиологической разновидности разных видов болезнетворных бактерий.

Сейчас при помощи молекулярного клонирования можно внести функциональные CRISPR/Cas-системы в клетки очень широкого круга организмов [14]. Для чего их можно использовать?

Прививки для бактерий. Бактериофаги до сих пор представляют серьезную угрозу для большинства культур промышленных бактерий. CRISPR — это отличная настраиваемая платформа. На ее основе можно собрать нужный профиль устойчивости только за счет добавления спейсеров к соответствующим бактериофагам. Благодаря CRISPR-системам можно увеличивать продолжительность жизни ценных штаммов.

Ограничение распространения нежелательных генов, локализованных на плазмидах.

Если исследователь хочет застраховать свой штамм от приобретения плазмид, несущих нежелательные гены, ему на помощь тоже приходят CRISPR. Так можно ограничивать распространение генов резистентности к антибиотикам и даже целых островков патогенности.

Прививки от бактерий, фаготерапия. Бактерии ответственны за множество болезней человека. А существенная часть бактерий, населяющих тело человека, в том числе болезнетворных, содержит CRISPR-системы [15]. Если научиться правильно на них влиять и эффективно обходить CRISPR-иммунитет, то можно будет бороться с бактериями с помощью их естественных врагов, бактериофагов. Именно этим занимается фаготерапия, но пока, к сожалению, недостаточно успешно для массового применения.

Кроме того, находясь в условиях непрекращающейся гонки вооружений с бактериями, фаги научились красть их оружие, CRISPR-системы, и использовать для избегания клеточного иммунитета [16]. В ближайшем будущем, видимо, с помощью CRISPR можно будет сконструировать суперфаги,

очень специфичные и высоко эффективные против тяжелых бактериальных инфекций человека.

Генетические ножницы на основе CRISPR. Как уже говорилось, последовательности-мишени специфически узнаются с помощью сгРНК в составе эффекторного комплекса. Эти сгРНК можно модифицировать, а значит, изменится и мишень для эффекторного комплекса. Таким образом, CRISPR-системы можно легко перепрограммировать и использовать как удобный инструмент направленной манипуляции с геномами: для встраивания, удаления и модификации структурных генов и регуляторных последовательностей (рис.4). Хотя CRISPR-система — это исключительно прокариотическая придумка, она может быть успешно перенесена в клетки человека и многих других эукариот без потери функциональности и без негативного эффекта для реципиента [14]. Такая технология обладает большим потенциалом для генной терапии, лечения генетических заболеваний путем замены/удаления поврежденных участков генов, и создания высоко специфичных противовирусных вакцин. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект №12-04-01856-а.

Литература

1. Barrangou R., Fremaux C., Deveau H. et al. CRISPR provides acquired resistance against viruses in prokaryotes // *Science*. 2007. V.315. №5819. P.1709—1712.
2. Datsenko K., Pougach K., Tikhonov A. et al. Molecular memory of prior infections activates the CRISPR/Cas adaptive bacterial immunity system // *Nat. Commun.* 2012. V.3. doi:10.1038/ncomms1937
3. Lillestøl R.K., Shab S., Brügger K. et al. CRISPR families of the crenarchaeal genus *Sulfolobus*: bidirectional transcription and dynamic properties // *Mol. Microbiol.* 2009. V.72. №1. P.259—272.
4. Mojica F.J.M., Díez-Villaseñor C., García-Martínez J., Almendros C. Short motif sequences determine the targets of the prokaryotic CRISPR defence system // *Microbiology*. 2009. V.155. №3. P.733—740.
5. Yosef I., Goren M.G., Qimron U. Proteins and DNA elements essential for the CRISPR adaptation process in *Escherichia coli* // *Nucleic Acids Res.* 2012. V.40. №12. P.5569—5576.
6. Reeks J., Naismith J.H., White M.F. CRISPR interference: a structural perspective // *Biochem. J.* 2013. V.453. P.155—166.
7. Jore M.M., Lundgren M., van Duijn E. et al. Structural basis for CRISPR RNA-guided DNA recognition by Cascade // *Nat. Struct. Mol. Biol.* 2011. V.18. №5. P.529—536.
8. Westra E.R., Erp P.B. van, Künne T. et al. CRISPR immunity relies on the consecutive binding and degradation of negatively supercoiled invader DNA by Cascade and Cas3 // *Mol. Cell.* 2013. V.46. №5. P.595—605.
9. Hale C.R., Duff M.O. RNA-guided RNA cleavage by a CRISPR RNA-Cas protein complex // *Cell*. 2009. V.139. №5. P.945—956.
10. Stern A., Karen L., Wurtzel O. et al. Self-targeting by CRISPR: gene regulation and autoimmunity? // *Trends Genet.* 2011. V.26. №8. P.335—340.
11. Koonin E.V., Wolf Y.I. Is evolution Darwinian or/and Lamarckian? // *Biol. Direct.* 2009. V.4. P.42—56.
12. Samson J.E., Magadán A.H., Sabri M., Moineau S. Revenge of the phages: defeating bacterial defences // *Nat. Rev. Microbiol.* 2013. V.11. P.675—687.
13. Xu T., Yao F., Zhou X. et al. A novel host-specific restriction system associated with DNA backbone S-modification in *Salmonella* // *Nucleic Acids Res.* 2010. V.38. P.7133—7141.
14. Sander J.D., Joung J.K. CRISPR-Cas systems for editing, regulating and targeting genomes // *Nat. Biotechnol.* 2014. V.32. P.347—355.
15. Gogleva A.A., Gelfand M.S., Artamonova I.I. Comparative analysis of CRISPR cassettes from the human gut metagenomic contigs // *BMC Genomics*. 2014. V.15. P.202—217.
16. Seed K.D., Lazinski D.W., Calderwood S.B., Camilli A. A bacteriophage encodes its own CRISPR/Cas adaptive response to evade host innate immunity // *Nature*. 2013. № 494. P.489—491.
17. Charpentier E., Doudna J.A. Biotechnology: Rewriting a genome // *Nature*. 2013. V.495. P.50—51.

Биолюминесценция: возрождение

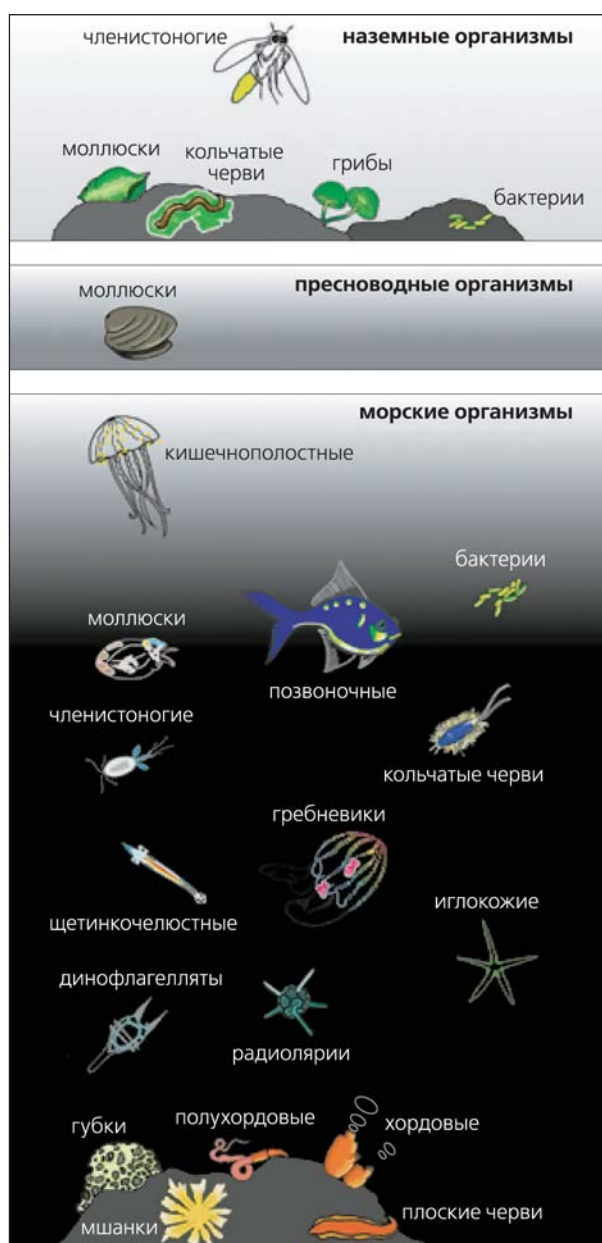
И.В.Ямпольский, А.С.Царькова, М.А.Дубинный,
В.Н.Петушков, Н.С.Родионова

Морской черт, подстерегающий на глубине добычу, привлекает «обед» светящимся концом специальной «удочки» перед ртом. Медуза, чтобы защититься от краба, окутывает себя спасительным ореолом. Рачок, несший нелегкую службу во Вторую мировую войну, позволял японским солдатам освещать карты незаметно для противника. Длинный ряд существ, использующих для своих (а иногда и чужих) разнообразных целей удивительный процесс — биолюминесценцию (от греч. βίος — жизнь и лат. lumen — свет). Способностью излучать в видимом диапазоне обладают эволюционно разнородные группы организмов. В их числе некоторые бактерии, грибы, кораллы, медузы, водоросли, черви, моллюски, насекомые, рыбы (но не более высокоорганизованные животные). Около 700 родов содержат виды, испускающие

© Ямпольский И.В., Царькова А.С., Дубинный М.А.,
Петушков В.Н., Родионова Н.С., 2014



Глубоководная рыба морской черт.



Многообразие биолюминесцентных организмов [1].



Илья Викторович Ямпольский, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института биоорганической химии (ИБХ) им. академиков М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН. Область научных интересов — установление структур и механизмов биосинтеза природных соединений, их полный синтез и применение.



Александра Сергеевна Царькова, младший научный сотрудник того же института. Область научных исследований — органический синтез.



Максим Анатольевич Дубинный, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник того же института. Занимается биомолекулярной спектроскопией ядерного магнитного резонанса.



Валентин Николаевич Петушков, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биофизики (ИБФ) Сибирского отделения РАН. Научные интересы связаны с биохимией, фотобиологией, изучением новых биолюминесцентных систем.



Наталья Сергеевна Родионова, кандидат биологических наук, научный сотрудник того же института. Специализируется на изучении биолюминесцентных систем.

свет самостоятельно или благодаря симбионтам. Биолюминесценция используется для привлечения добычи, освещения, коммуникации, маскировки, а также как средство обороны, нападения, отпугивания или отвлечения, в качестве «любовного» языка, предупреждения или угрозы. Продолжительность свечения варьируется от долей секунды до часов, цвет — от голубого до красного. У бактерий свет создается в цитоплазме, у одноклеточных эукариот — в специальных органоидах, у высокоорганизованных организмов (насекомых, рыб) — в особых органах (от скоплений железистых клеток до сложных образований, содержащих люминесцирующие бактерии). Помимо внутриклеточного, свечение бывает секреторного типа (кальмары для ослепления противника выбрасывают в воду «облако» из продуктов секреции двух желез).

Особенность биолюминесцентных систем в том, что они не закреплялись эволюционно, а формировались в каждом случае независимо. Известно около 30 различных механизмов, обеспечивающих свечение [2]. В отличие от многих структурных белков и ферментов (гистонов, цитохромов, мышечных белков), сходных у филогенетически далеких форм, компоненты биолюминесцентных систем у родственных животных могут быть различны. Считается, что биолюминесценция впервые возникла на стадии перехода от анаэробных форм жизни к аэробным, хотя общего мнения по этому вопросу нет*.

Сущность явления

Природа биолюминесценции — химическая. Субстрат люциферин, маленькая органическая молекула, окисляется под действием специфического фермента

* Подробнее см.: Лабас Ю.А., Гордеева А.В. Свет и цвет живых организмов // Природа. 2003. №2. С.25—31.

люциферазы. Люциферины и люциферазы у различных биологических видов химически не идентичны. Все такие реакции требуют окислителя (чаще всего молекулярного кислорода, иногда перекиси водорода) и протекают с образованием промежуточных комплексов — органических перекисных соединений. При их распаде высвобождается энергия, которая не рассеивается в виде тепла, а возбуждает молекулы вещества, испускающего фотоны (отсюда название «холодное свечение»). От их энергии, а значит от типа конкретного люциферина, зависит частота света (т.е. цвет). В трех известных случаях участником люциферин-люциферазной реакции становится еще и аденозинтрифосфат (АТФ). Это свойственно многоножке *Luminodesmus sequoia*, грибной мушке *Arachnocampa flava* и всем видам светляков. Биолюминесценция, однако, может происходить и по-другому. Свечение медузы *Aequorea* обусловлено взаимодействием специфического белка экворина с ионами кальция, причем без участия кислорода.

От суеверных страхов к знанию

О загадочном свечении морских вод, рыб и некоторых грибов писал еще Аристотель (384—322 гг. до н.э.). Мореплаватели приписывали этому явлению мистические свойства, считая его источником огня из преисподней. Однако если в начале нашей эры свечение моря пытались объяснить эффектом бомбардировки частиц воды солью (по аналогии с искрой из-под кремня, ударяющего о сталь), а свечение рыб — содержащимся в их чешуе фосфором, то сегодня эти предположения могут вызвать лишь снисходительную улыбку.

Научные основы биолюминесценции заложил Роберт Бойль (1627—1691), знаменитый и известный всем со школьной скамьи (закон Бойля—Мариотта) английский физик, один из учредителей Лондонского королевского общества. Он показал абсурдность предрассудков и суеверий, порожденных этим явлением, обнаружив его сходство с горением — простой химической реакцией, которая прекращается в отсутствие кислорода. Откачивая воздух из сосуда с куском светящегося (из-за грибов) дерева, он наблюдал, как излучение, постепенно ослабевая, исчезает совсем, но возобновляется, когда в сосуд опять попадает кислород. Изучение механизмов органического свечения продолжил Рафаэль Дюбуа (1849—1929). Из экстрактов люминесцирующих жуков *Pyrrophorus* он выделил две фракции, ответственные за возникновение света в присутствии кислорода. Белковую составляющую, которая теряла активность при нагревании (как ферменты), он назвал люциферазой, а термоустойчивую низкомолекулярную — люциферин.

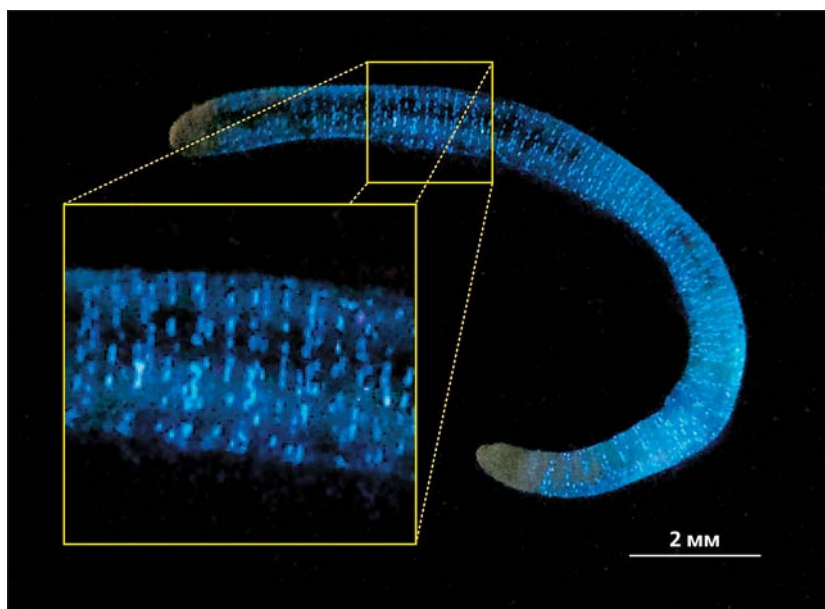
С тех пор было сделано множество открытий, связанных с природой биолюминесценции. Одна-

ко в 2006 г. нобелевский лауреат Осаму Шимомура, посвятивший более 50 лет своей жизни исследованию этого завораживающего явления, с сожалением отметил, что значительный прогресс, достигнутый в этой области, сменился упадком [2]. На сегодняшний день известны структуры только семи природных люциферин. Если в третьей четверти XX в. были определены пять из них, то в последней четверти — только два. К тому же последняя структура нового люциферина из динофлагеллят (простейших организмов, составляющих значительную часть морского планктона и светящихся от движения водных масс) была охарактеризована уже четверть века назад [3].

Долгожданный прорыв

Недавно в таежных районах юга Красноярского края был открыт новый люминесцирующий вид кольчатых червей семейства энхитреид. Один из авторов статьи (В.Н.Петушков), специалист по люминесценции бактерий, еще студентом, работая ночью на биостанции Красноярского университета, заметил, что его следы на земле светятся. Источником голубоватого излучения оказались мелкие черви. Тогда эта находка не показалась важной, и о сибирских светящихся червях забыли на много лет. А в конце 1980-х годов В.Н.Петушков с коллегой Н.С.Родионовой вернулся на биостанцию, чтобы попытаться определить вид этих существ. Выяснилось, что миру они неизвестны. С помощью Н.Т.Залесской, специалиста по беспозвоночным из московского Института проблем эволюционной морфологии и экологии животных им.А.Н.Северцова РАН, было сделано первое краткое описание нового вида олигохет, названного *Fridericia heliota* [4].

Небольшие (длина взрослой особи 15—20 мм, диаметр 0.5 мм, масса 2 мг) бело-желтые черви *F.heliota* живут в лесных сибирских почвах. Они испускают зеленовато-голубой свет (максимум спектра излучения приходится на 478 нм), который после механического, химического или электрического раздражения постепенно в течение примерно 10 минут затухает. Светящиеся точки расположены на теле червя, а целомическая жидкость (заполняющая вторичную полость тела) не излучает. Считалось, что люминесценция всех земляных червей имеет единый характер. 12 видов из шести родов олигохет (*Diplocardia*, *Diplostrema*, *Fletcherodrilus*, *Octochaetus*, *Pontodrilus* и *Spenceriella*) выделяют целомическую жидкость, в клетках которой содержится биолюминесцентная система, включающая перекись водорода [5]. Наиболее полно механизм свечения изучен у крупных (длина около 60 см, масса 7 г) червей *Diplocardia longa*, обитающих в песчаных почвах на юге штата Джорджия (США). Люциферин *D.longa*, алифатический альдегид N-изовалерил-3-



Свечение червя *Fridericia heliota*.

Фото А.А. Семенова

амино-1-пропаналь, служит субстратом для люцифераз всех других светящихся олигохет. Более того, люцифераза *D.longa* активна в кросс-реакциях (когда пару взаимодействующих веществ берут от двух разных видов животных) с люциферинами других червей [6]. Но сибирский червь *F.beliota* оказался уникальным — кросс-реакции с люциферинами и люциферазами любых других организмов дали отрицательный результат. Это подразумевало, что механизм биолюминесценции у *F.beliota* и других видов отличается. В 2003 г. совместно с итальянским специалистом по систематике червей Э.Рота было опубликовано подробное описание светящегося червя из сибирской тайги [7].

Трудный путь к свету

В 2003—2007 гг. группа Петушкова провела первые исследования свойств биолюминесцентной системы *F.beliota* и выявила ее необходимые компоненты — новые люциферин и люциферазу, кислород, АТФ и ионы магния. Люциферин и люциферазу очистили, получили ультрафиолетовый спектр (зависимость поглощения от длины волны в ультрафиолетовом диапазоне) люциферина, исследовали рН- и температурную зависимости скорости реакции *in vitro*, влияние на нее солей и детергентов [8—10]. Эта работа требовала непрерывного поступления биомассы червей, которых ежегодно с тоннами земли в летне-осенний период и днем, и ночью добывали в лесах. В 2011 г. Шимомура возглавил новую лабораторию биолюминесцентных биотехнологий в Си-

бирском федеральном университете, и работы по изучению механизма испускания света *F.beliota* продолжились.

Чтобы установить структуру природного вещества, сначала его надо выделить в чистом виде. С люциферинном *F.beliota* возникли серьезные затруднения из-за ограниченности биомассы червей (ручной сбор давал около 30 г в год, а в лабораторных условиях эти черви не хотят размножаться) и низкого содержания люциферина (приблизительно 0.1 мкг на 1 г необработанной биомассы) [10]. Ценной огромных усилий группе Петушкова за несколько лет из 90 г биомассы червей удалось выделить всего 5 мкг люциферина. Помимо него, экстракт *F.beliota* содержал несколько соединений неуставленного состава, которые похожи на люци-

ферин по своим спектральным и хроматографическим свойствам. Они флуоресцируют так же, как и настоящий люциферин, но им самим не являются. Петушков предположил, что эти соединения — неактивные аналоги люциферина (его предшественники или продукты деградации). Значит, они должны иметь схожую с люциферинном структуру. Одним из основных компонентов экстракта червя (его содержание в 30 раз больше, чем люциферина) было соединение, названное CompX. Выделенного количества (около 150 мкг) вполне хватило, чтобы получить всю информацию о его структуре [11].

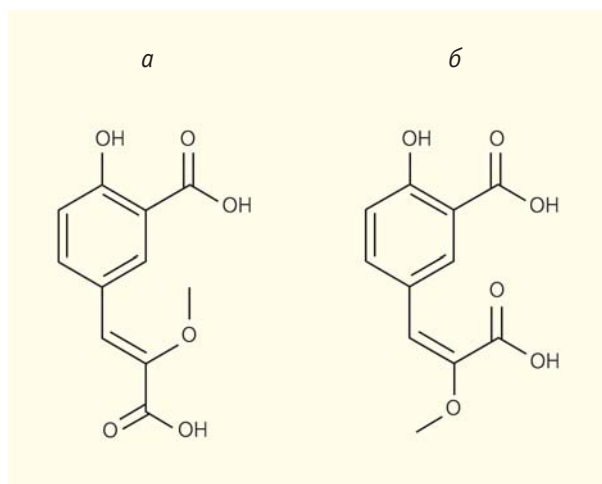
Основной метод определения состава и строения вещества в современной органической химии — спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР)*. Его важный частный случай — протонный магнитный резонанс. Ядро атома водорода, ^1H , во внешнем магнитном поле может находиться в двух энергетических состояниях: его собственный магнитный момент (важно, что он ненулевой) может ориентироваться по направлению поля и против него. Переход с нижнего энергетического уровня на верхний сопровождается поглощением энергии ($\Delta E = h\nu$, где E , h и ν — энергия, постоянная Планка и частота излучения соответственно), которое регистрируется ЯМР-спектрометром. Ампулу с растворенным исследуемым веществом помещают в сильное магнитное поле и подвергают воздействию импульсов радиочастотного излучения. При определенных частотах

* Подробнее см.: Федин Э.И. ЯМР-интроскопия — новый метод изучения структуры биологических объектов // Природа. 1980. №4. С.77—81.

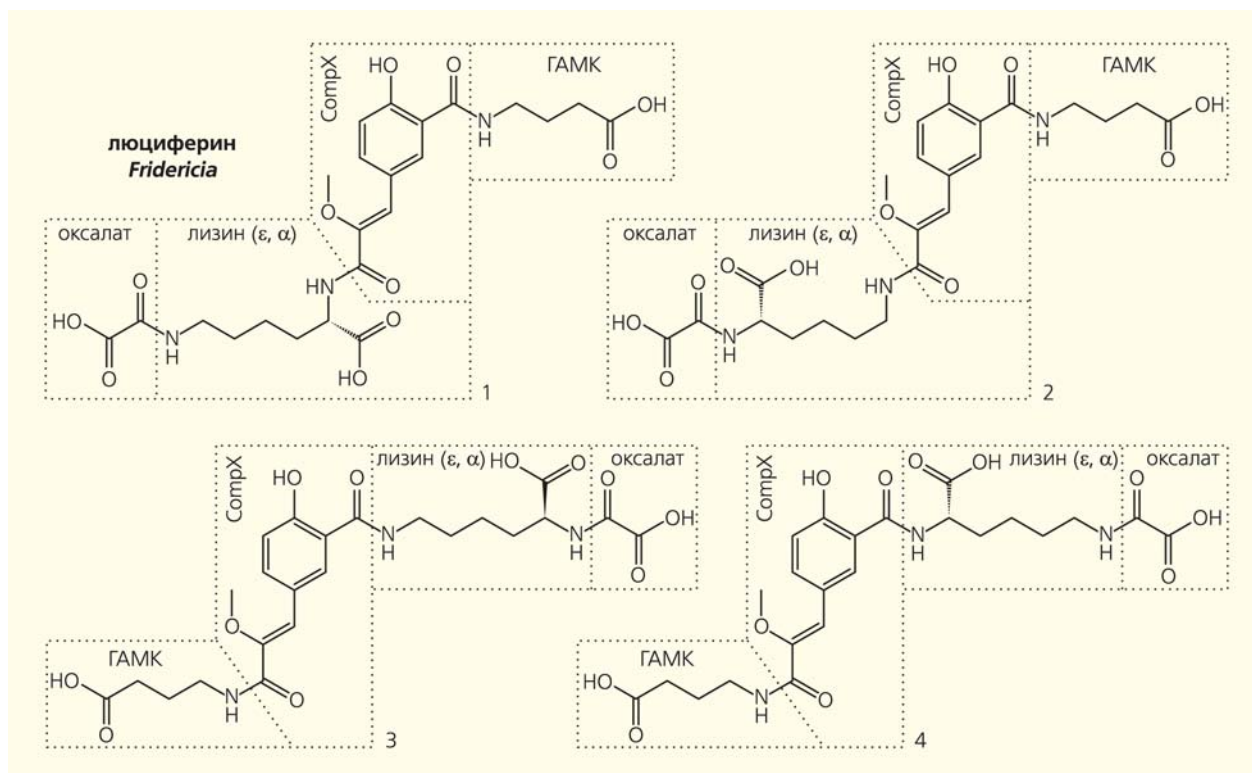
протоны резонируют — частота импульса оказывается равной частоте переходов между энергетическими уровнями. При возникновении таких переходов образцом поглощается энергия внешнего поля. Частота ЯМР зависит от напряженности магнитного поля, а при заданном его значении — от магнитного момента исследуемого типа ядер. Однако частота резонанса для ядер одного химического элемента чрезвычайно чувствительна к их химическому окружению. Электронные оболочки атомов и молекул реагируют на внешнее магнитное поле, частично экранируя его, что приводит к изменению частоты резонанса — химическому сдвигу. Его величина зависит от окружения исследуемого ядра, взаимного расположения соседних атомов в пространстве, связи между ними. Часто в образце содержится несколько типов молекул, или в сложных органических молекулах резонирующие ядра находятся в разных атомных группах. Тогда даже для похожих атомов в близком окружении спектр ЯМР покажет разные сигналы, если атомы химически различны. Положение сигнала в спектре характеризует строение атомных групп, окружающих исследуемое ядро, а соотношение амплитуд пиков дает информацию об относительном количестве ядер с разным химическим окружением. Более того, из-за взаимодействия магнитных моментов разных ядер сигнал резонансного поглощения каждого из них может предстать собой сложный мультиплет (эффект спин-спинового взаимодействия), число и интенсивность компонент которого тоже однозначно связаны со строением молекулы исследуемого вещества. Так спектр ЯМР позволяет расшифровать химическое строение и структуру сложнейших органических соединений.

Итак, по данным ЯМР- и масс-спектроскопии (метода исследования вещества, требующего его ионизации и основанного на определении соотношения массы и заряда образующихся ионов) М.А.Дубинный и К.Д.Надеждин из Института биоорганической химии предложили структуру соединения ComrX. Оно оказалось необычным (такой молекулы в природе еще не находили) производным аминокислоты тирозина, получаемым в результате трех модификаций: дезаминирования до кетокислоты, метилирования енола и карбоксилирования ароматического кольца. Для установления конфигурации двойной связи А.С.Царькова и М.С.Баранов (из ИБХ) синтезировали и сравнили спектральные данные обоих изомеров. Z-изомер (от нем. *zusammen* — вместе; когда старшие заместители у каждого из атомов углерода, образующих двойную связь, расположены по одну сторону от нее) оказался идентичен природному образцу. Тогда как E-изомер (от нем. *entgegen* — против; старшие заместители у атомов углерода из пары — по разные стороны от двойной связи) обладал значимо отличными спектральными свойствами, в том числе отсутствием флуоресценции.

Чрезвычайно малое количество люциферина, добытое из экстракта червей *F.heliota*, позволило получить лишь масс-спектры высокого разрешения и часть ЯМР-спектров. По ним были расшифрованы три фрагмента структуры люциферина: ComrX, лизин и γ -аминомасляная кислота (ГАМК). Но как они соединяются между собой, было непонятно, так как для дальнейшего исследования не хватило люциферина. Наиболее вероятный способ, каким они могут образовать устойчивое соединение (не противоречащее имеющимся данным ЯМР), — с помощью пептидных связей между некоторыми из их четырех карбоксильных и трех аминогрупп. Дубинный снял ^1H ЯМР-спектры люциферина при нескольких значениях pH, чтобы различить свободные карбоксильные группы и те, которые образуют пептидные связи с аминогруппами остатков лизина и ГАМК. Дело в том, что свободные карбоксильные группы переходят из формы COOH в кислотном растворе в COO^- в нейтральной и щелочной среде, а эти изменения отражаются на соседних группах, за которыми наблюдают методом ЯМР. Зависимость от pH химических сдвигов протонов, прилегающих к титруемым карбоксильным группам, показала, что в лизине и ГАМК они свободны, а принадлежащие ComrX вовлечены в пептидную связь. Данные масс-спектров позволили установить брутто-формулу люциферина: $\text{C}_{23}\text{H}_{29}\text{N}_3\text{O}_{11}$. Вычисленная по ней масса и суммарная масса фрагментов ComrX, лизина и ГАМК за вычетом двух молекул воды, которые освобождаются при образовании двух пептидных связей, отличаются на массу C_2O_3 . «Недостача» как раз соответствует остатку щавелевой кислоты (оксала-та), невидимой в тех ЯМР-экспериментах, которые удалось провести с 5 мкг вещества. Люциферин *F.heliota* оказался необычным олигопептидом, состоящим из четырех остатков. Спектральным и масс-спектрометрическим данным не про-



Структуры ComrX (а) и его неприродного изомера (б).



Структуры четырех пептидных изомеров люциферина *F.heliota*.

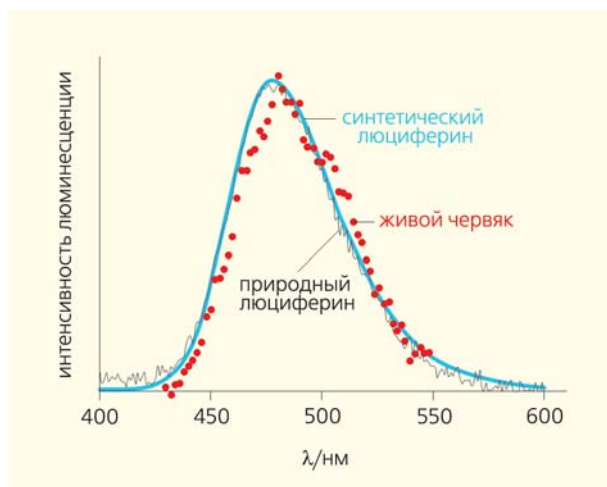
тиворечили только четыре структурных изомера, которые отличались порядком пептидных связей, соединяющих четыре «строительных кирпичика» люциферина *F.heliota* — CompX, лизин, ГАМК и оксалат.

Чтобы выяснить, какой из четырех пептидных изомеров отражает строение люциферина, пришлось провести их полный синтез, а затем сравнить ЯМР-спектры синтетических и природного соединений. Из четырех синтезированных только вещество 1 по всем спектральным характеристикам оказалось идентичным природному люциферину. И только оно обладало способностью испускать свет при добавлении белкового экстракта *F.heliota* в присутствии АТФ и MgSO₄. Более того, спектры люминесценции и зависимости интенсивности свечения от концентрации вещества у синтетического и природного люциферинов были идентичны [12].

Открытый люциферин стал восьмым известным науке. 25-летний перерыв в установлении новых механизмов биолюминесценции в живой природе завершился. Предположительно в ходе соответствующей реакции происходит окисление одной из трех свободных карбоксильных групп люциферина, в то время как флуоресцентный остаток CompX отвечает за испускание квантов света. Аналогичный химический процесс лежит в основе работы «светящихся палочек». В цилиндрическом пластиковом контейнере, напол-



Люминесценция синтетического люциферина в присутствии экстракта червей *F.heliota*, АТФ, кислорода O₂ и ионов магния Mg²⁺.



Спектры люминесценции червей *F.heliota in vivo*, природного и синтетического люциферинов.

ненном смеси флуорофора и дифенилового эфира щавелевой кислоты (дифенилоксалата), находится стеклянная капсула с перекисью водорода. При изгибе палочки внутренняя капсула разрушается, а дифенилоксалат и перекись водорода, смешиваясь, вступают в химическую реак-

цию, продукты которой — две молекулы фенола и одна эфира пероксикислоты (1,2-диоксетандион). Эфир спонтанно распадается на диоксид углерода с выделением энергии, которая возбуждает молекулы флуорофора. Последний высвобождает ее, испуская фотоны.

Открытие и расшифровка структуры компонента новой биолюминесцентной системы, помимо чисто научного, имеет и важное прикладное значение. Явление биолюминесценции очень широко применяется. Светящиеся метки используют для проведения анализов в медицине и фармацевтике, в лабораторных исследованиях — для визуализации различных физиологических процессов и активности генов, измерения концентрации АТФ. В экологии биолюминесценцию применяют для мониторинга окружающей среды. В тест-системах для поиска лекарств люциферин-люциферазные реакции служат своего рода лампочкой, помогающей определить, есть ли в электрической цепи напряжение. Люциферин *Fridericia heliota* непременно займет свою нишу в прикладной биолюминесценции. Он прост в химическом синтезе, исключительно стабилен в течение месяцев (а не часов, как самый используемый сегодня люциферин — светлячковый) и нетоксичен (в отличие от люциферина бактерий). ■

Литература

1. Roura S., Galvez-Monton C., Bayes-Genis A. Bioluminescence imaging: a shining future for cardiac regeneration // J. Cell. Mol. Med. 2013. V.17. №6. P.693—703.
2. Shimomura O. Bioluminescence: chemical principles and methods. Singapore, 2006.
3. Nakamura H., Kisbi Y., Shimomura O. et al. Structure of dinoflagellate luciferin and its enzymic and nonenzymic air-oxidation products // J. Am. Chem. Soc. 1989. V.111. P.7607—7611.
4. Залеская Н.Т., Петушков В.Н., Родионова Н.С. Светящиеся почвенные энхитреиды (Oligochaeta, Enchytraeidae) // Докл. АН СССР. 1990. Т.310. №2. С.496—498.
5. Wampler J.E., Jamieson B.G.M. Earthworm bioluminescence: comparative physiology and biochemistry // Comp. Biochem. Physiol. 1980. V.66B. P.43—50.
6. Obtsuka H., Rudie N.G., Wampler J.E. Structural identification and synthesis of luciferin from the bioluminescent earthworm, *Diplocardia longa* // Biochemistry. 1976. V.15. №5. P.1001—1004.
7. Rota E., Zalesskaja N.T., Rodionova N.S. et al. Redescription of *Fridericia heliota* (Annelida, Clitellata: Enchytraeidae), a luminous worm from the Siberian taiga, with a review of bioluminescence in the Oligochaeta // J. Zool. 2003. V.260. №3. P.291—299.
8. Petusbkov V.N., Rodionova N.S., Bondar V.S. Study of the luminescence system of the soil enchytraeid *Fridericia heliota* (Annelida: Clitellata: Oligochaeta: Enchytraeidae) // Dokl. Biochem. Biophys. 2003. V.391. P.204—207.
9. Rodionova N.S., Bondar V.S., Petusbkov V.N. ATP is a cosubstrate of the luciferase of the earthworm *Fridericia heliota* (Annelida: Clitellata: Oligochaeta: Enchytraeidae) // Dokl. Biochem. Biophys. 2003. V.392. P.253—255.
10. Petusbkov V.N., Rodionova N.S. Purification and partial spectral characterization of a novel luciferin from the luminous enchytraeid *Fridericia heliota* // J. Photochem. Photobiol. 2007. V.87. P.130—136.
11. Petusbkov V.N., Tsarkova A.S., Dubinnyi M.A. et al. CompX, a luciferin-related tyrosine derivative from the bioluminescent earthworm *Fridericia heliota*. Structure elucidation and total synthesis // Tetrahedron Lett. 2014. №55. P.460—462.
12. Petusbkov V.N., Dubinnyi M.A., Tsarkova A.S. et al. A novel type of luciferin from Siberian luminous earthworm *Fridericia heliota*: structure elucidation by spectral studies and total synthesis // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 2014. doi: 10.1002/anie.201400529.

Современные травертины в районе Санкт-Петербурга

В.Г.Колокольцев, М.Ю.Никитин, Е.О.Ковалевская

Травертин, или известковый туф, — легкая пористая порода, образовавшаяся в результате осаждения карбоната кальция из холодных или горячих источников. Отсюда и выделение двух генетических разновидностей: термогенные (кристаллизующиеся в термальных источниках) травертины и метеогенные (холодноводные). Среди первых известны: тибурский камень в Италии, травертины Памуккале в Турции, Йеллоустоунские террасы и др. В России такие породы распространены на Северном Кавказе, в Прибайкалье, на Камчатке. Вторая разновидность, как правило, характерна для областей, удаленных от молодых тектонически активных зон.

С давних пор известковый туф использовался как строительный камень при возведении архитектурных сооружений. В Риме из него построен грандиозный собор Святого Петра, в Санкт-Петербурге — колоннада Казанского собора (рис.1), скульптуры на стрелке Васильевского острова и в портике Горного института. Сейчас травертин редко используется при строительстве уличных сооружений из-за малой стойкости к воздействию агрессивных атмосферных осадков, но широко применяется для внутренней облицовки и при реставрации архитектурно-скульптурных па-



Вячеслав Григорьевич Колокольцев, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского геологического института им.А.П.Карпинского. Область научных интересов — флюидно-метасоматические процессы в осадочных толщах и связанные с ними полезные ископаемые. Отличник разведки недр (2001).



Елена Овидиевна Ковалевская, старший научный сотрудник того же института. Научные интересы связаны с проблемами карбонатного породообразования.



Михаил Юрьевич Никитин, ассистент кафедры геологии и геоэкологии факультета географии Российского государственного педагогического университета им.А.И.Герцена. В последнее время занимается вопросами травертиногенеза Северной Европы.

мятников. Эти известковые породы очень важны и для агропромышленных нужд.

Последнее глобальное образование травертинов на северо-западе Европы происходило в первой половине голоцена — самой поздней геологической эпохи в истории Земли, начавшейся около 10 тыс. лет назад. Формирование большинства известных место-

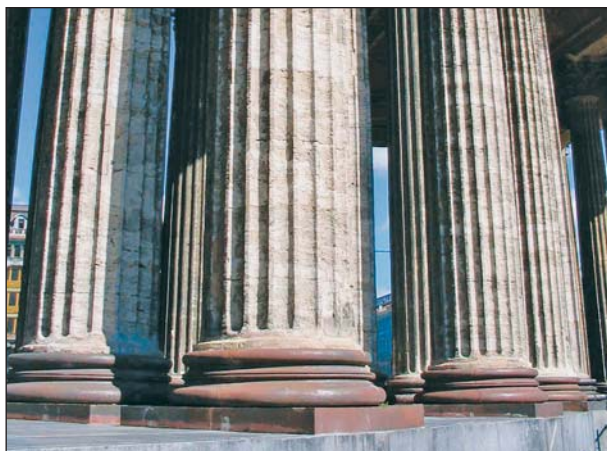


Рис.1. Травертиновые колонны на гранитных основаниях. Казанский кафедральный собор в Санкт-Петербурге.

рождений пресноводной извести приходилось в основном на время бореальной климатической фазы, сравнительно прохладной и сухой. Однако первые признаки массового холодноводного травертиногенеза отмечаются уже в конце субарктической климатической фазы, а постепенное завершение произошло в атлантической.

Залежи голоценовых известковых туфов известны на большей части территории внеледниковой Европы. Только на северо-западе России насчитываются тысячи месторождений. Несколько десятков из них находятся в Ленинградской обл. Сейчас процесс генерации холодноводных травертинов проявлен очень слабо. В европейской части России до недавних пор отмечались только их следы на субвертикальных стенках коренных пород возле источников и небольших водопадов. Это лишь подтверждает отсутствие в окружающей нас природной среде каких-то очень важных условий, необходимых для образования сколь угодно значительных масс известковых туфов.

Один из очагов современного холодноводного травертиногенеза находится на территории Ижорского плато в Ломоносовском р-не Ленинградской обл. [1]. Он пространственно сопряжен с одним из наиболее крупных месторождений раннеголоценовых известковых туфов. Вначале поэтому кратко охарактеризуем геологическую позицию и условия образования этих древних пород.

Раннеголоценовые травертины на Ижорском плато

Ижорское плато находится в северной части Балтийской моноклизы, в зоне сочленения Русской плиты с Балтийским кристаллическим щитом. В строении данной территории выделяются два структурных этажа: нижний — кристаллический фундамент и верхний — осадочный чехол. На эро-

дированной дорифейской поверхности фундамента залегает мощный комплекс вендских отложений, перекрытый породами кембрия, ордовика и девона. Почти повсеместно здесь распространены позднеплейстоценовые ледниковые отложения лужской стадии и образования приледниковых бассейнов. Голоцен представлен аллювиальными, реже озерными и болотными осадками.

Залежи раннеголоценовых известковых туфов чаще покоятся на морене последнего оледенения, реже — на палеозойских карбонатных или терригенных породах, иногда подстилаются голоценовыми озерными или болотными осадками. Подавляющая масса пресноводных известковых отложений образовывалась в непосредственной близости от мест выхода на поверхность подземных и грунтовых вод, а также в реках и озерах. Залежи мощностью 1–3 м (редко до 7–8 м) обычно приурочены к склонам или понижениям рельефа. Площадь известковых туфов варьирует в широком диапазоне — от сотен квадратных метров до нескольких квадратных километров.

Интенсивность процесса континентального карбонатакопления зависит от геологических, геоморфологических, гидрогеологических, климатических и многих иных факторов. Залежи пресноводных известковых отложений часто расположены в непосредственной близости от крупных выходов на поверхность древних известняков, доломитов, мергелей, которые характеризуются высокой водообильностью. При выщелачивании эти породы становятся источником Ca и CO_2 . Выходы гидрокарбонатных кальциевых вод нарушают карбонатное равновесие, и карбонат кальция выпадает в осадок. Наибольшее количество залежей приурочено к территориям с расчлененным рельефом, способствующим разгрузке подземных вод. Геоморфологические условия контролируют размещение залежей, определяют их форму и строение.

Считается, что раннеголоценовые известковые залежи довольно хорошо изучены. В многочисленных публикациях рассматриваются их морфологические особенности, факторы контроля, условия образования, критерии прогнозирования, вопросы практического использования. Седиментологам известны основные физические, химические и биогенные факторы пресноводного карбонатакопления. По способу образования известковые осадки обычно делят на две группы: абиогенные и биогенные. Рассматриваемые залежи всегда содержат карбонат кальция того и другого происхождения. Процессы растворения CaCO_3 и его поведение в водных растворах определяются сочетанием четырех основных факторов: давлением углекислоты в воздухе и ее концентрациями в самом растворе; температурой раствора; влиянием растворенных солей и живых организмов, обитающих в природной воде. Растворимость CaCO_3 в дистиллированной воде очень небольшая

(от 10 до 35 мг/л) и мало зависит от температуры, но сильно увеличивается в присутствии CO_2 .

В воде, содержащей CO_2 , молекулы CaCO_3 распадаются на ионы Ca^{2+} и CO_3^{2-} , а ионы H^+ реагируют с CO_3^{2-} , образуя ион HCO_3^- , который, в свою очередь, связываясь с Ca^{2+} , приводит к новому равновесию: $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Если по каким-то причинам из воды удаляется углекислота, то в растворе нарушается равновесие свободного CO_2 с ионами H^+ и HCO_3^- , что приводит к разрушению бикарбонатного иона: $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-}$. В результате легко растворимый бикарбонат $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ превращается в менее растворимый CaCO_3 , который выпадает в осадок. Освободившийся при этом CO_2 приводит к увеличению $p\text{CO}_2$ и может служить причиной обратного растворения части образовавшегося CaCO_3 . В озерных и морских водоемах такие «инверсии» случаются многократно [2], но они мало вероятны в источниках и реках, так как на место выпадения осадка поступают новые порции пересыщенных вод.

На режим CO_2 в природных карбонатных растворах сильное воздействие оказывает жизнедеятельность обитающих в них организмов.

На Ижорском плато известно более двух десятков месторождений и проявлений пресноводной извести. Наиболее крупное Пудостьское месторождение находится недалеко от Гатчины, на северо-западной окраине поселка Пудость. Оно приурочено к зоне Ижорского разлома, протягивающегося от Гатчины на юго-востоке до мыса Серайя Лошадь на северо-западе. Месторождение в значительной мере выработано, а часть его запасов находится в водоохранной зоне р.Ижоры. Только на строительство колонн, полуколонн и облицовку фасадов Казанского собора из Пудостьского карьера вывезли более 12 тыс. м^3 травертина, который получил местное название «пудостьский (пудостский) камень». Сегодня на месте старого карьера, кроме заросших следов разработок позапрошлого века, видны сравнительно свежие (скорее всего браконьерские) эксплуатационные выработки (рис.2).

В 6 км к западу от пос.Ропшы на продолжении того же Ижорского разлома располагается другое крупное месторождение — Глядино-Забородское. На одной из его залежей в XIX в. работал небольшой известковый завод, руины печей которого сохранились на северной окраине деревни Забородье. В контурах другой залежи в старом

затопленном карьере сейчас обнаруживаются прямоугольные очертания отработанных участков, свидетельствующих о былой добыче монолитных блоков известкового туфа. В некоторых пластах, перекрытых маломощными торфяниками, до сих пор ведется совместная выемка торфа и гажы (рыхлой, рассыпчатой порошкообразной массы углекислого кальция) для местных нужд.

Постелью продуктивных залежей служат ледниковые отложения, в основном суглинки с гравием, галькой и валунами принесенных кристаллических пород и местных известняков (рис.3). Они покрывают размытую поверхность кембрийской глины (в предглинтовой низменности) или ордовикские известняки (на плато). На неровной поверхности моренных суглинков залегают болотно-озерные осадки, выполняющие западины рельефа и представленные торфом с полуистлевшими остатками древесной и травяной растительности. На валунных суглинках и на болотно-озерных отложениях лежит гажы с пластами, линзами и мелкими блоками ржаво-бурого цвета, покрытых тонкими пленками оксидов и гидроксидов железа. Травертины и вмещающая их гажы в кровле имеют желтую, светло-кремовую и снежно-белую окраску. В подошве окраска более темная, участками породы содержат фитоморфозы (окаменелые остатки растений, сохраняющие первоначальные размеры и форму, а нередко и первичные структуры растительной ткани) мхов, осок, минерализованные обломки древесной растительности, отпечатки листьев. Встречаются и обильные остатки пресновод-



Рис.2. Свежая эксплуатационная выработка на Пудостьском месторождении голоценовых травертинов.

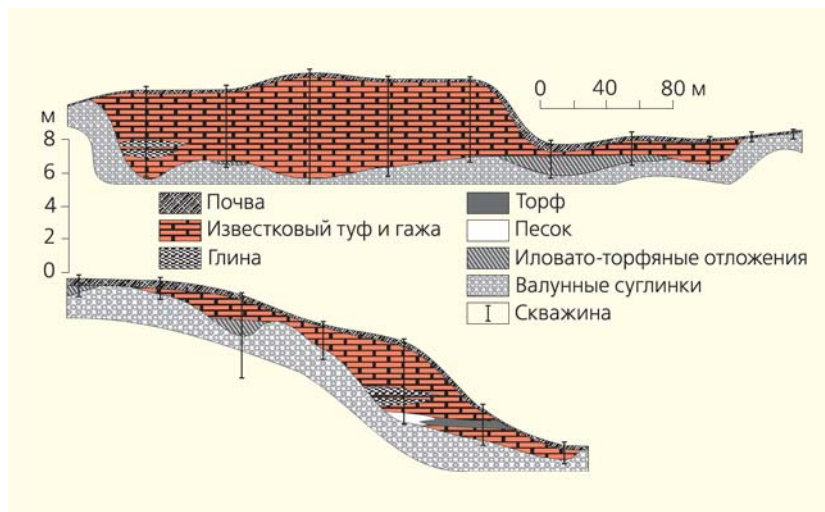


Рис.3. Разрезы одной из залежей раннеголоценовых травертинов Глядино-Забродского месторождения [5].

ных моллюсков (рис.4). Текстура туфов и степень их пористости в какой-то степени обусловлены набором фитоморфоз. Мелкопористые разновидности характерны для туфов с моховыми фитоморфозами, а грубопористые и ноздреватые свойственны породам, содержащим крупные растительные фоссилии (минерализованные органические остатки). Подавляющая масса известковой залежи представлена рыхлой гажой, и лишь незначительная доля ее объема приходится на умеренно или крепко сцементированный травертин. Умеренно сцементированные разновидности сравнительно мягкие, их можно разломать пальцами. Они пористые, содержат много каверн и пустот. Часто имеют желтоватый оттенок. Крепко сцементированные травертины более плотные, но также всегда имеют поры и крупные пустоты. Для них обычна светло-серая или снежно-белая окраска.

Травертины во влажном состоянии хорошо пилятся обыкновенной пилой и легко обтесываются топором. На воздухе они быстро твердеют. Спро-



Рис.4. Травертин с кальцитовыми раковинами пресноводных моллюсков. Пудостькое месторождение.

тивление сжатию в воздушно-сухом состоянии всегда выше (иногда более чем в два раза), чем при насыщении водой. Объемная масса известковых туфов варьирует от 0.85 до 1.96 г/см³, пористость — от 68 до 30%, плотность — от 2.62 до 2.75 г/см³. При очень высокой пористости травертины морозоустойчивы. Кажущийся парадокс объясняется просто: открытый характер пор позволяет воде свободно вытекать и занимать до 90% объема пустот, что меньше той доли, при которой порода в условиях замораживания начинает растрескиваться. Химический состав травертинов довольно беден. Концентрация СаСО₃ достигает 99.9% объема. Из примесей встречаются остатки органического вещества — торфа, сапропелита, неминерализованной древесины и др.

Блоки известковых туфов, погруженные в гажу, достигают нескольких кубических метров, но чаще имеют значительно меньшие размеры. Прогнозировать расположение крупных блоков очень сложно, поскольку их размещение зависит от множества факторов, включающих не только локальные обстановки седиментации, но также более поздние условия захоронения и последующего сохранения. Для надежного оконтуривания моноблоков, пригодных для строительных целей, должна проводиться детальная разведка.

Очаг современного травертиногенеза

Известный очаг современного травертиногенеза в пределах комплексного памятника природы «Глядино» (рис.5) впервые описан в 2005 г. [1]. Его территория охватывает долины ручьев Ривкузи и Егузи [5], дающих начало р.Шингарке, которая питает знаменитые фонтаны Петергофа и снабжает питьевой водой прилегающие населенные пункты. В окрестностях памятника распространены участки суходольных лугов на карбонатных породах, склоновых широколиственных лесов, низинных ключевых болот. Здесь произрастают редкие для Ленинградской обл. виды флоры, включая реликтовый сценус ржавый. В местах неглубокого залегания травертинов (особенно на старых выработках) цветут разнообразные орхидеи: башмачок настоящий, офрис насекомоядный, ятрышник шлемоносный и др. В составе флоры насчитывается около 400 видов сосудистых растений и 57 видов мхов. К особо охраняемым объектам относятся также и редкие виды обитающих здесь животных [6]. Статуса особо охраняемых заслуживают и от-

крытые на этой территории уникальные очаги современного травертиногенеза. Все перечисленные редкости (вкуже с очагом современной генерации травертинов) свидетельствуют, скорее всего, о том, что «Глядино» представляет собой реликт былого (возможно, бореального) биогеоценоза.

Современный травертиногенез наиболее ярко проявлен в ручье Ривкузи, который вытекает из Глядинского пруда и получает дополнительное питание из многочисленных источников. Долина ручья в верховьях, в пределах глинта (уступа), узкая каньонобразная, в среднем течении плохо выработанная. Вода быстрая, чистая, прозрачная, холодная. В самое теплое время года температура не поднимается выше 11°C. Ручей Ривкузи в 0.5 км ниже истока прорезает Глядинскую залежь древних (раннеголоценовых) известковых туфов, а еще через 1.5 км вскрывает другую залежь того же возраста. Из-за неравномерного растворения известковых туфов дно ручья неровное с глубокими ямами, перекатами, небольшими водопадами (до 0.3 м высотой). В 2.5 км ниже своего истока он сливается с ручьем Егузи.

На отрезке длиной около 500 м обрывистые склоны долины, берега и мелководье ручья населяют многочисленные мхи — целиком погруженные в воду кустистые формы и периодически обнажающиеся подушковидные. В таких обстановках сейчас формируются травертины. Среди них выделяются три морфоструктурные разновидности: моховидные, представленные окаменевшими мхами; харовидные, состоящие из литифицированных слоевищ *Charophyta*, и корковидные, образующиеся преимущественно в результате жизнедеятельности цианей и зеленых водорослей. Естественно, что встречаются и промежуточные варианты.

Один из участков современного травертиногенеза расположен южнее автомобильной дороги Ропша—Оржицы—Гостилицы (рис.6). Линзы (толщиной до 0.5 м) хрупких известковых новообразований залегают здесь на раннеголоценовых (древних) крепко сцементированных травертинах. Иногда они отделены пропластками темно-серого, почти черного, обводненного ила (рис.7).



Рис.5. Граница территории памятника природы Глядино (2) и очаг современного травертиногенеза (1) [6, с дополнениями].



Рис.6. Участок очага современного травертиногенеза в ручье Ривкузи.

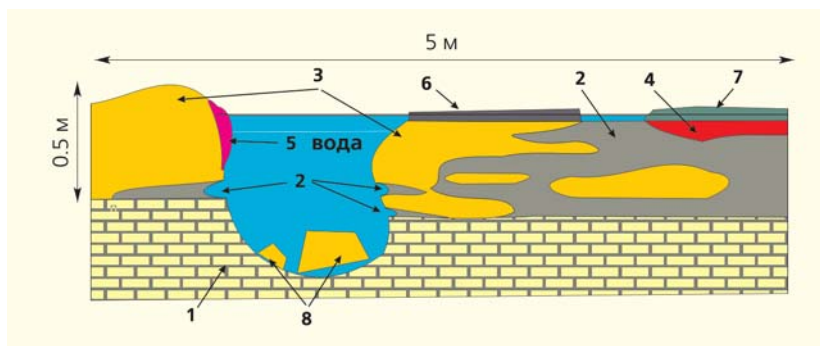


Рис.7. Схематический разрез современных известковых туфов на ручье Ривкузи: 1 — крепко сцементированный светло-серый известковый туф раннеголоценового возраста; 2 — черный полужидкий ил; 3 — моховидный травертин; 4 — харовидный травертин; 5 — известковые корки; 6 — живой мох, нижняя часть которого частично фоссилезирована; 7 — живые харовые водоросли, нижняя часть которых фоссилезирована; 8 — обломки известкового моховидного травертина.

Моховидный травертин представлен кальцитовыми фитоморфозами мха, похожими на каменные кружева, сплетенные хрупкими ветвящимися и частично соприкасающимися фоссилезированными стеблями мха (рис.8). Пустоты заполнены черным илом и с поверхности заселены речными организмами (бокоплавами и др.). Пласт толщиной до 0.4 м не однороден. В его кровле находится зона (толщиной до 0.05 м) светло-серого с кремовым оттенком фоссилезированного мха. Здесь зафиксированы различные стадии тафономического цикла: живые зеленые мхи сменяются инкрустированными и частично замещенными кальцитом зеленовато-кремовыми пластичными разностями, а затем — полностью минерализованными органическими остатками (рис.8,а). В результате такой зональности поверхность речных травертинов покрывается ярко-зеленым тонким ковром пока еще живого мха.

Из-за больших количеств растительной ткани инкрустированные кальцитом фитоморфозы сохранили способность к пластическим деформациям. Остатки ткани отчетливо видны в шлифах под микроскопом. При больших увеличениях можно различить три вида агрегатов карбоната кальция, соответствующие разным способам его образования (рис.9). Это тончайшие микрозональные корочки на поверхности растений, массы, выполняющие трубчатые и иной формы пустоты в самом растении, и образования, замещающие растительную ткань с сохранением ее анато-

мического строения. Обратим внимание, что в формировании последней разновидности участвуют по меньшей мере два процесса — выпадение из раствора CaCO_3 на поверхности растения или в его полостях и метасоматическое замещение органического вещества кальцитом.

Пластичные кальцитовые фитоморфозы книзу постепенно сменяются хрупкими их разновидностями с почти полностью замещенной кальцитом растительной тканью. Толщина этой зоны достигает 0.15 м. Нижняя часть (0.3 м) слоя моховидных травертинов выделяется темно-серым цветом и меньшим объемом заполненных илом пустот. По направлению к подошве возрастает прочность травертина, увеличивается толщина слагающих его фитоморфоз, проявляется мелкоглобулярное строение поверхности, которое постепенно искажает, а затем затушевывает скульптурные детали исходного мха (рис.8,б,в).

При высушении темно-серые травертины светлеют. После многократного смачивания водопроводной водой и последующей сушки они приобретают светло-серый цвет за счет выпадения в осадок новых порций тонкозернистых кальцитовых агрегатов из растворов, восходящих к поверхности породы по капиллярно-поровой системе.

Харовидный травертин толщиной до 0.2 м, состоит из литифицированных слоевищ *Charophyta*. От предыдущей разновидности он отличается морфологией фитоморфоз (рис.10). Окамневшие тонкие (около 1 мм) переплетающиеся

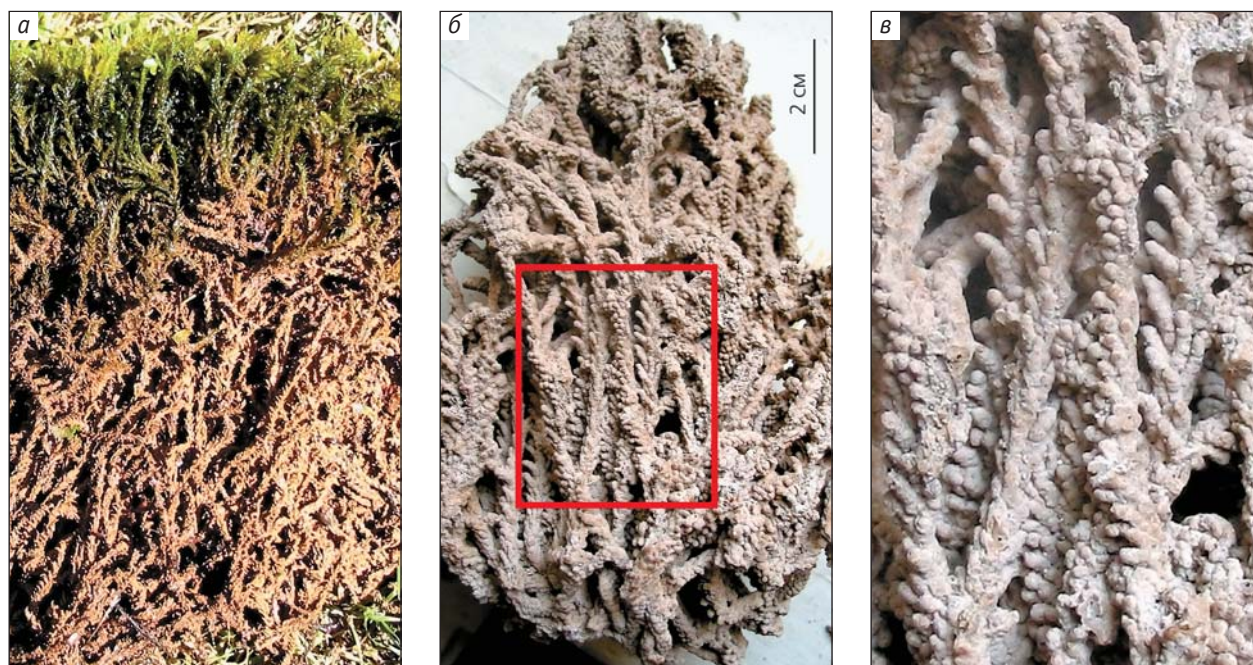


Рис.8. Моховидный травертин. В кровле пласта эластичный за счет реликтов не замещенной кальцитом растительной ткани травертин постепенно книзу сменяется живым мхом (а); в средней части пласта хрупкий травертин с сохранившейся скульптурой мха (б); при большом увеличении видно, что поверхностная скульптура мха искажена кальцитизированным бактериальным чехлом (в).

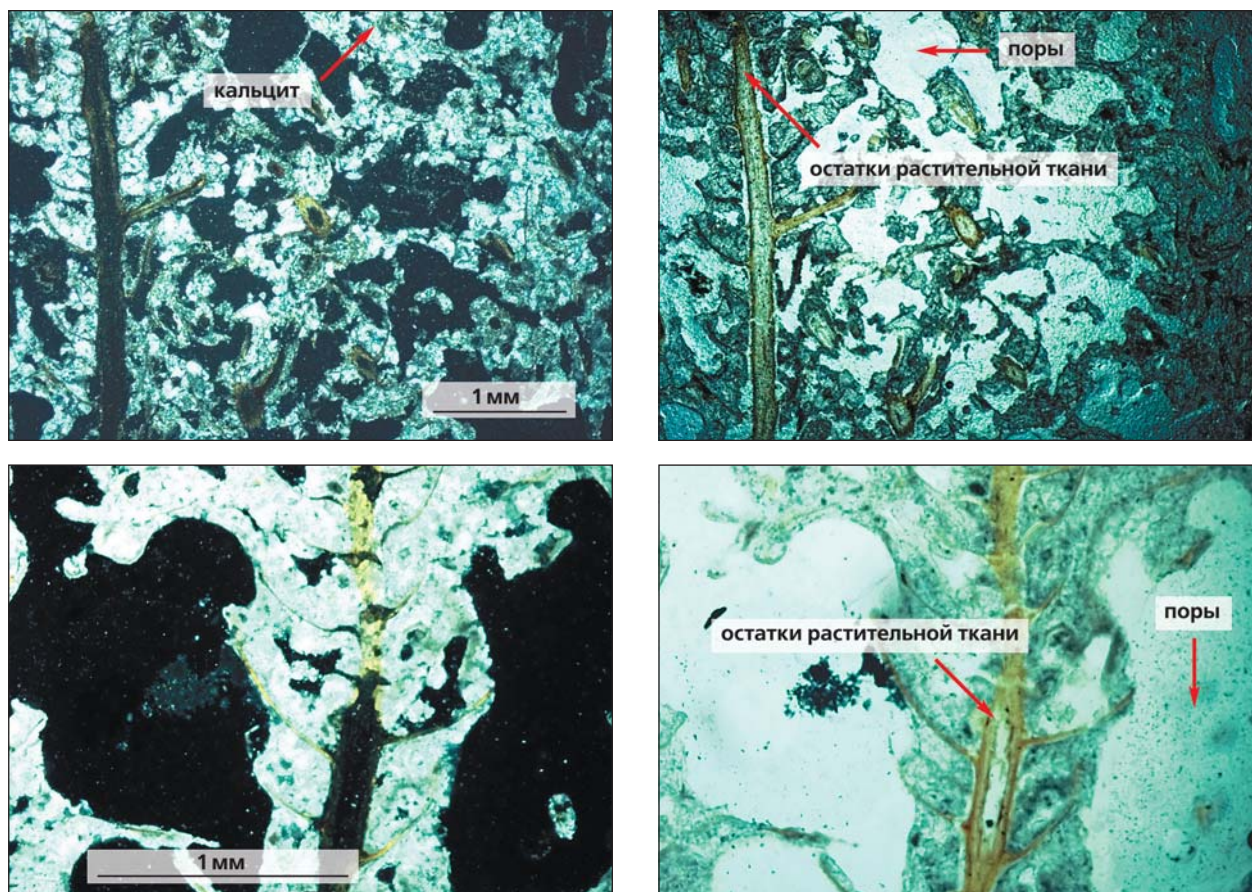


Рис.9. Реликты растительной ткани в ажурном известковом туфе новейшей генерации: общий вид шлифа (вверху) и его деталь. Проходящий свет, слева — поляризованный (черное — поры).

нити хары образуют еще более изысканные кружева. Крупные пустоты в них также заполнены черным илом.

Совместно с предыдущей эта разновидность образует прирусловые отмели в виде изолированных островков (площадью до нескольких десятков квадратных метров), покрытых тонким изумрудным ковром мхов, нередко с произрастающими вместе с ними цветковыми растениями (рис.11). На таких островках моховидные травертины достигают максимальной толщины (0.4—0.5 м).

Корковидный травертин построен эллипсоидальными концентрически зональными телами (рис.12), которые по форме аналогичны обитающим поблизости колониям микроорганизмов. Максимальной толщины корковидный травертин достигает в сезонных маловодных протоках (рис.13). Часто на их дне лежат древесные стволы и опавшие ветки. Валяются здесь и случайные предметы неорганического происхождения: стеклянные бутылки, их осколки, стальная проволока и др. Все без исключения перечисленные объекты покрыты корочкой карбоната кальция. На опавших древесных ветках толщина кальцитовых корок, обычно имеющих глобулярное строение, из-



Рис.10. Харовидный травертин.

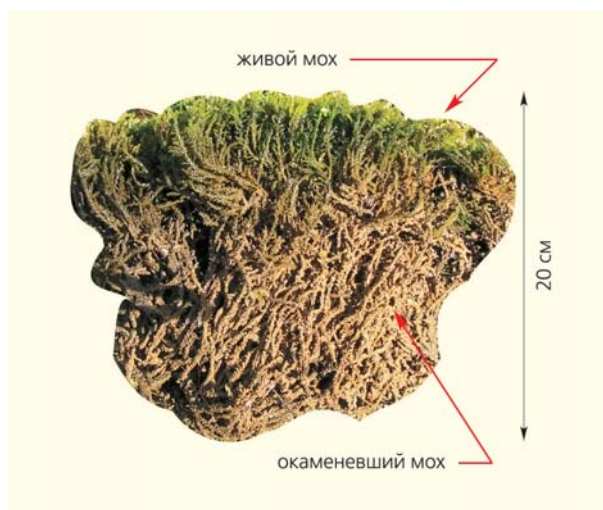


Рис.11. Островная отмель, созданная формирующимся моховидным травертином, который укрыт пока еще живым мхом. Справа — мох и образующий по нему травертин в одном штуче. Ручей Ривкузи.



Рис.12. Корковидный травертин.



Рис.13. Корковидный травертин в сезонной маловодной протоке. Ручей Ривкузи.

меняется от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров, достигая иногда 10 см. На стеклянных предметах, напротив, корочки тонкие (менее 0.5 мм) и гладкие.

Большая часть растительной ткани живых мхов и водорослей замещается кальцитом, а на плотной древесине и даже рыхлой коре опавших (уже мертвых) веток нет признаков замещения карбонатами кальция. Они лишь покрыты их коркой. Любопытно, что иная картина наблюдается на корнях живых деревьев и их стволах, находящихся в зоне кристаллизации кальцита. На поверхности таких растительных фрагментов (кроме натечной бактериальной корочки) наблюдается зона замещения древесной ткани карбонатом кальция. Создается впечатление, что жизнедеятельность растений способствует метасоматическому замещению их тканей минеральным веществом. Не исключено, что отчасти в этом «повинны» цианобактерии-симбионты. Их способность к окисленному фотосинтезу может стимулировать более интенсивное замещение кальцитом тканей живых растений.

В очагах современного травертиногенеза отмечаются самые большие показатели общей и карбонатной жесткости воды при $\text{pH} \approx 8.25-8.6$. Наблюдаются здесь его сезонные и суточные колебания. В апреле — начале мая в середине дня pH достигает 8.9. Зимой же (в декабре—январе) минимальное измеренное значение составляет 7.5. Такие существенные колебания можно связать с ассимилирующей функцией автотрофов, которая усиливается в максимум инсоляции и, соответственно, ослабевает по мере уменьшения солнечной освещенности.

Температура воды также колеблется в соответствии с сезонным ритмом от 4 до 11°C. Зависит она и от близости источников. Ее суточные температурные колебания в ручье даже в середине

лета почти незаметны из-за значительной скорости потока в открытой системе.

Результаты химического анализа проб, отобранных в августе, свидетельствуют, что вода пресная, гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава (табл.). Отсутствие данных о количестве свободного CO₂ не позволяет уверенно говорить о насыщенности CaCO₃. Попытаемся получить представление о степени насыщения расчетным путем.

При pCO₂, равном атмосферному (0.0003), и при температуре от 0 до 20°C полное насыщение CaCO₃ достигается при его концентрации 60–80 мг/л [4]. В пересчете на соли вода ручья Ривкузи (см. табл.) содержит от 160 до 210 мг/л CaCO₃ и от 122.7 до 130.05 мг/л MgCO₃. Отсюда выводим, что пресные воды Ривкузи пересыщены CaCO₃ и потому способны к осаждению из них карбоната кальция. На изученной площади происходит преимущественно биохимическое осаждение карбоната кальция. Геохимический барьер создается жизнедеятельностью растений.

Известно, что морское карбонатонакопление в немалой степени зависит от физиологической экстракции CaCO₃ животными и микроорганизмами, а на континентальное карбонатонакопление, возможно, более существенное влияние оказывает растительность. При фотосинтезе она поглощает CO₂ (выделяя кислород и переводя углерод в органические соединения) и тем самым способствует массовой садке CaCO₃. Этот механизм общеизвестен и был убедительно доказан экспериментально Н.Принсгеймом еще в 1888 г. [4]. Его простые опыты служили наглядным подтверждением теории осаждения CaCO₃ под влиянием растительности и до недавних пор воспринимались как доказательство подобного механизма образования древних и рецентных известковых туфов [1, 3, 4]. Изучение современного очага травертиногенеза на ручье Ривкузи позволило внести коррективы в представление о генезисе пресноводных известковых пород.

В очаге современной генерации травертинов ручья Ривкузи обитают многокомпонентные, главным образом автотрофные сообщества микроорганизмов. Доминируют цианеи, но также присутствуют и красные, зеленые, ксантофитовые и харовые водоросли. Многочисленны в составе этих биоценозов прикрепленные формы диатомей. Очень важно подчеркнуть, что мхи и харовые водоросли этих автотрофных систем существуют также в симбиозе с цианеями. На погруженных подушках мхов *Rhynchostegium* и *Hygrohypnum* обычные колонии цианей *Schizothrix* (рис.14, а, б), наиболее активно развивающиеся в апреле–мае. Видовой состав сообществ, их морфология и распространение колоний заметно варьируют в зависимости от глубины, скорости потока и характера субстрата. В составе сообществ наблюдаются более или менее четко очерченные монодоминантные колонии, представленные светло-зелеными коври-

Таблица

Химический состав воды в очаге современного травертиногенеза. Ручей Ривкузи

Компоненты	Проба 1		Проба 3	
	г/л	Мгэкв/л	г/л	Мгэкв/л
Сухой остаток	0.3700	—	0.3240	—
Катионы				
[Na ⁺ + K ⁺]	0.0010	0.05	0.0113	0.49
NH ₄ ⁺	не обнаружено	—	не обнаружено	—
Ca ²⁺	0.0842	4.20	0.0641	3.20
Mg ²⁺	0.425	3.50	0.0401	3.30
Fe ²⁺	не обнаружено	—	не обнаружено	—
Σ	—	7.75	—	6.99
Анионы				
Cl ⁻	0.0247	0.70	0.0150	0.42
SO ₄ ²⁻	0.0120	0.25	0.0100	0.21
NO ₃ ⁻	не обнаружено	—	не обнаружено	—
NO ₂ ⁻	0.00001	—	не обнаружено	—
HCO ₃ ⁻	0.4149	6.80	0.3734	6.12
CO ₃ ²⁻	не обнаружено	—	0.0072	0.24
PO ₄ ³⁻	не обнаружено	—	0.036	—
Σ	—	7.75	—	6.99
pH	7.25	—	8.05	—
O _{перм}	0.0001	—	0.00009	—
H ₂ SiO ₄	0.0008	—	0.00010	—
Fe(OH) ₃	не обнаружено	—	не обнаружено	—
H ₃ BO ₃	0.0002	—	0.0002	—

O_{перм} (перманганатный показатель) — определяемая по количеству перманганата калия общая концентрация кислорода, по которой можно судить о количестве органического вещества в воде.

ками харовых водорослей и темно-зелеными, иногда почти черными подушками мхов (рис.14, в). На опавшей древесине встречаются редкие нынче колонии красной водоросли *Bathrachospermum* (рис.14, з), на освещенных мелководных участках русла широко распространена зеленая водоросль *Cladophora* (рис.14, д). Соотношение видов цианей и водорослей изменяется в течение фотоактивного периода (с апреля по сентябрь). Во время «темного» полугодия в сообществах остаются только мхи и немногие диатомеи, тогда как большинство водорослей и цианей зимуют в виде спор или верхушек (харовых) слоевищ.

Генерация травертинов наблюдается в течение всего фотоактивного периода, когда энергично развиваются брио-альго-цианобактериальные сообщества. Время активного функционирования сообществ, а следовательно, и генерации травертинов, несколько сдвинуто по отношению к инсо-



Рис.14. Биота в очаге современного травертиногенеза. Колонии *Schizothrix* на подушках мхов (а); *Schizothrix* на опавшей ветке (б); сообщество мхов и харовых водорослей (в); красная водоросль *Batrachospermum* (г); колонии зеленой водоросли (д); цианобактериит с колониями *Schizothrix* (е).

ляционному максимуму в июне. Практически сразу после схода ледостава, в конце марта — начале апреля, образуются новые сезонные цианобактерииты, генерируемые преимущественно колониями *Schizothrix calcicola* (рис.14, е). Начиная с конца мая — начала июня генерация травертинов ослабевает. Возможно, это связано с уменьшением солнечного светового потока из-за развития на деревьях листвы, которая заметно экранирует травертинопродуктивные участки ручья [7].

Гипотезы об участии микроорганизмов в формировании карбонатных пород в континентальных водоемах были распространены в конце XIX — начале XX в. [8]. Впоследствии им на смену пришли хемогенные модели. Наблюдаемый сейчас постепенный возврат к прежним представлениям во многом обусловлен успехами изотопной геохимии и микробиологическими исследованиями [9, 10]. Природное осаждение кальцита в результате автотрофной деятельности альгобиоты

подтверждается и поставленными недавно натурными экспериментами [11].

Как уже было отмечено, травертинообразование на северо-западе Европы в голоцене было наиболее интенсивным в его первой половине. Тогда же эта территория после постепенного освобождения от ледниковых покровов испытала изостатическое поднятие, сопровождавшееся образованием новых и реставрацией старых тектонических разрывов. В рисунке гидрографической сети и конфигурации береговых линий на Балтийском щите и его периферии читаются разрывные нарушения северо-западного и северо-восточного простирания. Некоторые исследователи [12] считают, что в формировании таких разрывов принимают участие и напряжения, вызванные движением литосферных плит. По системам разрывных нарушений началось проникновение глибинного вещества, содержащего углекислый газ и метан, которые установлены в местах прорывов газофлюидов в донных осадках Финского залива, прямо по простиранию Ижорского разлома [13].

Углекислый газ, поступающий по трещинам в водоотки, вовлекается в фотосинтез водных сообществ, и там, где реализуется такая подпитка, образуются травертины. Ослабление тектонических движений в течение второй половины голоцена привело к залечиванию разрывов и почти прекратило приток CO_2 на Ижорском плато.

Травертины отмечены практически на всей территории северо-запада Европы, где в коренном разрезе присутствуют древние карбонатные породы, осложненные разрывными нарушениями: в Латвии, восточной Финляндии, южной Швеции, Эстонии, а также в Карелии и в Ленинградской, Псковской, Новгородской областях.

Травертиногенез всей внеласьпийской Европы, включая и ее арктическую часть (архипелаг Шпицберген, Кольский п-ов, Большеземельскую тундру и др.), в течение конца плейстоцена — середины голоцена осуществлялся преимущественно синхронно. Это дает основание предположить решающую роль в этом процессе не столько климатического, сколько тектонического фактора, обуславливающего интенсивную дегазацию земной коры в зонах разрывных нарушений.

Образование травертинов и Петергофский водопровод

При изучении современного образования травертинов в ручье Ривкузи возникла необходимость решения вопроса: наблюдаемый сегодня процесс — продолжение раннеголоценового или это результат новой вспышки травертиногенеза после длительного (в несколько тысячелетий) латентного периода? Мы уже говорили о генетической связи метеогенного травертинообразования с тектонической активизацией. Но на изменения гидрогео-

логического режима региона влияют и антропогенные причины. Обратим особое внимание на то, что р.Шингарка представляет собой часть сложного гидротехнического сооружения — комплекса естественных и искусственных водных объектов, который включает 40 км каналов, около двух десятков прудов и почти такое же количество шлюзов. Впервые запущенный в 1720 г., этот рукотворный водоток назывался Петергофским водопроводом. Почти не вызывает сомнений, что его строительство и эксплуатация вызвали кардинальные гидрогеологические и гидрологические перестройки территории ручья Ривкузи. Они могли приводить к реставрации залеченных разрывов и этим провоцировать вспышку травертиногенеза. Иными словами, новейшая генерация травертинов, возможно, в некоторой степени была инициирована около 300 лет назад, т.е. она почти ровесница Санкт-Петербурга. Попробуем проверить такую версию и определить время заложения новейшей генерации травертинов, используя литературные материалы и собственные данные о скорости образования известкового туфа.

Наличие довольно мощных (более 8.0 м) залежей, образовавшихся за очень короткий промежуток времени (длительность бореальной климатической стадии на юге Ленинградской обл. оценивается в 2400 лет), свидетельствует о высоких скоростях этого процесса, при котором 300—350 см известия накопилось за тысячу лет. Близкие значения скорости седиментации лугового мергеля приводит З.Кукал [14], указывающий, что в северонемецких озерах она составляет 100—300 см/1000 лет.

От приведенных величин скорости существенно отличаются данные, полученные на Порзоловском болоте, находящемся немного севернее изученного полигона. Здесь пласт гачи с травертином вскрыт на глубине 7.0—7.8 м. Радиоуглеродный возраст кровли пласта составляет 8440 ± 190 лет, а подошвы — 10480 ± 190 лет. Таким образом, скорость накопления пресноводных карбонатов в пределах нынешнего Порзоловского болота составляет менее 50 см/1000 лет. Несколько большие величины получаются из материалов по Колпанскому месторождению, расположенному в Гатчинском р-не [15]. По споропыльцевым спектрам формирование травертина, вскрытого под торфом на глубине 1.0—4.2 м, происходило в течение пребореального, бореального и большей части атлантического этапов (от 10 200 до 5700 лет назад), следовательно, скорость образования известия составляет более 70 см/1000 лет. Такие низкие значения можно объяснить многократным чередованием этапов созидания и разрушения пресноводных карбонатных пород. Подобную ситуацию наблюдаем и на ручье Ривкузи. Здесь одновременно происходит разрушение (механическое и химическое) древней (бореальной) генерации и формирование новейшей генерации известковых туфов.

Дополнительную информацию о скорости низкотемпературного травертинообразования можно получить из разреза на р.Тосне (рис.15). Пласт толщиной около 20 см залегает на красных песчаниках тосненской свиты. В его кровле сохранился зеленый мох, который книзу сменяется светло-желтым травертином, сложенным фитоморфозами. В верхней части пласта видна ритмичность. Толщина ритмов изменяется от 7 до 12 мм, что примерно соответствует приросту мха за один годичный цикл. Отсюда заключаем, что наблюдаемая ритмичность обусловлена сезонным характером фоссилизации, и на данном участке на финальном этапе травертинообразования его скорость со-

ставляла около 900 см/1000 лет. Эта величина дает представление о максимальной скорости накопления травертина на небольшой площади в течение очень короткого промежутка времени и не может отражать усредненную скорость образования известковых пород в контурах залежи.

Итак, если отбросить заниженные данные по Порзоловской залежи, то на ручье Ривкузи на формирование пласта травертина новейшей генерации толщиной 0.5 м потребовалось не более 700 и не менее 60 лет. Полученный диапазон возрастных датировок не противоречит гипотезе о техногенной причине вспышки рецентного травертиногенеза. Косвенным подтверждением ги-

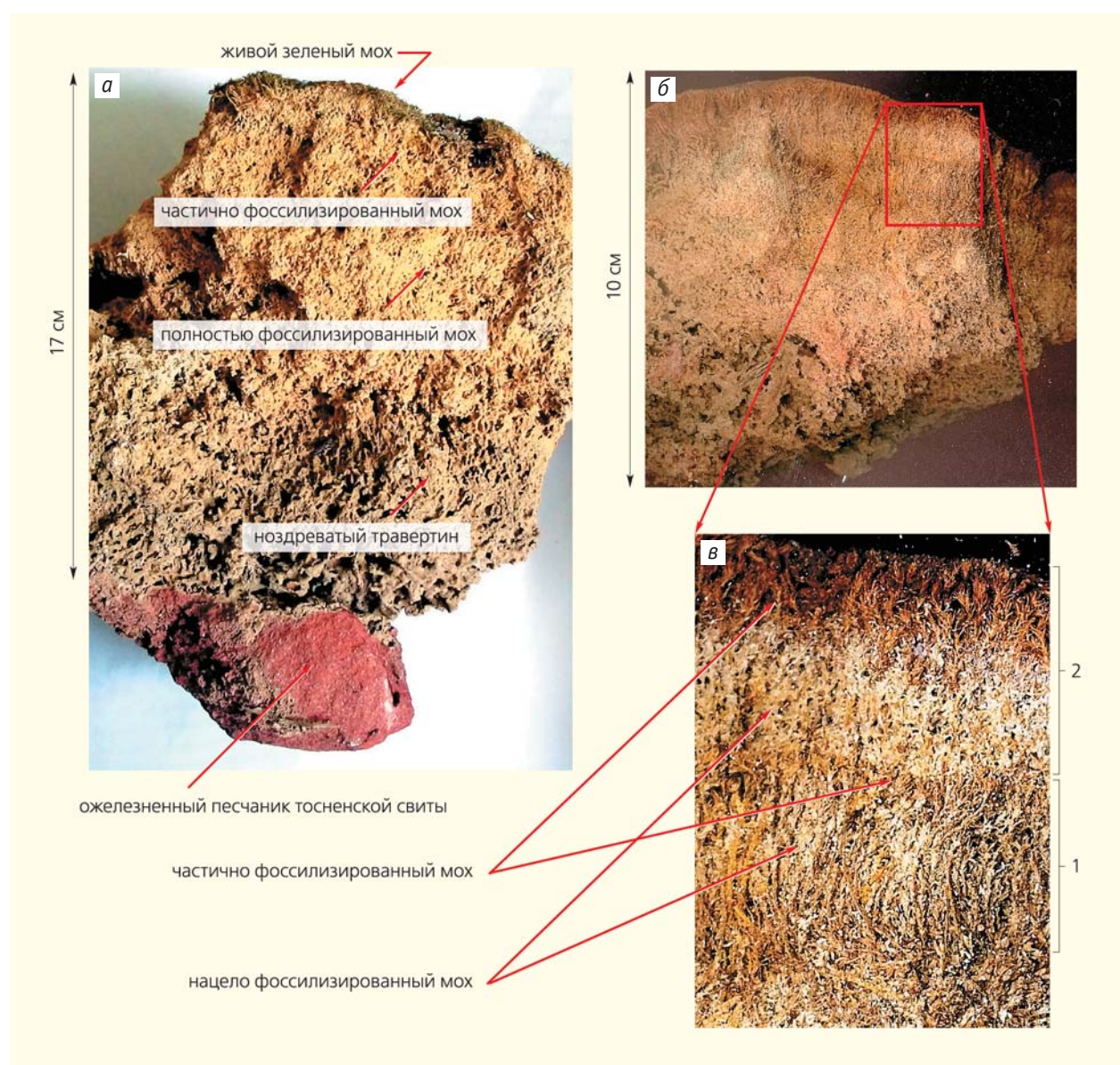


Рис.15. Сезонная ритмичность в моховидном травертине на р.Тосна. Общий вид пласта, залегающего на ожелезненном песчанике тосненской свиты (а); ритмично построенная верхняя часть пласта (б); строение ритмов (в): 1 — предфинальный ритм толщиной 7 мм; 2 — финальный ритм толщиной 12 мм.

потезы служит обнаруженный нами еще один, правда, более скромный, очаг современного травертиногенеза в Фабричной речке, которая также отдает свои воды Шингарке, имеющей второе название — Петергофский канал. Если предложенная нами гипотеза верна, то следует признать одновозрастность и генетическую связь уникального природного геологического явления с деятельностью Петра I, точнее, со строительством Петродворца и г. Санкт-Петербурга.

Современная научная лаборатория

Очаги современного формирования известковых туфов служат природными лабораториями и представляют огромную научную ценность для специалистов различных направлений. Литологи могут реально познавать законы континентального биохемогенного литогенеза, уточнять факторы пресноводного карбоната накопления и совершенствовать критерии прогнозирования месторождений. Для палеобиологов эти природные лаборатории открывают уникальную возможность изучать протекающие на наших глазах процессы фоссилизации растительных и животных организмов, извле-

кать достоверные данные о скорости перекристаллизации фоссилий и ее влиянии на сохранность структуры органических тканей.

Эти современные генераторы пород имеют практическое значение. Образующиеся сейчас известковые туфы отличаются низкими прочностными свойствами и непригодны для использования в архитектурно-скульптурных целях, но, обладая редкой красотой, представляют большую эстетическую ценность. Максимальным спросом они пользуются у аквариумистов-любителей и дизайнеров для изготовления гротов. По нашим данным, интенсивный вывоз травертинов совпал с началом нашего тысячелетия. Ориентировочный подсчет показывает, что сегодня бесконтрольный вывоз каменных кружев в Санкт-Петербург составляет десятки тонн в год. Труднее определить масштабы оптовых поставок этого камня в другие города России и за ее пределы. Подавляющая доля ажурных травертинов хищнически добывается в ручье Ривкузи, т.е. на территории комплексного памятника природы «Глядина», занесенного в Красную книгу природы Ленинградской обл. [4]. Бесконтрольные ломки наносят непоправимый вред уникальным очагам современного травертиногенеза и всему «Глядину». Оно срочно нуждается в организации эффективной системы охраны. ■

Литература

1. Колокольцев В.Г., Ауслендер В.Г., Ковалевская Е.О. Современное образование известковых туфов в Ленинградской области // Региональная геология и металлогения. СПб., 2005. №23. С.82—93.
2. Страхов Н.М. Известково-доломитовые фации современных и древних водоемов // Тр. Ин-та геол. наук АН СССР. 1951. Вып.124.
3. Бартош Т.Д., Сталбова Э.Я. Ресурсы пресноводных известковых отложений нечерноземной зоны Европейской части РСФСР. М., 1983.
4. Даниланс И.Я. Голоценовые пресноводные известковые отложения Латвии. Рига, 1957.
5. Дымский Г.А. Материалы к изучению месторождений известковых туфов западной части приглинтовой полосы Ленинградского округа // Труды Всесоюзного геолого-разведочного объединения НКТП СССР. 1932. Вып.225. Ч.1. С.24—45.
6. Красная книга природы Ленинградской области. СПб., 1999. Т.1.
7. Никитин М.Ю., Медведева А.А. О пресноводных травертиноподобных карбонатах Ижорского плато как естественных маркерах структурных дислокаций // Квартер во всем многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода (г. Апатиты, 12—17 сентября 2011 г.). Т.2 / Отв. ред. О.П.Корсакова и В.В.Колька. Апатиты; СПб., 2011. С.110—113.
8. Надсон Г.А. Микроорганизмы как геологические деятели. СПб., 1903.
9. Кузнецов В.Г. Эволюция карбоната накопления в истории Земли. М., 2003.
10. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар, 2011.
11. Pedley Н.М., Rogerson М., Middleton R. Freshwater calcite precipitates from in vitro mesocosm experiments: a case for biomediation of tufas // Sedimentology. 2008. V.56. P.511—527.
12. Сим Л.А. Некоторые особенности взаимосвязи неотектонических движений Восточно-Европейской платформы с глобальным тектогенезом (на основе изучения неотектонических напряжений) // Материалы тектонического совещ. «Неотектоника и современная геодинамика континентов и океанов». М., 1996. С. 132—134.
13. Информационный бюллетень ФГУНПП Севморгео. №11: Состояние геологической среды прибрежно-шельфовой зоны Баренцева, Белого и Балтийского морей. СПб., 2009.
14. Кукал З. Скорость геологических процессов. М., 1987.
15. Геоморфология и четвертичные отложения Северо-Запада европейской части СССР (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). Л., 1969.

Топонимы Центральной Азии

А.П.Горбунов



Озеро Иссык (Есик).
Фото О.В.Белялова

Бытует представление, что достаточно знать язык той местности, где находишься, чтобы понять смысл ее географических названий. Но это не всегда так. Наука, занимающаяся всесторонним изучением географических имен, называется топонимикой (это один из разделов ономастики — науки об именах вообще). И только знание ее основ позволяет познать истину или приблизиться к ней. Термин «топонимика» состоит из двух древнегреческих слов — τόπος и ὄνομα. Первое в переводе означает «место, область», второе — «имя, название». Итак, топонимика — наука о географических названиях.

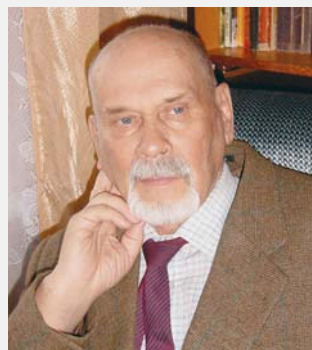
Топонимика стоит на «трех китах» — языкознании, истории и географии. Игнорирование хотя бы одного из «китов» в изучении географического названия часто приводит к заблуждениям, неверным суждениям и наивным объяснениям происхождения и смысла топонимов. Неверные толкования географических имен — один из примеров так называемой народной, или ложной, этимологии*.

История топонимов Центральной Азии восходит к современным, реже — к древним тюркским языкам. Небольшая часть азиатских географических названий связана с китайским, монгольским, персидским и арабским языками. Еще реже встречаются топонимы славянского происхождения. Многие названия невозможно правильно осмыслить без учета их диалектного происхождения. Кроме того, нужно учитывать, что народы, перемещающиеся на новое место, иногда привозят в своем словарном багаже некоторые географические названия бывших соседей. Так, вместе с киргизами из верховий Енисея перекочевали топонимы, возникшие в тунгусо-маньчжурских языках (например, р.Или). На своей «родине» эти топонимы были обычным явлением, а на территории нынешней Киргизии они вызывают недоумение, ведь народы тунгусо-маньчжурской языковой группы здесь никогда не жили.

В прошлые времена жители обычно не называли, например, целый горный хребет или всю реку от истока до устья одним именем. Имена получали лишь примечательные вершины или отдельные части речной долины. Люди давали названия урочищам, речным переправам, перевалам, родникам, озерам, пастбищам, лесным угольям и т.п. Эти топонимы теперь называются первичными.

Позднее, когда началось составление топографических карт, первичные топонимы пригодились для наименования хребтов, рек, ледников, поселков и других географических объектов: по имени перевала стали называть весь горный хребет,

* Народная наивная этимология — объяснение происхождения слов, не соответствующее их действительной истории. В отличие от научной, народная этимология основывается не на законах развития языка, а на случайном сходстве слов.



Алдар Петрович Горбунов, доктор географических наук, главный научный сотрудник Казахстанской высокогорной геофизиологической лаборатории Института мерзлотоведения им. П.И.Мельникова РАН. Область научных интересов — вечная мерзлота и перигляциальный рельеф высокогорий, история географического изучения Казахстана, топонимия Центральной Азии.

по названию урочища — реку или поселение на ней, по лесным либо пастбищным угольям — горную долину или котловину. При этом из-за незнания местных языков картографы часто искажали топонимы до неузнаваемости. Так возникали непонятные или курьезные географические названия.

Топонимы со временем меняются, на смену одним приходят другие. И лишь в исключительных случаях древние топонимы возвращаются на свое место. Так произошло, например, с Каспийским морем. Это название упомянул Геродот около 2.5 тыс. лет назад, он же привел первую карту моря. Затем море десятки раз переименовывалось в связи с изменением исторической обстановки. Однако в наши дни все вернулось на круги своя — море вновь называется Каспийским.

Как правило, географические названия постоянно обновляются — это их непереносимая особенность. А вот причины изменения топонимов могут быть разными. Существует огромное количество публикаций, в которых рассматривается суть топонимической науки. Даже малую их часть невозможно перечислить. Один из таких трудов — фундаментальная двухтомная монография крупнейшего российского топонимиста и большого знатока географии Центральной Азии Э.М.Мурзаева «Словарь народных географических терминов» [1]. В ней приведены и многие материалы по топонимии рассматриваемого региона.

Цель настоящей статьи — попытаться восстановить историю и раскрыть значение ряда забытых и многих современных центральноазиатских географических названий.



Река Или.

Здесь и далее фото О.В.Белялова

Или (Иле, каз.) — самая многоводная река юго-восточного Казахстана, она берет начало в горах Тянь-Шаня и впадает в оз.Балхаш. Первое, тогда еще безымянное изображение реки появилось на китайской карте времен династии Старший Хань около 2 тыс. лет назад. Название Или восходит к древнетюркскому *йил*, что означает «река», «вода». Под этим именем известно и объединение тюркских племен VIII—IX вв. По другой версии, которая уже упоминалась, название реки связано с древними тунгусо-маньчжурскими наречиями, в которых *или* означает «большая река». Этот гидроним мог попасть в Семиречье* с военными походами хунну (сюнну), в которых принимали участие воины тунгусо-маньчжурских, монгольских и других этносов.

С течением времени гидроним менял свою форму, появлялись и другие временные наименования реки. Например, в XIII—XV вв. ее называли Ак-Куяш. На чагатайском наречии *куяш* означает «солнце». Так именовалась летняя ставка Чагатая — второго сына Чингисхана, которая находилась на левобережье Или в районе нынешнего ки-

тайского города Кульджа (Инин). Ак в названии реки означал «текущие воды». Следовательно, топоним Ак-Куяш может быть осмыслен как «солнечная река». В исторических материалах XVIII в. по Восточному Туркестану река Или иногда именовалась Аб-и-Джаги.

В разных публикациях можно встретить и другие названия реки: Иле, Ил, Ила [2]. Монголы называли ее Или-Гол, китайцы — И-ли. По свидетельству выдающегося казахского ученого и путешественника Ч.Ч.Валиханова [3], в его времена местные казахи называли реку Ле. Может быть, это усеченное слово *лайсу*, т.е. «мутная река». Ведь в легнее время вода в реке часто бывает насыщена глинистыми частицами.

И еще одно важное замечание. Некоторые толкователи гидронима Или связывают его с монгольским словом *ил*, что означает «блеск». Но стоит предположить, что нашим далеким предкам важнее были величина и глубина реки, нежели ее «блестящий» внешний вид. Поэтому такое объяснение топонима представляется маловероятным.

Горная страна **Тянь-Шань** расположена в Центральной Азии на территории пяти стран: Киргизии, Китая, Казахстана, Узбекистана и Таджикистана. Традиционно Тянь-Шань принято делить на Западный, Северный, Внутренний, Центральный и Восточный. К первому относят хребты Ферганский, Каратау, Таласский Алатау, Каржантау, Угамский, Пскемский, Чаткальский, Кураминский и др. Они протягиваются в основном с юго-востока на

* Топоним Семиречье имеет разноречивые толкования. В начале XIX в. так именовали пространство между Балхаш-Алакольской впадиной и р.Или. В 1867 г. была создана Семиреченская область, которая охватывала в основном юго-восток нынешнего Казахстана и северную часть Киргизии. Семиречье стали связывать с этой областью. Но до сих пор существует неопределенность в отношении его границ.

северо-запад или с юго-запада на северо-восток. В Северный Тянь-Шань входят Заилийский и Кунгей Алатау, Кетмень и северные макросклоны Терской Алатау и Киргизского хребта (Киргизского Алатау). Внутренний Тянь-Шань ограничен с севера Терской Алатау и Киргизским хребтом, с юга — Какшаал-Тоо, с запада — Ферганским хребтом и с востока — долиной реки Сарыжаз. Центральный Тянь-Шань располагается к востоку от Сарыжаза и простирается на территорию Китая примерно до 81° в.д. Далее на восток протягиваются хребты Восточного Тянь-Шаня, которые замыкаются массивом Карлыктаг.

Тянь-Шань — книжное название горной страны. Оно появилась в научной литературе в первой половине XIX в. Древнетюркский топоним Тенгритаг, имеющий тот же смысл, что и Тянь-Шань, переводится на китайский как «небесные горы». Небесными горы впервые стали называться во времена хунну (на их наречии «небесный» звучит как *ченли*) около 2 тыс. лет тому назад [2, 4].

Ранее же тюрки именовали весь Тянь-Шань или отдельные его хребты **Алатау** (Алатао, кирг.; Алатаг, уйгур.). Местные казахи и киргизы и сегодня часто используют это название. Толкование оронима разноречиво. Обычно принято осмысливать его как «пестрые горы». Но многие ведущие топонимисты Центральной Азии считают, что слово *ала* восходит к древнетюркским *улуг*, *улу* или *оло*, т.е. «большое» или «великое». В старокиргизском лексиконе есть прилагательное *оло*, означающее «великие». С географических пози-

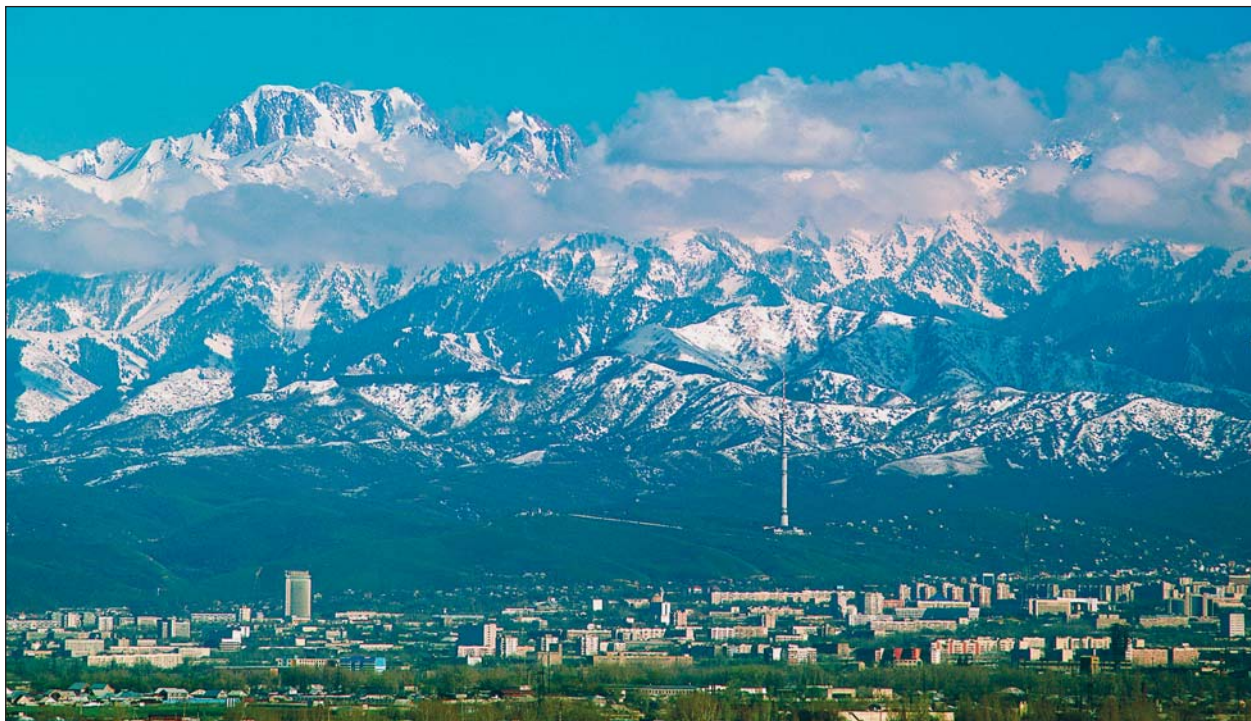
ций это толкование звучит убедительнее других. Нужно иметь в виду, что в давние времена люди не имели топографических карт. Поэтому носителями нужной информации о природных объектах были только топонимы. Местных жителей прежде всего интересовало, высокие горы или низкие, проходимые или неприступные и т.п. А пестрые они или нет, людей мало беспокоило.

Побывавший в 1743 г. в предгорьях Киргизского Алатау российский посланник к джунгарам К.Миллер именовал горы Великими [5]. Так, видимо, ему перевели с киргизского название этого хребта.

Есть и другая версия происхождения топонима Алатау. Известно, что в VIII—IX вв. в Центральной Азии появились арабские миссионеры, проповедующие ислам. Необычайно высокие снежные горы Тянь-Шаня ими были названы Ала, т.е. «высокие». *Ал* входит в корневую основу арабского прилагательного «высокие». Часть местного тюркского населения восприняла это слово, переосмыслив его на определение «пестрые».

В русскоязычные источники название Алатау попало впервые с переводом «пегие горы» (с тюркских языков). Его приводит в 1595 г. российский посол в Ташкенте В.Степанов [6].

Горы Алатаг упомянуты в узбекском средневековом эпосе «Алпамыш». А в казахском героическом эпосе «Алпамыс батыр», события которого, вероятно, относятся к XVII в., основной персонаж, сражаясь с калмыками, использует боевой клич (уран) «Алатау». Вряд ли на такой клич его вдохновляла пестрота гор, а их величие — несомненно.



Вид из Алма-Аты на Заилийский Алатау. В центре — пик Талгар.

Уже более 100 лет самый северный хребет Тянь-Шаня известен под названием **Заилийский Алатау**. Этот топоним в свое время предложил известный ученый-географ и путешественник П.П.Семенов, к фамилии которого в 1906 г. было добавлено прилагательное Тянь-Шанский [7]. Он следовал из Семипалатинска в г.Верный (ныне г.Алма-Ата), поэтому хребет для него оказался за р.Или. Если бы путешественник двигался со стороны Чимкента, он мог бы назвать хребет Предылийским. Название, предложенное Семеновым-Тянь-Шанским, легко вошло в обиход. Местное население обычно называло Джунгарский, Заилийский, Таласский и Киргизский Алатау просто Алатау, или Алатао. Исключением были только Кунгей и Терсей Алатау. Но при составлении географических карт появилась необходимость в конкретизации топонимов.

В обозримом прошлом Заилийский Алатау иногда называли Усун-Алатаг, по имени казахского рода [6]. В недавнее время вошел в обиход казахский вариант этого названия — Иле Алатау, что не очень верно, так как хребет расположен вдали от р.Или и не имеет к ней прямого отношения.

Высочайшая вершина Заилийского Алатау — **пик Талгар** (его высота — 4978 м, хотя часто в путеводителях и на туристических картах указывается 5017 м, что неверно). Топоним скорее всего происходит от двух монгольских слов — *дэлгэр* («широкая» или «обширная») и *тавхгар* («гора с плоским верхом»). Второе точно передает необычную форму горы: она напоминает трапецию и имеет плоскую вершину. В настоящее время укоренилось название Талгарский пик.

На ледниках Заилийского Алатау и Кунгей Алатау берет начало многоводный левый приток р.Или — **р.Чилик**. На ее берегах расположен одноименный поселок (он находится в 120 км восточнее Алма-Аты), а в долине — урочище с таким же названием. Формирование топонима Чилик шло последовательно: от названия урочища к наименованию реки, а затем и поселка. Смысл и происхождение упомянутого топонима нуждаются в детальном рассмотрении, так как с ним возникла неурядица. На новой карте Алматинской обл. (2009) река названа Шилик, а поселок — Шелек. Связано это с тем, что два топонимиста-реформатора в одном случае сошлись, а в другом — разошлись во мнениях. Оба специалиста решили заметить звук *ч*, отсутствующий в казахском литературном языке, на *ш*. Но известно, что в южном диалекте этого языка *ч* все же используется [8], а диалектные географические названия, несомненно, имеют право на существование. Любое их преобразование — нонсенс. Суть же расхождений мнений специалистов вот в чем. Первый исходил из того, что *шилик* — казахское название одной из разновидностей ивы, которая якобы произрастает в дельте реки. Но она здесь, согласно заключению геоботаников, отсутствует. Автор топонима Шелек связывает его с древнетюркским словом

чел, т.е. «ветер». Но и это слово явно не подходит к наименованию урочища. В Казахстане и Киргизии сильные и продолжительные ветры (например: сайкан, эбе, чакпак, санташ, улан и т.п.) называются по имени поселения, урочища, перевала, горы или озера, а никак не наоборот.

Чилик же по-киргизски означает «чаща» или «заросли»*. И действительно, даже в наше время в дельте реки — непроходимая чащоба площадью много сотен гектаров, состоящая в основном из ивняка, облепихи, барбариса, шиповника и тамариска (гребенщика). Нигде более в бассейне р.Или не встречаются столь грандиозные по размерам массивы древесно-кустарниковой растительности. Интересно, что русским словом *чилига* часто называют небольшие деревья, кустарники и высокие травы типа полыней [9]. И слово это явно тюркского происхождения.

Есть и другие версии семантики и этимологии топонима Чилик. Так, по свидетельству крупнейшего знатока казахских диалектов С.А.Аманжолова [8], это местный топоним. Он осмысливается как «неделимое, лишнее угодье». Такое угодье не входило в размежевание пастбищ между группами местного населения.

В наше время, главным образом среди посещающих Алматинскую обл. туристов, широко распространено абсолютно нелепое толкование топонима Чилик: *челек* — «ведро» (каз.) или «бочка» (кирг.) Такое объяснение — классический пример наивной народной этимологии. Оно не имеет под собой никакой географической основы.

По границе Киргизии и Китая протягивается **хребет Какшаал-Тоо** — самый длинный (582 км) в Тянь-Шане. На востоке хребта находится высочайшая вершина — пик Победы (7439 м), которую в Китае именуют Темир, что означает «железо». Южный склон горного массива — скалистый, большей частью без ледников — имеет ржавую окраску. Видимо, именно это его свойство легло в основу такого толкования. Название же Какшаал-Тоо осмысливается как «суровые, дикие горы» [4]. Но это киргизское наименование хребта часто искажают, трансформируя в Кокшалтау, что лишено смысла.

Вторая по высоте вершина Тянь-Шаня — **Хан-Тенгри** (высота горы составляет 6995 м, но ее часто преувеличивают до 7010 м) — находится на границе Казахстана, Киргизии и Китая. Она необычайно красива: это почти правильная пирамида, сложенная мраморированными светлыми известняками.

Правильно осмысливать топоним следует как «небесный (или божественный) властелин», а не «властелин неба». Ведь именно небо в языческие времена было высшим божеством и не могло быть

* Замечу, что топонимы киргизского происхождения встречаются не только в Алматинской обл. Они известны в Таджикистане, Узбекистане и даже Китае.

подвластно кому-либо. Основа топонима — древнетюркское слово *тенри*, которое произносится через носовое *н*. В русском языке такой звук отсутствует, поэтому после *н* поставлена буква *г*.

Известно, что киргизы называют эту вершину по-другому — Кантоо. Слово *кан* в киргизском языке имеет два значения: «хан» и «кровь», причем второму предпочтению отдается чаще и в основном туристами, не знающими тонкостей киргизского менталитета. Они рассуждают так: первые и последние лучи солнца придают исполинской вершине кровавые, красноватые оттенки, она резко выделяется на фоне потемневших или еще не освещенных окружающих гор, и поэтому в ее названии вполне может присутствовать слово «кровь». Другие толкователи топонима связывают яркий окрас горы с розовым мрамором, который участвует в ее геологическом строении. Обе трактовки не приемлют ведущие топонимисты Киргизии. Они считают, что название вершины все же означает «хан» или «царь-гора». Действительно, Хан-Тенгри словно господствует над соседними вершинами, как это и надлежит владыкам.

На карте династии Старший Хань, о которой уже говорилось, обозначено крупное озеро, в котором несложно угадать современное **озеро Балхаш**. Одни из первых наименований озера — Ибо и Жо-Хай («мертвое море») — появились в Китае в танских хрониках (VII—X вв.) [2]. Во времена средневекового тюркского ученого М.Кашгари (XI в.) использовался гидроним Теринг-Куль, что на огузских наречиях означает «обильное озеро» [10]. В арабских публикациях XII в. озеро называли Горгуз. Название Кызылбаш-нур — «озеро красноголовых» — Балхаш носил во времена походов Чингисхана. Известно, что согдийские купцы, которые приходили в Монголию со стороны Балхаша, красили свои бороды хной в красный цвет. Отсюда, скорее всего, истоки такого названия.

В тюркских источниках XVI в. озеро именовалось Кукча-Денгиз [11] или Кокшетенгиз («синеватое море»), в XIV—XV вв. — Могол-Куль [12], позднее — Атрау-Куль.

На карте С.У.Ремезова, составленной в 1697 г., озеро названо просто Тенгиз («море»). Позднее его именовали Актенгиз — «белое (или, возможно, благодатное) море».

Шведский сержант Ю.Г.Ренат впервые в западных материалах относительно верно передал очертания озера, которое было названо Балкас. Он



Хан-Тенгри. На переднем плане — оз.Туз.

попал в плен к русским во время Полтавской битвы. Затем служил в русской армии, а в 1716 г. был пленен калмыками в Прииртышье и провел 17 лет в Джунгарском ханстве. Там скопировал калмыцкую карту и в 1733 г. вывез ее в Швецию [13].

На карте южной части Сибирской губернии, составленной в 1760 г. Ф.И.Соймоновым, Г.Веймарном и К.Фраундорфом, озеро впервые именуется Балхаш. В него впадает Или и еще одна безымянная река с востока. Само же озеро слегка вытянуто с юго-востока на северо-запад [13].

В записках российского путешественника, участника экспедиций Академии наук (1768—1774) Х.Барданеса (1771), озеро названо Балкхаш или Балкхаш-ноур [14]. Удивительно, что еще 240 лет назад Барданес сумел почти верно передать современное казахское название озера. В начале XIX в. Балхаш иногда именовали Ала-Денгиз. На карте А.И.Левшина и Г.Фролова (1831) озеро названо Балхаш [6].

Нынешнее наименование озера, вероятно, связано с казахским словом *балшик*, что означает «грязь», «топкое место». Топи очень характерны для южного побережья Балхаша.

Примерно в 180 км восточнее Балхаша расположено крупное солонатоводное **озеро Алаколь** (Алакёл, каз.). Топоним обычно осмысливают как «пестрое озеро». Но есть и другие, более приемлемые толкования. С географических позиций логичнее было бы перевести название как «большое озеро». Тогда *ала*, как и в случае с Ала-тау, восходит к древнетюркским *улуг* или *улу*. В самом деле, в Алакольской группе озер, где их насчитывается много десятков, оз.Алаколь самое большое по площади, что, конечно, должно было

быть отмечено местными жителями. То же можно сказать и еще об одном оз.Алаколь, расположенном у юго-западной оконечности Балхаша. Среди окружающих его озер оно самое крупное. И в Карагандинской обл. самое большое озеро в обрамлении более мелких носит название Алаколь. Можно привести еще несколько примеров такого рода. Все они свидетельствуют, что Алаколь — не Пестрое, а Большое озеро.

Впервые оз.Алаколь, как и многие другие центральноазиатские географические объекты, упоминается на китайской карте двухтысячелетней давности. Оно изображалось восточнее Балхаша. На карте были обозначены две реки, впадающие в озеро, и большой остров посередине [2]. Известно, что в эпоху тюркского государства кимаков (IX—XI вв.) по Алаколю курсировали парусные лодки. Кимаки называли озеро Гаган, по имени горы, находившегося на его юго-западном побережье на месте нынешнего поселка Кёктума (Коктума). Возможно, слово *гаган* в арабской передаче восходит к согдийскому *гардан*, т.е. «горный проход». Алаколь ведь действительно находится в горном проходе — в Джунгарских воротах.

Во времена Тимура озеро упоминалось как Улугколь, т.е. «великое озеро».

Еще одно раннее картографическое изображение Алаколя принадлежит Ремезову [15]. На его карте (1697) в оз.Тенгиз (Балхаш) впадает 11 рек, среди которых Талас, Или, Имиль и Лепсы, а вытекают две — Сырдарья и Амударья. На озере показан огромный гористый остров. Река Имиль (Эмель) и остров позволяют предположить, что Ремезов объединил алакольскую группу озер с оз.Балхаш. Это могло быть связано либо с ошибочной распросной информацией, либо с существовавшим тогда перетоком вод из Алаколя и соседнего с ним Сасыкколя в Балхаш.

На карте Соймонова, Веймарна и Фрауендорфа озеро названо Алакуголь. Большой остров посередине, очертание берегов и расположение — к востоку от Балхаша — показаны сравнительно правильно. В озеро впадают четыре реки, среди которых упомянута Аягуз.

Российский переводчик посольства в Китае А.Т.Путинцев на своей карте 1812 г. показал в Алакольской впадине два озера. Большее по размеру восточное он называет Алакукуль, присоединив к нему, по всей видимости, озера Сасыкколь и Уялы (Кошкарколь), меньшее западное — Алакуль [16].

Военный топограф А.Ф.Голубев отмечает, что на старых картах озеро именуется Алакукуль [17]. Он считает, вслед за А.Гумбольдтом, что это искаженный топоним Алатаукуль — «озеро гор Алатау». Голубев приводит его монгольское название Гурге-нор (правильнее — Гургэ-Нуур), что означает «озеро мостов». Связано это с тем, что при периодических понижениях уровня воды обнажаются косы, пересекающие озеро и напоминающие

естественные мосты. В 1862 г. Голубев впервые определил абсолютную высоту уровня озера, которая, по подсчетам ученого, составила 394 м. На современных картах указана высота 347 м.

В 1857 г. озеро Алаколь посетил Семенов-Тянь-Шанский [7]. Он сообщил, что местные казахи нередко называют озеро Ащи-Куль (Ащыколь), отмечая тем самым солоноватость его вод — в отличие от Сасыкколя (которое Семенов-Тянь-Шанский ошибочно именуется Сазын-куль). Ученый, впрочем, замечает, что некий местный житель связывал название Алаколя с близкими горами Алатау.

В сочинении Барданеса приведены калмыцкие названия северного Алакуля — Шарабел-ноур и южного — Нарин-ноур [14].

Остров Аралтобе на Алаколе в начале XIX в. иногда называли Ялана-тау или Жылантау («змеиная гора»).

Самое большое в горах Центральной Азии живописнейшее глубоководное (668 м) озеро — **Иссык-Куль**. Его самое древнее название — Тяньчи («наполненное»). Этот китайский топоним имеет возраст около 2 тыс. лет. Позднее озеро называли по-разному: Цинчжи и Дацинчжи (в переводе с китайского — «прозрачное» и «большое прозрачное»), Суйе («озеро реки Чу»), Жехай («теплое»), Яньхай («соленое»), Тузкуль или Тузкуль-Нор («соленое» в тюркско-монгольском наречии). Монгольское наименование озера — Темурту-Нор (правильнее Тёмёр-Нуур), т.е. «железное». Название связано с тем, что в Средневековье из озера выносился песок, содержащий в изобилии магнетит, местные жители выплавляли железо. По свидетельству китайских источников, уже с VII в. местные жители именовали озеро Иссыкуль [4].

Есть две версии происхождения современного названия озера. Первая, наиболее известная, исходит из того, что в тюркских языках слова *ыстык*, *ыссы*, *ысык*, *иссык* означают «горячее» или «теплое». Озеро зимой не замерзает, что и нашло отражение в его наименовании. Вторая версия восходит к древнетюркским словам *идук* и *ытык*, что значит «священное». Действительно, в недалеком прошлом озеро почиталось местными жителями: в нем нельзя было стирать одежду, ловить рыбу и даже купаться [4]. Обе эти версии имеют право на существование.

Одно из старинных названий Иссык-Куля — **Тузколь** — сегодня носит озеро, расположенное в 250 км восточнее Алма-Аты. Название его неспроста переводится как «соленое озеро». Тузколь — самое соленое горное озеро Казахстана. Его минерализация превышает 200 г/л, что сравнимо с соленостью Мертвого моря.

Небольшое **озеро Иссык** (правильнее — Есик) находится в долине одноименной реки в 40 км восточнее Алма-Аты. Большая часть озера исчезла летом 1963 г. из-за прорыва естественного завала. Только на востоке котловины сохранился мелкий водоем. Несколько лет назад на месте бывшего зава-

ла была сооружена дамба, и вода заполнила почти всю котловину (хотя уровень озера так и остался примерно на 10 м ниже прежнего). В XIX в. озеро именовалось Жасылколь — «зеленое озеро». Есик же — название урочища, расположенного в 2 км выше по течению (южнее). С казахского этот топоним переводится как «дверь». И действительно, урочище знаменито отвесными гранитными бортами ущелья, напоминающими огромные двери или ворота. Бытующий до сих пор топоним Иссык — нонсенс. Видимо, топографы середины XIX в. перенесли сюда часть географического названия знакомого им озера Иссык-Куль, ошибочно восприняв на слух местный топоним Есик. Но нелепо называть озеро дверью. Вероятно, следует возродить старое народное наименование — Жасылколь. Именно так называл озеро Валиханов в своем труде «Географический очерк Заилийского края» [3].

В 60 км восточнее Алма-Аты протекает **р.Турген**, на берегу которой стоит поселок Тургенъ. Топоним восходит к монгольскому слову *тургэн* — «скорый», и это не случайно. Известно, что в прежние времена движение караванов через долину Тургена сокращало им время в дороге, так как значительно укорачивало путь.

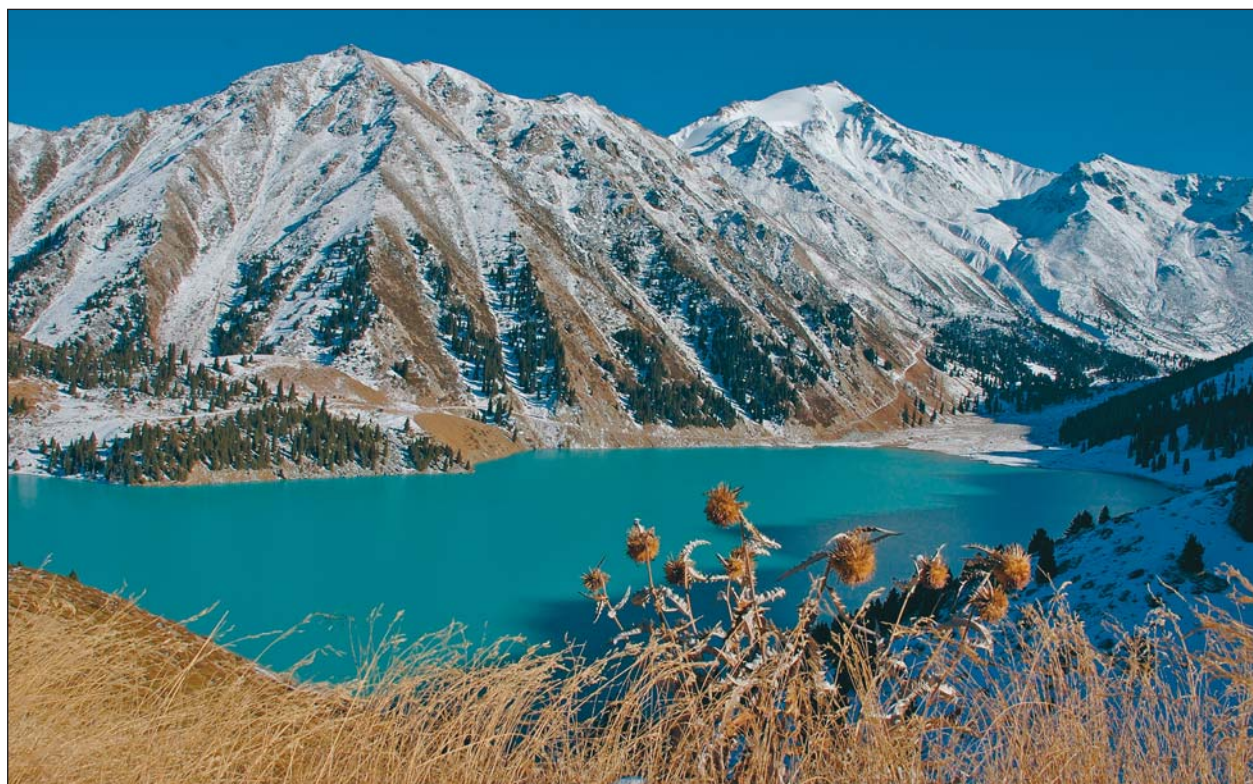
Поселок Узынагач (Узынагаш, каз.) знаменит тем, что недалеко от него на возвышенности стоит гранитный обелиск. Он воздвигнут в 1905 г. в память о сражении с кокандцами в 1860 г. Тогда в районе Узынагачского пикета отряд, состоящий

из 800 солдат и казаков, под командованием майора Г.А.Колпаковского одержал победу над противником, в рядах которого насчитывалось около 20 тыс. человек. Заметим, что Колпаковский с 1882 по 1889 г. был губернатором Семиреченской области и очень много сделал для развития г.Верного.

Узынагач расположен в 60 км к западу от Алма-Аты. Прямой перевод названия поселка, «длинное дерево», — несуразица. Существуют различные толкования этого топонима. Одно из них — «лес, вытянутый узкой полосой» [18]. Но такого рода приречные леса обычно носят наименование *тугай* или *тогай*. Слово же *агача* в южной Киргизии употребляется и для обозначения текущей воды [19].

Для объяснения смысла топонима необходим исторический экскурс. В знаменитом персидском географическом трактате неизвестного автора X в. «Худуд ал-Алам» [20] отмечено, что горы в районе нынешнего Кастекского перевала именовались Урун-Ардж (на китайский манер они назывались Цзетань и считались священными). Востоковеды считают, что это искаженная форма топонима Узунагач.

Агач — древняя тюркская мера длины, примерно равная 6—7 км. В Иране в середине XIX в. эта мера называлась фарсангом. Известный ученый и государственный деятель XVI в. султан Бабур также упоминает меру длины йигач. Поэтому Узунагач («длинный агач») мог означать долгий пере-



Большое Алматинское озеро.

ход по горам через Кастекский перевал, на расстояние, видимо, порядка 15—20 км. У северного подножья этих гор возникло поселение с таким же, как сегодня, названием. Оно находилось где-то близ нынешнего поселка.

Озеро Большое Алматинское — отнюдь не большое по размеру (да и озера Малого Алматинского в этих краях нет), скорее напротив, а названием обязано своему расположению — в долине р.Большой Алматинки. Река берет начало на склонах Заилийского Алатау к югу от Алма-Аты и протекает прямо в черте города. Ранее озеро именовалось Жосалыккель [18], потом некоторое время — Алматинским, затем — Больше-Алматинским, а вскоре его название упростилось до Большого Алматинского. Это живописнейшее озеро на высоте 2500 м возникло несколько тысяч лет назад, когда огромный обвал и тектонический взброс перегородили реку.

Жосалыккель в переводе с казахского — «охристое озеро». Крутой осыпной восточный склон, обращенный к озеру, местами имеет красноватую окраску из-за выходов розовых гранитов. С этим, видимо, и связано название озера. К западу от него находится перевал Жосалыккезен в долину р.Проходной. Не исключено, что ранее он именовался Жосалыколкезен — «седловина охристого озера», но со временем название сократилось, и топоним изменился. А недавно появилось но-

вое, крайне неудачное название озера — перевод с русского языка на казахский. Так Большое Алматинское стало озером Улкен Алматыкол.

В верховьях р.Малой Алматинки расположены **урочище и ледник Туюксу** (Туйыксу, каз.). Здесь ведутся самые долговременные (с 1902 г.) в Центральной Азии непрерывные гляциологические исследования. Топоним означает «тупиковая речная долина», так как у истока реки нет перевала. Иногда *туюксу* переводят с казахского как «замкнутая вода». Это связано с тем, что в казахско-русском словаре приведено несколько переводов слова *туюк*, но для понимания смысла топонима все же лучше подходит «тупик», а не «замкнутость».

Не только в Казахстане, но, пожалуй, и во всем мире знаменит старый горнолыжный курорт **Чимбулак**. Такое же название носят малоизвестные урочище и ручей в бассейне Малой Алматинки, и именно они еще в советские времена дали название турбазе. Чимбулак — это «дерновый родник», но такое название ошибочно. Старое название, которое ныне забыто, звучало как Чынбулак (через носовое *н*) и означало «привершинный родник». Здесь родник находился высоко на склоне горы, и эта информация, заключенная в топониме, была очень важна для местных пастухов. Они знали, что можно установить юрту в зоне альпийских лугов и не гонять отару овец на большое расстояние к источнику воды. Конечно, те-



Ледник Туюксу.

Фото из архива И.В.Северского

перь никто не будет менять название знаменитого спортивного объекта, но не стоит и умалчивать о его истинном смысле и происхождении.

В Центральной Азии многие высочайшие вершины принято называть по-уйгурски — **Музтагата**, или просто Музтаг. Смысл этих топонимов — «патриарх ледяных гор» или «ледяная гора». Например, Музтагата высится в Кашгарских горах, которые иногда именуют Кашгарским Памиром. Ее высота 7546 м. Местные киргизы, по словам шведского географа-путешественника С.А.Гедина, почитают гору как священную. Другие одноименные горные массивы находятся в Куньлуне. Это, например, гора Музтаг (7282 м) или высочайший среди его хребтов — Улугмузтаг («великая ледяная гора»), имеющий высоту 7723 м.

Основной торговый тракт Шелкового пути из Ферганской долины в Кашгарию (Китай) проходил через **перевал Терек-даван**, находящийся на высоте 4135 м в восточной части Алайского хребта. Терек — тюркское наименование тополя. Видимо, это слово восходит к древнему *терк*, означающему «быстро» или «скоро» (тополь — быстрорастущее дерево). Монгольское слово *даван* и киргизское *дабан* переводятся как «перевал». Следовательно, Терек-даван — это перевал, ускоряющий передвижение каравана, т.е. сокращающий его путь.

В самой восточной части Казахстана расположено крупное **озеро Зайсан**. По местному преда-

нию, которое в XVIII в. опубликовал российский историк Г.Ф.Миллер [21], рыбные богатства озера спасли от жестокого голода пришедших в эти края калмыков. Известно, что монголы и калмыки не употребляли в пищу рыбу и поэтому не занимались рыбной ловлей. Но голод заставил нарушить давние традиции. В знак благодарности они дали озеру имя Зайсан, что на монгольском языке означает «благородный». Непререкаемый авторитет Миллера привел к тому, что в последующих публикациях о Зайсане укоренилось именно такое объяснение происхождения его названия. Однако есть основание выразить сомнение на этот счет. По-калмыцки «благородный» звучит как *арунцевр*, что совсем не напоминает монгольское *зайсан*, а вот «рыба» — *загси* — как раз созвучна с названием озера. Поэтому, вероятно, оно восходит к калмыцкому слову «рыба», а не к монгольскому «благородный». Но возникает вопрос: как называли озеро местные казахи до прихода калмыков? Не могло же оно быть безымянным.

Есть предположение, что впервые о казахском названии Зайсана сообщил российский посланник в Китай Ф.И.Байков, пройдя в 1654 г. из г.Тобольска вдоль Иртыша до его истоков [22]. Из Пекина он возвращался по тому же пути. Будучи неграмотным, Байков обладал феноменальной памятью. С его слов было составлено замечательное для того времени подробное описание путешест-



Котловина озера Зайсан. Красноцветные отложения урочища Киынкирш.

Здесь и далее фото О.В.Белялова

вия, где приводятся подробная характеристика маршрута, а также множество разнообразных сведений по географии и этнографии пройденных земель. Озеро Зайсан Байков именует Кызылбаш, ссылаясь на калмыков (хотя топоним явно тюркского происхождения).

В своем статейном списке (так было принято в те времена именовать путевой дневник) Байков описывает озеро так: «...а от того городка до озера ходу 4 дня, а зов тому озеру калмыцким языком Кызылбаш, а калмыки сказывают: рыбы де в том озере много, вода в том озере пресная зелена, а сквозь то озеро прошла река Иртыш...» [22].

Следует заметить, что точный путь следования посланника неизвестен, и есть разные версии его маршрута. Ряд фактов указывает на то, что он по каким-то причинам неоднократно переправлялся через Иртыш. Например, Байков посетил буддийский монастырь Аблай-хит (Аблайинкит), т.е. побывал на левом берегу Иртыша. Затем сделал дневку на р. Курчум, в низовьях которой отметил возделанные поля «бухарцев», и далее следовал по правобережью.

Есть и другие толкования докалмыцкого названия Зайсана. Они принадлежат уже упомянутому историку Миллеру. Известно, что в 1734 г. он вместе со своим коллегой, ученым-естествоиспытателем И.Г.Мелиным, проследовал из Омска по Иртышу до Семипалатинска и Усть-Каменогорска, по пути собирая ценные материалы по истории, географии и этнографии. Эти сведения легли в основу фундаментального сочинения «История Сибири» [21], в котором Миллер, в частности, касается прежнего названия Зайсана: «...В некоторых ландкартах сие озеро Кызылбас названо, утверждаясь на описание путешествия некоего российского посланника в Китай... но и сие несправедливо: вместо Кызылбас надлежит читать Кисалпу, потому что так сие озеро прежде называлось как у калмыков, так и у татар, и нынешнее имя Нор-Сайзан не прежде, как в половине прошедшего века, пришло в употребление, когда калмыки от великого голода для рыбной ловли к сему озеру прибегли, и, прокормившись от оно, в знак благодарности его Благородным, что у них Сайзан значит, назвали...» [21]. Из приведенной цитаты видно, что Миллер заметно искажал географические названия. Кисалпу, несомненно, содержит слово *кызыл* — «красный». Концовка топонима — *пу*, или очень сильно искаженное *кёл*, что значит «озеро», или окончание прилагательного *кызыл*, с которым оно приобретает форму, например, *кызылдау* и становится не «красным», а «красноватым». Может быть, *пу* есть измененное слово *бу* — «пар» или «испарение», но привязать эти слова к названию озера сложно. Возможно, это элемент *ну*, с которым слово превращается в *кызылну* — «красное перевозданное». Но все эти версии сомнительны.

Тем не менее в толкованиях Байкова и Миллера, как кажется, нет противоречий: оба упоминают слово *кызыл*, но в разных вариантах.

До прихода калмыков озеро могло называться Кызылкольбас, или Кызылдаукольбас — «красное (или красноватое) озеро верховий». *Бас* в данном случае означает верховье или исток Иртыша.

Почему же в названии озера присутствует прилагательное «красный»? Известно, что в 13 км от северного берега озера, в урочище Киынкирш, выходят палеогеновые красноцветные отложения. Их небольшие массивы местами встречаются и ближе — в 4–5 км от озера. Во время дождя породы интенсивно размываются, глинистые частицы попадают в воду ручьев, а оттуда — в озеро, окрашивая прибрежные воды в красноватый цвет.

Известный омский ученый-географ и краевед, автор уникальной монографии «Озеро Зайсан» (1910) А.Н.Седельников сообщает, ссылаясь на Н.Я.Бичурину, что на старых китайских картах озеро Зайсан названо Хунхоту-нор или Хошутунор, т.е. «озеро колоколов» или «озеро мысов» [23]. Это связано с тем, что из-за постоянных ветров на озере почти не смолкают ритмичные и глухие удары прибойных волн. Но эти наименования явно монгольского, а не китайского происхождения, так как по-монгольски «колокол» — *хонх*, «колокольчик» — *хонхны хуу*, а «мыс» — *хошун* или *хушуун*. Замечу, однако, что на китайских картах название несколько искажено, но узнаваемо: «колокол» по-китайски звучит как *чжун*.

Возвращаясь к слову *кызыл*, стоит упомянуть, что имеется и другая, хотя и менее надежная версия его происхождения. В тюркских языках *кызыл* может означать «южный». Может быть, когда-то озеро Зайсан называли Южным. Северным же могли именовать расположенное в Казахстанском Алтае, в 115 км к северо-востоку от Зайсана, живописнейшее **озеро Маркаколь** (Маркакол, каз.). Близкое по звучанию калмыцкое слово — «изумруд». Не исключено, что изумрудным озеро Маркаколь называлось из-за воды, в которой отражалась зелень лесистых склонов котловины. По сообщению русского географа и этнографа Г.Н.Потанина, в середине XIX в. калмыки называли озеро Барханур (правильнее, Бурханнур) — «священное (или божественное) озеро» [24].

До прихода калмыков озеро, видимо, называлось Балыкколь — «рыбное», так как проживающие в озерной котловине казахи из рода Кожамбет активно занимались рыбной ловлей [24]. Летом они питались почти исключительно рыбой, припасая молочные и мясные продукты на зиму. Так озеро именуется и на карте Левшина (1831) [6].

Есть еще одно сомнительное объяснение семантики Маркаколя — «жереховое озеро». Но жерех — речная рыба, и в Маркаколе он не обитает.

Заметим, что на одном из узбекских диалектов *марка* означает что-то большое. В связи с этим интересно упоминание Байковым «пашенных бухарцев», которые в XVII в. выращивали пшеницу, ячмень, просо и горох в низовьях р. Курчум [22]. Видимо, речь идет об уйгурах-земледельцах, при-

глашенных из Малой Бухарии, т.е. из Синьцзяна. Не исключено, что среди них были и узбеки, которые именовали Маркаколь Большим озером. Оно, действительно, самое большое в горах Алтая: в два раза больше Телецкого.

На юго-западе Алтайских гор, в восточной части Казахстана, находится **Калбинский хребет**. Словарь В.И.Даля [9] сообщает нам, что калба — род дикого лука, произрастающий в Западной Сибири (другое его название — черемша). Иногда название гор связывают с казахским словом *калалы* — «олово». Известно, что здесь в небольших месторождениях с давних пор добывали оловянную руду. Но с лингвистической точки зрения такое толкование кажется сомнительным. По данным Потанина, Калбинский хребет ранее именовали Калма [24], что, по-видимому, представляет собой усеченное слово *калмак*. Так казахи называли и называют калмыков. Следовательно, Калбинские горы были «калмыцкими». Косвенно на это указывает и название одной из высочайших вершин гор: на старых географических картах фигурирует ороним Калмак-Толгой, его буквальный перевод — «голова калмыка», но смысл иной — «высочайшая вершина калмыцких гор». Эту вершину, которая ныне именуется Талды, ранее, видимо, считали самой высокой, но на деле по высоте она чуть уступает двум другим. Такая ошибка вполне объяснима, ведь в те времена отсутствовали необходимые

приборы для определения абсолютных высот и оценивались они на глазок.

У северного подножья Калбинских гор, в 50 км к югу от г.Усть-Каменогорска, расположены **Сибинские озера**. Расшифровать их название помог Седельников: в своем сообщении об озерах Калбинских и Алтайских гор огибающую Сибинские озера с юго-запада р.Сибинку (так в верховьях называется приток Иртыша р.Аблакетка) он неожиданно называет Себе [25]. Отсюда потянулась нить разгадки названия. Воды пяти озер уютно устроились в гранитных ваннах горного массива Чертей-тау (по Седельникову). Каждую из пяти ванн местные казахи образно называли *себет* — «корзинка». Затем буква и звук *т* потерялись, и *себет* превратилось в *себе*. Русскоязычное население трансформировало топоним в Сибин.

Попутно заметим, что старое название гор — Чертей-тау — возможно, искаженное слово *шаттыртау*, т.е. «шатровые горы». Действительно, здешние горы напоминают по форме шатры. По другой версии, ороним восходит к казахским словам «кромка» или «край», т.е. это «краевые горы». Оба объяснения с географических позиций вполне приемлемы.

И наконец, стоит рассказать об истории названия **Аральского моря**. В древнем (более 2 тыс. лет) персидском литературном памятнике Авесте Арал предположительно именуется Чайчиста.



Одно из Сибинских озер, Калбинские горы.

В китайских источниках — Северное море (во II в. до н.э.), Вынаньша или Лэйчжоу (в Средневековье). Местные названия Аральского моря — Кудерское озеро (IX в.), Хорезмийское море, Хорезмское или Ховарезомское озеро (XII в.), Джендское озеро (XIII в.), озеро Джейхуна (XV в.) [26].

У казахского населения Приаралья был в ходу гидроним Кокшетенгиз — «синеватое (или синешее) море». Это название легло в основу русского наименования Арала: Синее море. Оно употреблялось до конца XVII в. В это же время в других источниках Арал иногда называли морем Сыра.

Современное название — Аральское море — впервые появилось на карте Ремезова [15], а в официальные документы гидроним был введен Петром I в 1716 г.

Историк П.И.Рычков в своем известном страноведческом сочинении «Топография Оренбург-

ской губернии» интерпретировал гидроним как «островитое (островное) море» [27]. Так его обычно толкуют и сегодня.

Но более обоснованным и логичным кажется объяснение названия моря, предложенное правителем Хивы, известным историком Абулгази Бахадурханом. В середине XVII в. он сообщил, что острова в дельте Амударьи издавна были заселены. Их жителей называли «аралдык», т.е. «островитяне» [5]. Поэтому озеро стало называться морем Островитян.

Изучение семантики и этимологии топонимов Центральной Азии помогает восстановить давно ушедшие в прошлое географические названия и правильно осмыслить их. Поэтому исследования обязательно будут продолжены, ведь, возрождая забытые названия, мы сможем еще многое узнать об истории этого края. ■

Литература

1. Мурзаев Э.М. Словарь народных географических терминов. М., 1999.
2. Бичурин Н.Я. Собрание сведений о народах, обитавших в Средней Азии в древние времена. Т.I. М.; Л., 1950; Т.III. М.; Л., 1953.
3. Валиханов Ч.Ч. Географический очерк Заилийского края // Валиханов Ч.Ч. Собрание сочинений: В 5 т. Т.I. Алма-Ата, 1984. С.173—180.
4. Умурзаков С.У. Топонимия // Атлас Киргизской ССР. Т.I. М., 1987.
5. Журнал поездки майора Пензенского гарнизонного пехотного полка Карла Миллера к джунгарскому хану Галдан-Цэрену (3 сентября 1742 г. — 2 мая 1743 г.) // История Казахстана в русских источниках XVI—XX веков. Т.VI. Алматы, 2005. С.101—135.
6. Левшин А.И. Описание киргиз-казачьих или киргиз-кайсацких орд и степей. Алматы, 1996.
7. Семенов-Тянь-Шанский П.П. Путешествие в Тянь-Шань в 1856—1857 гг. М., 1947.
8. Аманжолов С.А. Вопросы диалектологии и истории казахского языка. Алматы, 2001.
9. Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка. М., 1989.
10. Кашгари М. Диван Лугат ат-Турк / Пер. с араб. и ком. З.-А.М.Ауэзовой. Алматы, 2005.
11. Мухаммед Хайдар Дулати Тарихи Рашиди. Алматы, 1999.
12. Абусеитова М.Х., Абылхожин Ж.Б., Кляшторный С.Г. и др. История Казахстана и Центральной Азии. Алматы, 2001.
13. Греков В.И. Очерки по истории русских географических исследований в 1725—1765 гг. М., 1960.
14. Барданес Х. Киргизская или казахская хорография // История Казахстана в русских источниках XVI—XX веков. Т.IV. Алматы, 2005. С.93—194.
15. Ремезов С.У. Чертежная книга Сибири, составленная Тобольским сыном боярским Семеном Ремезовым в 1701 году. СПб., 1882.
16. Дневные записки переводчика Путинцева, в проезд его от Бухтарминской крепости до китайского города Кульжи и обратно в 1811 году // Сибирский вестник. Ч.7, 8. СПб., 1819.
17. Голубев А.Ф. Ала-Куль // Записки Императорского Русского географического общества по общей географии. 1867. Т.1. С.349—361.
18. Конкаштаев Г.К. Словарь казахских географических названий. Алма-Ата, 1963.
19. Конкобаев К. Топонимия Южной Киргизии. Фрунзе, 1980.
20. Кляшторный С.Г., Султанов Т.И. Казахстан. Летопись трех тысячелетий. Алма-Ата, 1992.
21. Миллер Г.Ф. История Сибири. Т.3. М., 2005.
22. Материалы по истории русско-монгольских отношений. 1636—1654: Сборник документов. М., 1974. С.400—404. №136. Из статейного списка Ф.И.Байкова в Китай.
23. Седельников А.Н. Озеро Зайсан. Омск, 1910.
24. Потанин Г.Н. Исследования и материалы // История Казахстана в русских источниках XVI—XX веков. Т.VII. Алматы, 2007. С.5—554.
25. Седельников А.Н. Алтайские озера. Предварительное сообщение // Известия Западно-Сибирского отдела Императорского Русского Географического общества. 1915. Т.3. Вып.1—2. С.3—12.
26. Берг Л.С. Аральское море: опыт физико-географической монографии. СПб., 1908.
27. Рычков П.И. Топография Оренбургской губернии. Оренбург, 1762.

Птица в муравейнике

Н.С.Морозов

Муравьение, или муравление, — загадочное, в природных условиях редко наблюдаемое поведение птиц, заключающееся в использовании муравьев или заменяющих их объектов для «обработки» собственных перьев и, возможно, кожи [1—8]. Первые упоминания о нем в научной литературе датируются 19-м столетием, но широкое обсуждение началось с середины 1930-х годов. Термин для обозначения этого поведения, «Einemsen», был предложен в 1935 г. немецким орнитологом Э.Штреземанном, а в 1936 г. его ученик, индийский орнитолог С.Али, ввел в обиход английский эквивалент «anting» [1, 2, 4, 6]. Муравьение описано более чем у 200 видов птиц из нескольких отрядов (преимущественно из отряда воробьинообразных) [5, 8] и в природе отмечено на всех континентах, кроме Антарктиды, а также на некоторых островах. Большинство сообщений о муравьении поступило из Западной Европы и США [2—4, 6, 7], где особенно много как профессиональных орнитологов, так и просто любителей наблюдать за птицами.

Как происходит муравьение?

Принято различать два основных типа, или способа, муравьения — активное и пассивное. При проведении активной процедуры птицы берут насекомых



Николай Сергеевич Морозов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН. Область научных интересов — синэкология и популяционная экология, ценоотические отношения и закономерности организации населения птиц в лесных и городских ландшафтах.

в клюв и «натирают» ими перья. Чаще всего это происходит на земле или на полу вольеры, но иногда на «присаде», например, на ветке или жердочке. У большинства видов обработке подвергаются главным образом нижние поверхности перьев крыла, преимущественно — крайних первостепенных маховых. Обычно птица ненадолго отставляет в сторону и выдвигает вперед то одно, то другое слегка расправленное и приподнятое крыло, касаясь земли кончиками маховых перьев, и очень быстрыми движениями проводит содержимым клюва по нижней поверхности пера в направлении от его основания к концу. При этом она может кружиться на месте. Хвост, как правило, «подмят» и повернут вперед или в ту же сторону, куда отставлено крыло. Он находится либо между ногами птицы, либо сбоку, из-за чего она нередко теряет равновесие и подчас заваливается на бок или даже на спину. Во время манипуляций пернатых с маховыми перьями у наблюдателей часто возникает впечатление, что те натирают также и перья хвоста, но в действительности это происходит гораздо реже, чем кажется. Лишь некоторые виды, главным образом представители семейств врановых и трупяловых, помимо маховых и рулевых перьев натирают муравьями и другие участки, например надхвостье, оперение вокруг клоаки, на груди и лопатках [4—6, 9—11].

Чаще всего птицы удерживают в клювах лишь по одному муравью. Есть виды, манипулирующие и сразу несколькими или даже «комком» из раздробленных муравьев. Так, скворцы (*Sturnus vulgaris*) имеют обыкновение последовательно набирать полный клюв этих насекомых [4—6, 10]. Движения бывают настолько быстрыми, что неподготовленный наблюдатель может вообще не заметить ничего необычного, приняв муравьение за чистку перьев. Некоторые виды, строго говоря, не проводят по перьям, а совершают серии быстрых прикосновений к ним клювом, вибрируя головой. Л.М.Уитекер обратила

© Морозов Н.С., 2014

внимание на эту моторику, наблюдая с близкого расстояния за муравьиением ручной особи садового цветного трупиаала (*Icterus spurius*) [6]. Птицы некоторых видов могут подносить клюв с муравьем к определенному участку оперения и удерживать его там 1–2 мин [3]. Исползованные муравьи поедаются или выбрасываются.

Активное муравьиение особи длится, как правило, от нескольких минут до получаса, но случаются и более продолжительные, правда, с короткими перерывами, эпизоды, в том числе — тянущиеся более часа [4, 6]. Птицы могут заниматься муравьиением как поодиночке, так и группами [1, 2]. Активной стратегии придерживается большинство видов, практикующих муравьиение.

При проведении пассивной процедуры птицы встают на муравейник, касаясь его хвостом и представленными крыльями, либо ложатся на него, предоставляя муравьям самим лезть по телу. При этом птицы могут похаживать по муравейнику, топтаться на нем или, распластавшись, прижиматься к нему хвостом и крыльями, «барахтаться в муравьях». Они проводят клювом и головой по разным участкам оперения, в том числе маховым и рулевым перьями, словно провоцируя муравьев на нападение или что-то «размазывая», иногда удаляют насекомых клювом с отдельных частей тела*. Попытки муравьев побегать по птичьей голове обычно пресекаются энергичным встряхиванием ею. Среди воробьинообразных пассивное муравьиение отмечалось главным образом у дроздов из рода *Turdus* и врановых из рода *Corvus*, реже у других птиц, например из семейства астрильдовых, а также обыкновенного скворца и домового воробья (*Passer domesticus*), которым больше свойственно активное муравьиение [4–6]. Некоторые представители двух первых родов могут сочетать оба способа на протяжении одной процедуры [4]. Таким образом, разделение муравьиения на активное и пассивное нельзя считать абсолютно строгим.

Родственным видам птиц могут быть присущи разные типы проведения процедуры, что особенно ярко проявляется в семействе врановых. Некоторые его представители применяют первый, другие — второй, третьи, как уже отмечалось, — оба способа. Наконец, еще у трех видов — сойки (*Garrulus glandarius*), зеленой циссы (*Cissa chinensis*) и красноклювой лазоревой сороки (*Urocissa erythrorhyncha*) — набор действий настолько своеобразен, что его иногда выделяют в особую разновидность пассивной процедуры или даже в отдельный, «промежуточный», тип муравьиения [4, 9, 10]. После того как птица оказывается посреди скопления муравьев, она расставляет и выставляет вперед сразу оба крыла (а не по одному, как это свойственно большинству видов, для которых характерно активное муравьиение) и «присажива-

ется» на хвост, навлекая на себя насекомых. Выдвигаемые вперед крылья конвульсивно вздрагивают [4, 9]. Наряду с прочими телодвижениями птица проводит клювом сверху вниз вдоль внутренних краев первостепенных и второстепенных маховых перьев, как это делают «истинные приверженцы» активной процедуры. Однако муравьев в клюве нет. Им предоставляется возможность самим перемещаться по телу птицы**. «Промежуточный» способ муравьиения применяют также отдельные виды семейства астрильдовых и белобрюхий дрозд (*Turdus cardis*) [5].

Муравьиением, кроме того, принято называть и активный вариант действий с использованием не муравьев, а иных объектов, общий перечень которых исчисляется десятками. Птицы натираются еще и некоторыми другими беспозвоночными животными, например чесночными улитками (*Oxychilus alliarius*), бокоплавами, двупарноногими многоножками, уховертками, гусеницами, кузнечиками, клопами, жуками-бомбардирами, личинками мучного хруща (*Tenebrio molitor*), осами. А также листьями, цветками и плодами некоторых растений (особенно соком цитрусовых), соком из кожуры грецких орехов, репчатый лук, столовой горчицей, уксусом, огуречным рассолом, горячим шоколадом, мыльной водой, пивом, табачными изделиями (в том числе зажженными сигаретами), горящими или дымящимися спичками, некоторыми химикатами, например нафталином [3, 4–6, 8]. На одной из видеозаписей*** можно видеть, как сразу несколько обыкновенных граклов (*Quiscalus quiscula*) — североамериканских воробьиных птиц размером с крупного дрозда, относящихся к семейству трупиааловых, — натирают свое оперение крупными нафталиновыми шариками, разбросанными во дворе дома для отпугивания скунсов.

В англоязычной литературе всю эту группу активных процедур, в том числе с применением самих муравьев, иногда называют не муравьиением, а натираением или смазыванием [8, 12]. Впрочем, пользование дымящимися спичками и сигаретами, равно как и открытым пламенем [4], может быть «промежуточным звеном» между муравьиением и другой, близкой к нему, по мнению ряда авторов, формой поведения, именуемой «купанием в дыму» [6]. Смазыванием занимаются не только птицы, но и млекопитающие. Муравьев используют некоторые обезьяны [12].

У некоторых очевидцев возникает впечатление, что муравьиение доставляет птицам удовольствие, подчас перерастающее в экстаз. Как бы то ни было, этому состоянию сопутствует временное притупление осторожности и агрессивности

** См. фото, отобранные из серии снимков, сделанных на протяжении полутора минут, а также видео (www.youtube.com/watch?v=314-HtWIOps).

*** www.youtube.com/watch?v=yfQbqyYXHjo

* www.youtube.com/watch?v=SJaiHorf8qI



Спровоцировав черных садовых муравьев (*Lasius niger*), сойка принимает процедуру «муравьения». Главный ботанический сад РАН в Москве, 14 июля 2011 г. Видовая принадлежность муравьев определена А.А.Захаровым.

Фото автора

[5, 6]. Именно эйфорией иногда объясняют тот факт, что во время процедуры птицы чаще или дольше обычного прикрывают глаза мигательной перепонкой [4, 6]. Однако не менее убедительным кажется объяснение, согласно которому таким путем они пытаются ограничить попадание в глаза едких веществ, выделяемых муравьями [4, 6, 10].

В средних широтах Голарктики в естественных условиях муравьение удается наблюдать главным образом в «теплое полугодие». Насколько часто принимают процедуры на зимовках в низких широтах мигранты из более высоких широт, толком не известно. Это поведение можно наблюдать не только в природе, но и, с гораздо большей легкостью, при содержании птиц в неволе, если обеспечить им доступ к муравьям или заменяющим их объектам [2, 4–6, 8, 10, 13]. «Героями» множества любопытных эпизодов стали ручные птицы. По-

жалуй, наиболее поразительным было зафиксированное в Великобритании поведение выкормленной людьми сороки (*Pica pica*). Она имела обыкновение набирать в саду полный клюв муравьев, пробираться в дом, садиться на плечо к кому-нибудь, кто курил в это время трубку, погружать клюв с муравьями в горячий пепел, находящийся в чашечке трубки, а получавшуюся смесь засовывать под крылья [2].

Благодаря наблюдениям в неволе и за ручными птицами у некоторых видов были выявлены широкие различия между индивидуумами в частоте муравьения. Одни особи могут предаваться ему регулярно (скажем, раз в несколько дней, или по многу дней подряд, или неоднократно на протяжении дня), другие — не принимать процедур вообще или принимать их очень редко, например один раз в несколько лет [4, 6].

В рамках каждого из типов муравьяния набор движений и поз у птиц довольно стереотипен. Впрочем, очевидны «нюансы», характерные для отдельных (групп) видов, например предпочтение ими определенных видов муравьев [5]. Муравьяние — врожденное поведение, которое наблюдается и у никем не обучавшихся ему, в частности у молодых особей [1, 4, 6, 10, 13]. Вместе с тем можно говорить и о наличии некоторых персональных предпочтений объектов, используемых для натирания. По мнению К.Е.Л.Симмонса [5], индивидуальные различия возникают в результате стечения обстоятельств в жизни конкретной особи: ее врожденной реакции на ключевые обонятельные стимулы, в первую очередь на запах муравьиной кислоты, и последующего формирования индивидуального зрительного образа объектов, «пригодных» для проведения процедур.

Каких муравьев используют птицы?

Чаще всего в дело идут представители подсемейства Formicinae [5–7], преимущественно родов *Formica*, *Lasius* и *Camponotus*. Рабочие особи этих муравьев имеют нефункционирующее, рудиментарное жало. При обороне и нападении они кусают жвалами и выдавливают через ацидопору на конце брюшка секрет ядовитой железы, который хранится в ее резервуаре. Секрет представляет собой смесь муравьиной кислоты и некоторых других веществ с водой, причем концентрация первой составляет ~50%, а вместе со свободными аминокислотами и короткими пептидами она не превышает 60–65% [14, 15]. Некоторые представители рода *Formica*, в частности рыжие лесные муравьи группы *F.rufa*, способны, выставив вперед конец брюшка, брызгать этим ядом на расстоянии до нескольких десятков сантиметров.

Муравьиной кислоте часто приписывается ключевая роль в возникновении муравьяния. Однако перечень едких и токсичных веществ, продуцируемых и используемых разными муравьями в экстренных ситуациях, ею не исчерпывается [5, 14]. Возможно, поэтому средством для натирания иногда становятся муравьи (как нежалящие, так и жалящие), которые не секретизируют муравьиную кислоту, например *Dorymyrmex pyramicus*, *Forelius pruinosus*, *Tapinoma sessile* из подсемейства Dolichoderinae [6] и *Pheidole morrissi*, *Pogonomyrmex badius*, *Crematogaster ashmeadi* из подсемейства Myrmicinae [11]. У представителей Dolichoderinae, также «обделенных» жалом, имеются анальные железы, выделяющие капельки специфически пахнущих жидкостей, которым некоторые авторы приписывают репеллентные свойства. Судя по всему, в большинстве случаев птицы сразу отличают муравьев, разбрызгивающих едкие и отпугивающие вещества, от прочих, в том числе жалящих, не наделенных такими способностями [5].

Кто занимается муравьянием?

Даже в отряде воробьинообразных любители предаваться муравьянию распределены по разным семействам крайне неравномерно. Представителям многих семейств, например ласточковых, жаворонковых, сорокопутовых, славковых, синицевых, поползневых, оно (почти) несвойственно. В наибольшей степени муравьяние характерно для врановых, скворцовых, трупяловых, вьюрковых, ткачиловых, дроздовых и тимелиевых, хотя и в этих семействах отмечено далеко не у всех видов [4–6]. Причины подобной специфичности неизвестны. Среди любителей процедуры выделяются явные рекордсмены, например обыкновенный скворец, голубая сойка (*Cyanocitta cristata*), сойка, обыкновенный гракл, странствующий дрозд (*Turdus migratorius*), красный кардинал (*Cardinalis cardinalis*) [6, 11].

Муравьяние указывалось также для единичных или немногих видов из отрядов соколообразных, курообразных, журавлеобразных, голубеобразных, попугаеобразных, совообразных, птиц-мышей, удообразных и дятлообразных. У удода (*Upupa epops*), например, отмечены оба типа, у большинства других видов неворобьинообразных — какой-то один, чаще пассивный тип муравьяния [3, 6, 7]. На научно-популярных сайтах в Интернете упоминается также о муравьянии отдельных представителей кукушкообразных и трогонообразных. Однако некоторые специалисты высказывают недоверие ко всем этим сведениям.

Например, К.Е.Л.Симмонс неоднократно выражал обоснованный скепсис относительно сообщений о муравьянии любых неворобьинообразных птиц [4, 5]. Он усомнился даже в отношении дятлообразных, подчеркнув, что, скорее всего, речь идет о случаях ошибочной интерпретации поведения видов, которые регулярно питаются муравьями, — вертишейки (*Jynx torquilla*) и зеленого дятла (*Picus viridis*). В дальнейшем появились новые факты, указывающие на то, что активное муравьяние, по-видимому, все же присуще некоторым представителям данного отряда [11].

Х.Поулсен [10] подчеркнул, что для курообразных птиц муравьиные кучи могут быть привлекательны как места «купания в пыли», а не пассивного муравьяния как такового. Ему самому не удалось добиться принятия «муравьиных ванн» ни от одной из содержащихся в неволе 15 особей шести видов курообразных птиц из подсемейств куropатковых и фазановых, хотя иногда они поедали муравьев. Поэтому он усомнился как в сообщениях американских авторов по поводу дикой индейки (*Meleagris gallopavo*), так и в сведениях Е.Реймонда о муравьянии тетерева (*Lyrurus tetrrix*), глухаря (*Tetrao urogallus*) и европейского кеклика (*Alectoris graeca*). Однако, по данным А.Н.Формозова, весной рябчики (*Tetrastes bonasia*) и тетерева с азартом занимаются пассивным муравьянием,

в частности на еще влажных верхушках муравейников рыжих лесных муравьев, вскоре после стаивания снега, т.е. в условиях, исключающих купание в пыли [16, 17].

Зачем?

Несмотря на возможность изучения муравьения экспериментальным путем, его функции до сих пор неясны. Ими могут быть избавление и предохранение от эктопаразитов или просто нежелательных «квартирантов» (особенно клещей и пухоедов, а также грибов и бактерий), улучшение ухода за перьями (например, усиление притока слюны в процессе их чистки клювом или удаление старой жировой смазки), уменьшение раздражения кожи во время линьки, получение чувственного удовольствия (причем приятные ощущения могут сочетаться и с раздражающими, вроде щекотки) и др. [1—7, 10, 15]. Разумеется, они не являются взаимоисключающими. Представление об определяющей роли в возникновении данного поведения каждой из этих функций в отдельности, подтверждаемое, казалось бы, одними фактами и доводами, решительно не согласуется с другими.

Мнение о том, что муравьение представляет собой способ борьбы с перьевыми клещами и пухоедами, было высказано раньше других. Еще в 1831 г. американский орнитолог и художник-анималист Дж.Дж.Одубон в первом томе своего знаменитого труда «Орнитологическая биография» указал на пристрастие молодых диких индеек к «валянию» в нежилых муравейниках [6]. Как уже говорилось, подобное поведение в действительности может быть иной формой ухода за оперением — купанием в пыли [4, 10]. Однако сам Одубон объяснил его «невыносимостью» запаха субстрата, в котором обитали муравьи, для эктопаразитов птиц. В 1876 г. М.А.Фразар обратил внимание на прямое изъятие муравьями мелких членистоногих с тела ручной вороны во время ее пассивного муравьения [1].

Гипотеза обработки оперения против эктопаразитов импонировала многим ученым и в дальнейшем, поскольку выглядит она весьма правдоподобной (см., например, [16, 17]). В ее пользу свидетельствует и тот факт, что большинству «заменителей» муравьев также присущи едкость и острый запах [6]. В лабораторных условиях установлено, что опрыскивание пухоедов 50% смесью муравьиной кислоты с водой приводит к гибели подавляющего большинства из них в течение 15 мин [8]. Но каковы доказательства эффективности муравьения против эктопаразитов, обитающих на живых птицах? Оказывается, их почти нет.

Как показывают исследования в неволе, нередко активным муравьением занимаются, причем часто и подолгу, те птицы, на которых мало или

вообще нет клещей и пухоедов [6, 10]. Однако их действия можно расценить как профилактику. Строго говоря, ни слабую, ни сильную зараженность особей, которые в данный момент предаются муравьению, нельзя признать вескими аргументами в пользу или против его антипаразитарной функции. До сих пор специалисты в этой области [7, 8] в качестве единственного свидетельства губительности муравьения для эктопаразитов в природных условиях приводят наблюдение паразитолога В.Б.Дубинина [3]. Летом 1943 г. в Забайкалье ему удалось добыть четырех коньков Годлевского (*Anthus godlewskii*), которые перед этим на протяжении 20—40 мин вылавливали рыжих лесных муравьев и натирали ими маховые перья. Ученый собрал с них более 700 экземпляров перьевых клещей (одного вида), из которых 12% оказались уже мертвыми, а более трети живых погибли в течение ближайших 24 ч. Среди клещей, собранных почти в таком же количестве для контроля с других четырех коньков, которые муравьением не занимались, отход за аналогичный отрезок времени составил менее 1%. Однако результаты других (впрочем, тоже единичных) наблюдений в природе [3] и экспериментов с живыми птицами [8] свидетельствуют не в пользу представлений об антипаразитарной функции активного муравьения.

Муравьиная кислота — не только инсектицид и акарицид. Она обладает также бактерицидными и фунгицидными свойствами. Высказывалось мнение, что функция муравьения может заключаться в подавлении вредных для оперения птиц бактерий или грибов. Однако в лабораторном эксперименте вытяжка из тел муравьев, в отличие от чистой муравьиной кислоты, не оказала ингибирующего воздействия на эти две группы организмов [15]. Судя по всему, муравьиная кислота эффективна в этом качестве лишь при самых высоких концентрациях в лабораторных условиях. Между тем, как уже отмечалось, секрет муравьев семейства Formicidae представляет собой ~50%-ю смесь этой кислоты с водой.

Неудачи при попытках экспериментально доказать эффективность муравьения против эктопаразитов поддерживают интерес к иным объяснениям, например к гипотезе, впервые высказанной еще в 1936 г. шведским специалистом А.Адлерспарре. На основании результатов экспериментов он заключил, что процедура активного типа имеет целью удалять из тел муравьев перед употреблением их в пищу секрет, содержащий муравьиную кислоту. Данную точку зрения сразу принял один из ведущих орнитологов того времени Э.Штрессманн (до этого склонявшийся к версии обработки оперения против эктопаразитов), с которым категорически не соглашался авторитетный австралийский натуралист, энтузиаст изучения муравьения А.Х.Чисхольм [2]. Недавно были представлены новые экспериментальные подтверждения гипо-

тезы А.Адлерспарре [13, 18], фактически подразумевающей, что птицы используют свое оперение в качестве промокашки. Несмотря на кажущуюся убедительность результатов этих экспериментов применительно к задействованным в них объектам (обыкновенным скворцам и муравьям *Formica rufa*, голубым сойкам и муравьям *F.exsectoides*), они явно не согласуются с прочими «сценариями» муравьения. Как уже говорилось, не все используемые птицами муравьи секретируют муравьиную кислоту, а активный способ проведения процедур далеко не всегда сопровождается поеданием муравьев [4–7, 10]. Данная гипотеза не объясняет ни

многочисленных случаев натирания оперения теми «заменителями» муравьев, которые непригодны в пищу, ни смысла пассивного муравьения.

* * *

Литература о муравьении содержит удивительные детали, богата противоречиями и альтернативными суждениями. Загадка этого поведения оказалась более сложной, чем представлялась поначалу. Вопрос о его функциях, которых, возможно, сразу несколько, все еще остается без ответа. И сейчас муравьение выглядит не менее таинственным, чем три четверти века назад. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-04-00941-а), программ ведущих научных школ РФ (НШ-3807.2012.4), а также Президиума РАН («Живая природа: современное состояние и проблемы развития», «Проблемы происхождения жизни и становления биосферы»).

Литература

1. McAtee W.L. Anting by birds // Auk. 1938. V.55. №1. P.98–105.
2. Chisbolm A.H. The problem of «anting» // Ibis. 1944. V.86. №3. P.389–405.
3. Дубинин В.Б. Перьевые клещи (Analgosidea). Ч.1: Введение в их изучение // Фауна СССР. Паукообразные. Т.6. Вып.5. М.; Л., 1951.
4. Simmons K.E.L. A review of the anting-behaviour of passerine birds // British Birds. 1957. V.50. №10. P.401–424.
5. Simmons K.E.L. Anting and the problem of self-stimulation // Journal of Zoology. 1966. V.149. Part 2. P.145–162.
6. Whitaker L.M. A resume of anting, with particular reference to a captive *Orchard Oriole* // Wilson Bulletin. 1957. V.69. №3. P.195–262.
7. Craig A.J.F.K. Anting in Afrotropical birds: a review // Ostrich. 1999. V.70. №3–4. P.203–207.
8. Clayton D.H., Koop J.A.H., Harbison C.W., Moyer B.R., Bush S.E. How birds combat ectoparasites? // The Open Ornithology Journal. 2010. V.3. P.41–71.
9. Goodwin D. Interspecific differences in the anting movements of some corvine birds // Ibis. 1953. V.95. №1. P.147–149.
10. Poulsen H. A study of anting behaviour in birds // Dansk Ornithologisk Forenings Tidsskrift. 1956. Årg.50. H.4. P.267–298.
11. Hauser D.C. Comparison of anting records from two localities in North Carolina // Chat. 1973. V.37. №4. P.91–102.
12. Weldon P.J., Carroll J.F. Vertebrate chemical defense: secreted and topically acquired deterrents of arthropods // Insect Repellents: Principles, Methods, and Uses / Eds M.Debboun, S.P.Frances, D.Strickman. Boca Raton, 2007. P.47–76.
13. Eisner T., Aneshansley D. «Anting» in Blue Jays: evidence in support of a food-preparatory function // Chemoecology. 2008. V.18. №4. P.197–203.
14. Braekman J.C., Dalozze D. Defensive alkaloids from ants // Journal of the Brazilian Chemical Society. 1996. V.7. №4. P.251–256.
15. Revis H.C., Waller D.A. Bactericidal and fungicidal activity of ant chemicals on feather parasites: an evaluation of anting behavior as a method of self-medication in songbirds // Auk. 2004. V.121. №4. P.1262–1268.
16. Дубинин В.Б. Перьевые клещи (Analgosidea). Ч.3: Семейство Pterolichidae // Фауна СССР. Паукообразные. Т.6. Вып.7. М.; Л., 1956.
17. Формозов А.Н. Звери, птицы и их взаимосвязи со средой обитания. М., 1976.
18. Judson O.P., Bennett A.T.D. Anting as food preparation: formic acid is worse on an empty stomach // Behavioral Ecology and Sociobiology. 1992. V.31. №6. P.437–439.

К новой парадигме геологии

Памяти замечательного российского геолога Льва Павловича Зоненшайна посвящается

М.И.Кузьмин

Наконец настало время выполнить наказ моего друга и учителя — крупнейшего геолога 20-го столетия Л.П.Зоненшайна. Исполнить также и мою мечту последних 20 лет. А именно рассказать о глубокой геодинамике — о возникновении, развитии плюмового магматизма и его роли в формировании поверхностных структур Земли и в металлогении.



Михаил Иванович Кузьмин, академик РАН, директор Института геохимии им.А.П.Виноградова СО РАН с 1988 по 2012 г., в настоящее время советник РАН. Ведущий специалист в области геохимии, геодинамики и петрологии. Один из создателей нового направления в геологии — химической геодинамики. Лауреат Государственной (1997) и Демидовской (2007) премий.

Посвящение в тектонику литосферных плит

После окончания Московского университета в 1960 г. мой учитель В.С.Коптев-Дворников направил меня в Иркутск, в Институт геохимии СО АН СССР, чтобы я смог участвовать в становлении и развитии петрологии и геохимии в Сибири.

Я начал работать в Забайкалье, изучал мезозойские граниты, с которыми связаны основные минеральные богатства этого края. В 1966 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1967 г. Лев Владимирович Таусон — прекрасный ученый, директор нашего института, мой учитель по геохимии и жизни — направил наш небольшой отряд (меня, В.И.Коваленко, А.В.Горегляда и водителя В.И.Мансурова) в Монголию. Там начинала работать Советско-монгольская экспедиция АН СССР и АН МНР.

Нам очень повезло. В экспедиции участвовали выдающиеся геологи России — А.Л.Яншин (научный руководитель), А.П.Лу-

чицкий, М.С.Нагибина, Н.С.Зайцев (начальник экспедиции) и многие другие. Общение с этими замечательными специалистами было для меня подарком судьбы.

В Монголии мы познакомились и с Зоненшайном — «звездой первой величины мировой и уж тем более советской геологии», как писал о нем академик А.С.Монин [1]. Наше общение началось в 1968—1970 гг., когда мы (геохимики) изучали внутреннее строение массива, а Зоненшайн уточнял его (массива) структурное положение и место среди геологических структур соответствующего возраста. Постепенно наша работа переросла в многолетние творческие контакты, а затем и в дружбу, которая продолжалась почти 25 лет.

В начале 70-х годов под руководством Зоненшайна мы начали анализ магматизма Монголо-Охотского пояса, прослеживая разновозрастные породы от Тихого океана до центра Азии, т.е. изучали смену вещественного состава магматических пород по латерали. В 1973 г. вышла наша первая совместная статья [2], которая в дальнейшем была опубликована в европейском журнале «Earth Planet Science Letters». Лев Павлович хорошо знал положения тектоники литосферных плит, разработанной на Западе (в Англии, Франции, США) в 1961—1968 гг. В нас он нашел хороших учеников, быстро принявших эту гипотезу, а затем и теорию. В работе по магматизму и металлогении Монголо-Охотского пояса всю активность на континенте мы связывали с процессами взаимодействия плит на границе Тихого океана с Азиатским континентом. Вскоре у Льва Павловича появилась идея написать книгу о новой глобальной тектонике и связи тектоники с магматизмом и металлогенией. Он привлек к этой работе меня и В.М.Моралева — специалиста по металлогении и древним докембрийским комплексам. Я отвечал за магматизм — главный показатель различных геодинамических обстановок, связанных с границами плит. «Глобальная тектоника,



Лев Павлович Зоненшайн (1929—1992).

магматизм и металлогения» вышла в 1976 г. [3]. Очень емко о нашей работе в статье, посвященной памяти Льва Павловича, написал Моралев: «Книга получила быстрое и широкое признание в самых обширных кругах геологической общности нашей страны и, как мне кажется, для очень многих сыграла решающую роль в ознакомлении с новой концепцией и выработке убежденности в ее приемлемости для геологиче-



Л.П.Зоненшайн и О.Г.Сорохтин за обсуждением проблемы зарождения океанов после исследования рифта Красного моря. 1986 г.

ского анализа. Мне кажется, что созданием этой книги Лев Павлович внес столь значительный вклад в развитие русской геологической школы и раскрепощение научного мышления геологов нашей страны, как никто другой» [1].

В 1974 г. Зоненшайн перешел на работу в Институт океанологии АН СССР. Он стал активным участником многочисленных океанологических экспедиций, которые (особенно с тех пор, как на вооружение наших научных судов поступили обитаемые подводные аппараты «Пайсис» с максимальной глубиной погружения 2000 м, а затем «Мир» с глубиной погружения до 6000 м) дали Льву Павловичу большой оригинальный материал. Теперь он мог сравнивать данные по современным океанам с породами офиолитовых комплексов, представляющих остатки прежних океанических пространств. Всегда после погружений он подробно рассказывал о том, что видел и как его наблюдения соотносятся с нашими геологическими знаниями о древних океанах.

Тектоника плит долгое время оставалась непризнанной среди геологов нашей страны. Мюнин (в то время директор Института океанологии) вспоминал разговор с известным геохимиком (директором Института геохимии и аналитической химии им.В.И.Вернадского) В.И.Барсуковым: «Он заявлял, что признает спрединг (разрастание океанического дна), но отрицает субдукцию (погружение литосферных плит в мантию), а на мое замечание, что тогда придется признать очень быстрое расширение Земли, не допускаемое никакими уравнениями состояния ее вещества, отвечал, что тем хуже для этих уравнений» [1].

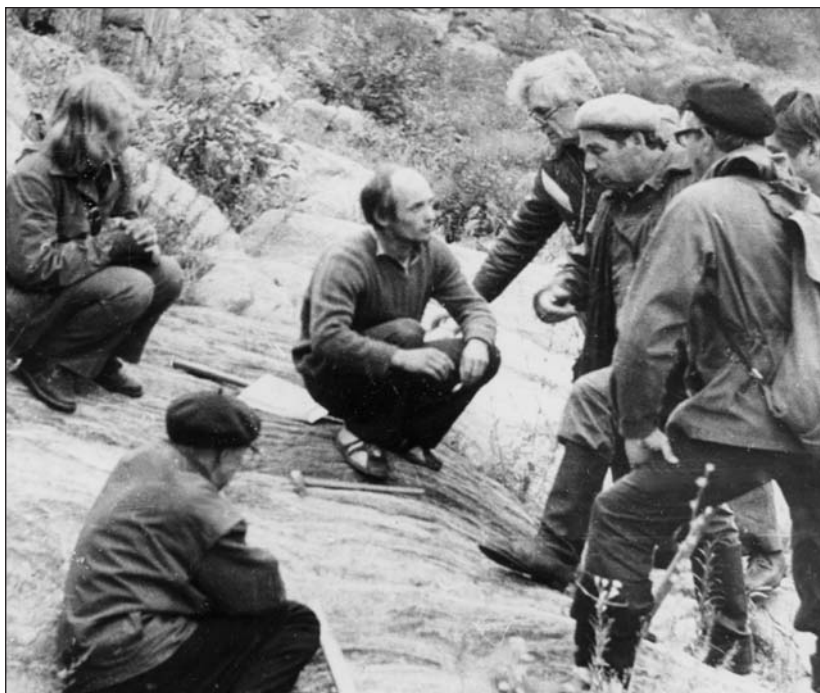
Но в 90-х годах положение с тектоникой плит изменилось к лучшему — во многом благодаря активной позиции Зоненшайна. В начале 80-х годов вместе с уральскими геологами, с участием океанологов, геофизиков и геохимиков была проведена большая экспедиция по изучению Палеоуральского океана, а в конце 80-х годов — по океану Тетис. Лев Павлович часто выезжал в разные «геологические центры» Советского Союза, где выступал с лекциями, проводил семинары или рабочие совещания по проблемам тектоники плит. Большое значение для укрепления этой теории имело ежегодное Тектоническое совещание в Звенигороде, которое собирало большое количество наших геологов, а также до 100 специалистов из западных стран. Все это привело

к тому, что в России в 90-х годах большинство геологов признавали тектонику плит и старались применять ее положения при своих исследованиях. А в 1990 г. в России и в том же году в Америке вышла «Тектоника плит территории СССР» [4]. В этой работе рассматривается геология и история становления структур территории Советского Союза (а вернее, северной и восточной Азии) с применением тектоники плит. Это была первая (и пока единственная) книга, в которой представлены все геологические материалы огромной территории с позиций новой теории. Именно поэтому она привлекла внимание многих специалистов мира. Эта работа показала, что русские геологи понимают тектонику плит и используют ее для расшифровки геологии своей страны. Этот труд, несомненно, — главный итог в работе Льва Павловича над применением теории тектоники литосферных плит в геологии. Мы доказали, что в интерпретации геологических данных по огромной территории можем идти «вперед планеты всей».

Исследование горячих точек

Еще в 1963 г., когда только создавались основы тектоники плит, Т.Уилсон (Т.Уилсон) обратил внимание на действующие вулканы, которые располагаются внутри океанических плит и образуют цепи, ориентированные противоположно по отношению к вектору перемещения океанической плиты. Было сделано предположение, что вулканические цепи связаны с горячими точками мантии, прожигающими литосферу по мере ее прохождения над ними. Принципиальное отличие горячих точек от литосферных плит в том, что последние перемещаются по астеносфере, и потому они занимают на поверхности Земли в разное время разные географические позиции. Горячие же точки долгое время сохраняют свое положение относительно абсолютной системы географических координат.

Породы горячих точек представляют собой продукты внутриплитового магматизма. Они резко отличаются от вулканитов, связанных с границами литосферных плит. Состав тех или других пород определяется типом геодинамических обстановок. Для внутриплитовых магматических образований типичны ассоциации пород повышен-



В экспедиции по изучению Палеоуральского океана. Урал, Мугаджары. Начало 80-х годов.

ной щелочности, которые включают в первую очередь базальты, обогащенные литофильными химическими элементами, более свойственные земной коре и нехарактерные для верхней мантии.

В океанах внутриплитовый магматизм представлен главным образом базальтами океанических плато и островов, которые выделяются в особый геохимический тип — OIB (Ocean Island Basalt). К их составу близки базальты трапповых провинций, яркий пример которых — траппы Сибирской платформы.

На семинарах в Иркутске с участием Льва Павловича мы детально рассматривали и сравнивали геохимические особенности базальтов горячих точек и срединно-океанических хребтов (СОХ). Базальты СОХ представляют собой продукт выплавки из вещества астеносферы, т.е. верхней мантии. Мы же убеждались, что в составе базальтов океанических островов принимает участие вещество нижней мантии.

К началу 70-х годов гипотезу горячих точек приняли многие исследователи, считавшие их геохимическими аномалиями. В основном сторонники этой концепции полагали, что магматические породы, сформированные горячими точками, связаны с «пятнами» разогретой астеносферы, которые подпитываются мантийными струями, или плюмами, поднимающимися из глубин нижней мантии (возможно, от границы ядро—мантия). Узкие (150 км в поперечнике) струи пронизывают всю толщу мантии, оставаясь неподвижными на протяжении десятков миллионов лет.

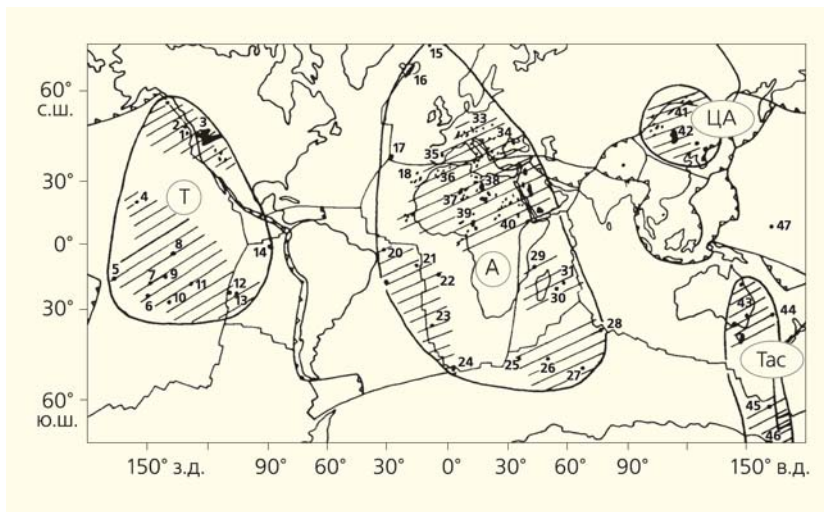


Схема расположения горячих полей мантии Земли. Буквами обозначены поля: Т — Тихоокеанское, А — Африкано-Атлантическое, ЦА — Центрально-Азиатское, Тас — Тасманское.

Наиболее хорошо эта гипотеза объясняла цепь вулканов Гавайско-Императорского хребта. Но в то время представление о горячих точках никак не увязывалось с глубинным строением нашей планеты.

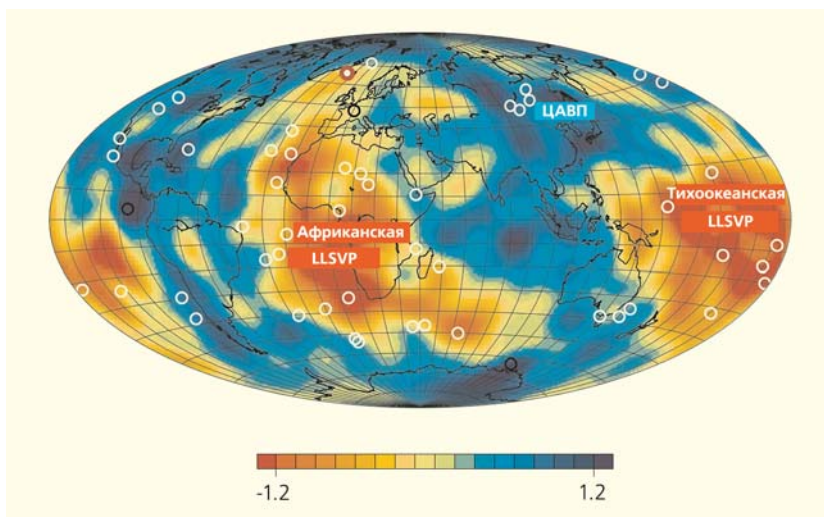
Осенью 1982 г. (на следующий день после защиты мной докторской диссертации) Зоненшайн предложил вместе с ним рассмотреть закономерности распространения горячих точек, чтобы выявить их связь с определенными глубинными структурами Земли. Наш подход к этой проблеме был исключительно простым — проанализировать распределение на земной поверхности продуктов внутриплитового магматизма возрастом

0–15 млн лет. Мы установили такие четыре области: две большие (до 10 тыс. км в поперечнике) — Тихоокеанская и Африканская, а также две малые — Центрально-Азиатская и Тасманская, по размерам сопоставимые с литосферными плитами [5]. Области распространения внутриплитового магматизма названы нами горячими полями мантии Земли. Они совпадают с крупными положительными аномалиями в рельефе, а также с положительными отклонениями формы геоида. Учитывая это, а так же судя по геохимическим особенностям внутриплитовых магматических пород, мы поняли, что таким областям отвечают аномалии вещественного состава, очевидно обусловленные подъемом к поверхности Земли вещества нижней мантии. Между ними располагаются холодные поля (связанные с зонами поглощения литосферных плит — зонами субдукции) опускающегося в мантию вещества литосферы. Соответственно, вырисовывается и система конвекционных течений мантии. Если процессы, происходящие в верхних оболочках, определяются тектоникой литосферных плит, то выделение горячих полей говорит о более глубоких процессах.

Но окончательно понять природу и структуру горячих полей позволило только развитие сейсмоотографии в конце 70-х — начале 80-х годов. Тогда при анализе скоростей прохождения сейсмических волн через тело Земли

смогли выделить в мантии крупные области как с низкими, так и с повышенными значениями скоростей. На Земле существует две большие мантийные провинции с низкими значениями скоростей сейсмических волн: Африканская и Тихоокеанская, причем низкоскоростное мантийное вещество прослеживается от низов до верхов нижней мантии. Проекция низкоскоростных мантийных значений на поверхности Земли совпадают с горячими полями мантии, что позволило в начале XX в. В.Е.Хайну заявить: «Открытие горячих полей мантии Земли принадлежит советским геологам».

Лев Павлович понимал, что геология — наука историчес-



Африканская и Тихоокеанская низкоскоростные мантийные провинции (LLSVP), выделенные на основе сейсмоотографии. ЦАВП — Центрально-Азиатские внутриплитовые породы.

кая. Это касалось как тектоники плит (т.е. процессов, происходящих на границе плит), так и тектоники плюмов. Зоненшайн всегда считал необходимым посмотреть, как становление, развитие и закрытие океанов зафиксировано в оставшихся горно-складчатых сооружениях. Неслучайно мы выполнили палеогеодинамические реконструкции для территории СССР и сопредельных регионов на весь фанерозой [4]. Очевидно, что для абсолютных реконструкций необходимо привлечение положения внутриплитовых магматических пород, связанных с долгоживущими горячими точками.

Много внимания в 80-х годах мы уделяли подводным исследованиям в океанах, участвуя в экспедициях (под руководством А.П.Лисицына) и изучая офиолиты — океаническую кору геологического прошлого. Летом 1991 г. была организована экспедиция с «Пайсисами» на Байкале. В середине августа Зоненшайн уехал в Москву, а в сентябре мы планировали поехать в Китай, где намечалась интересная экскурсия по офиолитам. В начале сентября мне позвонили из Москвы и сообщили, что с Лёвой плохо и в конце месяца его должны оперировать в Институте нейрохирургии им.Н.Н.Бурденко.

За два дня до операции Лев Павлович написал обращение к международному совещанию по тектонике плит в Звенигороде.

Вот несколько отрывков из этого документа.

Моя глубокая печаль — не быть на этой конференции. Как и все предшествующие, конференция замысливалась для того, чтобы современное знание и идущая вперед наука о Земле распространились как можно шире среди геологов, населяющих прежний Советский Союз, и чтобы новые концепции вошли, так сказать, внутрь нашего повседневного мышления и рабочей деятельности. Мое страстное желание, чтобы геологи и вообще ученые оставались вместе, не значит на одной позиции, но на одном общем желании познать неизвестное...

Мое же убеждение, и я знаю, что не только мое, но и многих других, и у нас, и за рубежом, что тектоника плит — это законченный и пройденный этап в развитии наук о Земле. Тектоника плит, конечно, прекрасная теория, она в совершенстве описывает геологические преобразования верхних оболочек Земли. Но она и ограничена верхними оболочками...

Мы стоим, и в этом, может быть, моя уверенность наивна, на пороге нового огромного здания. Откроем наши глаза, соединим наши усилия, направим наше мышление для проникновения глубже и глубже в Землю и в познание. Мое огромное желание, как человека, родившегося и выросшего в данной стране, как геолога, ее изучавшего, чтобы научный прогресс не покинул нас и на просторах Евразии. Желаю успеха Звенигородской конференции.

В тот же день он написал и мне. Это письмо я рассматриваю как его завещание — продолжить начатые с ним, под его руководством, исследования по глубинной геодинамике.

Дорогой Миша!

Очень жаль, что до всех событий я не увижу тебя. Тем для разговоров, конечно, много, но в этом письме я хотел бы, может быть, излишне пространно, коснуться лишь одной темы, самой, по-моему, общей, и только потому пишу об этом, так как нет никакой уверенности, что потом буду способен на это.

Тему эту можно, конечно, назвать глубинной геодинамикой, но не в названии дело. Мы ее с тобой касались и касаемся в Hot field-статьях, и тебе ее не надо разъяснять. Надо понять причину активности Земли (и других планет земной группы). Неслучайно на международных конференциях уже очень много симпозиумов на тему mantle-core boundary, D'' layer activity, outer core dynamics и т.д., и т.д. Два других направления ты, конечно, ясно представляешь — seismic tomography and isotopic geochemistry (или geodynamic geochemistry).

Но главное, почему я пишу, — как мы можем развивать хоть что-то подобное на создание общей теории у нас в стране... Меня не покидает опасение, что у нас нет людей, способных не то что это проиступить, но хотя бы понять все то, что сейчас происходит с науками о Земле...

Поэтому задача №1: найти 1, 2 или 3 молодых парня (девицы) поистине толковых, поистине разносторонних, поистине увлеченных... Эти молодые люди должны быть грамотными и иметь разносторонний ум.

Задача №2 я вижу в постановке научных проблем. Они, собственно, перечислены выше, но главными являются: (1) взаимодействие внешнее ядро — мантия, (2) слой D'' и его геодинамика, (3) обмен и потоки вещества ядро — нижняя мантия — верхняя мантия, (4) глубинная геохимия и geochemical signature, (5) историческая геохимия и историческая геодинамика, начиная с аккреции Земли до сегодня. Совсем не упомянул внутреннее ядро, ничего почти не знаем о нем, а может быть, outer inner core interactions — главное?

Задача №3, увы, организационная, как найти деньги на зарплату, на компьютеры и поездки за границу.

Уверен, что международное научное сообщество с этими задачами справится, а мы выпадает. Большая просьба как-то все же действовать, чтобы моя уверенность (в смысле нашего выпадения) оказалась напрасной.

Твой Лев

P.S. За эти пять дней в больнице такого не смотрелся и пережил, что веры остается у меня все меньше и меньше.

25 октября 1991

Операция прошла успешно, врачи подарили Льву Павловичу еще год жизни. Он съездил в Америку. Он почувствовал пульс геологической жизни в ряде университетов США, в которых читал лекции. Поздней весной 1992 г. вернулся в Москву и продолжал активно работать над Палеогеографическим атласом СССР. Мы с ним написали последнюю нашу совместную статью, в которой, используя современные данные, описали горячие поля мантии, а также наметили направления работ — вопросы, которые необходимо учитывать при разработке общей теории глубинной геодинамики Земли [6]. Эта работа стала расширенным вариантом задач, поставленных Зоненшайном в последнем письме ко мне.

«Лихие 90-е»

В 1989 г. меня избрали директором Института геохимии им. А. П. Виноградова. Осенью того же года умер Л. В. Таусон. Я отвечал за развитие нашего института, который мне передал его первый директор. Начало 90-х — распад Советского Союза, резкий спад экономики России. Будущее Академии наук неясно. В некоторых республиках академии ликвидировали. Финансирование институтов сильно упало. Наконец, в 1993 г. приняли решение об организации РАН — преемника АН СССР. Но это не спасло положения. Мне, как директору, необходимо было что-то делать. Надо было решаться на крупный международный проект, который помог бы сохранить институт. К сожалению, при нашем имеющемся тогда аналитическом оборудовании работы по глубинной геодинамике в полной мере выполнить мы не могли. В то время у мирового научного сообщества большой интерес вызывали проблемы окружающей среды, в частности проблемы палеоклимата. Прекрасным полигоном для исследований, конечно, был Байкал с его многокилометровой осадочной толщей. Я никогда не занимался изучением осадков, особенно использованием их геохимических особенностей для расшифровки палеоклимата, но все-та-

ки решил взяться за «Изучение палеоклимата кайнозоя на основе бурения осадков озера Байкал» («Байкал-бурение»). Именно этот проект был выбран для работ по международному сотрудничеству с американскими коллегами.

В 1989 г. после окончания Геологического конгресса в Вашингтоне профессор Даг Вильямс пригласил нас в Университет Северной Каролины. Там мы подписали протокол о намерении. Американские геофизики вместе с группой С. Гольмштока из Южного отделения Института океанологии проводили сейсмопрофилирование Байкала. Эти работы должны были подготовить места для бурения.



Буровой комплекс на Байкале. Вверху — бурение скважин по проекту «BDP-98», внизу — в плену у ледовых торосов. 1996 г.

Фото автора

ния мощных осадочных толщ. Руководство бурением и обработку полученного материала взяли на себя мы с Дагом.

Работы по эндогенной геохимии должны были подождать. Мне как можно быстрее надо было изучить и понять задачи исследования геохимии осадков для реконструкции палеоклимата. На все про все мне отводилось год-полтора. А кроме того, необходимо было ознакомиться и с техникой бурения, в частности бурения со льда — самого дешевого способа проведения таких работ на глубочайшем Байкале. Все это оказалось не просто. Мы должны были выйти зимой перед самым началом ледостава (т.е. еще по чистой воде), встать в нужную точку и... замерзнуть. Решили разместить буровое оборудование на барже и приписать к нам на всю зиму судно сопровождения.

В конце 80-х годов директором Лимнологического института СО РАН стал М.А.Грачев. Он организовал Байкальский международный экологический центр, который привлек много иностранных ученых для всестороннего изучения озера. Благодаря этому международное сотрудничество охватило и другие институты Иркутского научного центра СО РАН. По проекту «Байкал-бурение» к нам присоединились японские коллеги. Комитет программы возглавили три сопредседателя: Д.Вильямс (США), Т.Каваи (Япония) и я. Самая главная моя задача состояла в достижении равенства участников трех стран в решении главных вопросов. Учитывая, что основное финансирование осуществляли Япония и Америка, а затраты на один сезон бурения составляли 850—1000 тыс. долл., это было непросто. Но мы смогли договориться. Архив керна остается в России, и первая статья по каждому бурению будет публиковаться в журнале «Геология и геофизика». Руководил зимней экспедицией я. Мы пробурили пять кустов скважин. Оборудование монтировалось на барже, которая представляла собой маленький буровой «завод». Два раза баржа получала пробоины при торошении льда. Ремонт проводили на месте. Выход керна составлял 95—98%. Зимой к нам приезжали представители Комитетов океанического и континентального бурения. Они отмечали хорошую организацию экспедиции. В результате этих работ был получен уникальный материал и сделаны очень важные выводы. Мы поняли, что появление здесь 2.5 млн лет назад горных ледников связано с орогеническими движениями, в частности с ростом молодых гор. Анализ керна из скважин Академического хребта показал, что за последние 6.6 млн лет Байкал представлял собой глубоководный рифтовый бассейн, а грубозернистые осадки глубоких котловин — это продукты турбидитных потоков, несущихся со склонов озера, когда их спокойствия нарушают землетрясения.

Наконец-то стало стабильным финансирование. Мы смогли купить новое аналитическое оборудование. В институте появилась молодежь. Все это позволило мне вернуться к отложенным работам.

Возвращение к глубинной геодинамике

Систематически я начал заниматься проблемами глубинной геодинамики в 2009 г. В последние годы произошло много важных открытий и уточнений. Уже было четко установлено существование больших мантийных низкоскоростных и высокоскоростных провинций. Последние ассоциируются с холодными областями, в которых происходит опускание в зонах субдукции и поглощение мантией литосферных плит. Поглощаемая литосфера частично остается на границе верхней и нижней мантий, а частично погружается до слоя D''. Большое значение для понимания процессов глубинной геодинамики имело открытие в 80-х годах прошлого столетия этого слоя мощностью 150—350 км. Он расположен в подошве мантии и характеризуется высоким градиентом температуры — 4000°С на подошве и 3000°С на его верхней границе. Именно через слой D'' происходит взаимодействие мантии с ядром.

Погрузившееся в слой D'' вещество литосферы формирует частично расплавленные массы, которые служат зародышами поднимающихся к поверхности Земли плюмов. Горячее вещество суперплюмов в виде огромного облака проходит через нижнюю мантию, распадаясь на ряд изолированных плюмов — горячих точек в верхней мантии и литосфере.

Открытие в 2002—2004 гг. перехода перовскита CaTiO_3 (основного минерала нижней мантии) в постперовскит MgSiO_3 — фазу с более плотной кристаллохимической упаковкой [7] — позволило понять значение слоя D''. Экспериментальные данные показывали, что существующие сегодня в недрах Земли температуры соответствуют образованию постперовскита (его плотность на 1.2% выше, чем у перовскита) на глубине 2600—2900 км, т.е. в слое D''. Оценки термической эволюции недр планеты [7] позволяют сделать вывод о формировании постперовскита после существенного охлаждения Земли, примерно 2.3 млрд лет назад. Именно тогда начинают быстрее расти континенты, т.е. начинает «работать» тектоника плит, аналогичная современной.

В то время резко изменилась конвекция в мантии. В древней Земле (когда в слое D'' еще не было постперовскита) подъем горячего вещества от границы ядро—мантия происходил примерно таким же образом, каким горячая вода начинает подниматься со дна нагреваемого сосуда. Затем (когда образовался постперовскит) мантийное вещество стало поступать в виде отдельных струй. В глубинах Земли образовалась двухслойная конвекция. Один слой связан с нижней мантией, другой — с верхней [7]. Именно верхняя конвекция и определяет движение литосферных плит [5].

Важно подчеркнуть, что этот интервал (~2 тыс. млн лет) в эволюции Земли характеризуется формированием деплетированного («истощенного»,

обедненного кремнеземом, щелочами, ураном, торием, редкоземельными элементами и др.) слоя мантии, что подтверждается изотопными характеристиками мантийных пород. Именно 2 млрд лет назад отмечается массовое появление гранитов рапакиви с максимальной концентрацией литофильных элементов.

Большое значение имеет доказательство связи тектоники плит с тектоникой плюмов, убедительным аргументом существования этой связи служат процессы образования суперконтинентов и суперплюмов в единых циклах. При эволюции нашей планеты возникали суперконтиненты, объединяющие практически все континентальные массы Земли. В дальнейшем они разрушались под действием суперплюмов.

Благодаря субдукции, свойственной окраинам суперконтинентов, обломки литосферных плит концентрируются главным образом между верхней и нижней мантиями, но значительная их часть погружается в низы мантии, где взаимодействует со слоем D''. Плюмы — продукты неустойчивости слоя D'' — поднимаются вверх и воздействуют на суперконтиненты, разрушая их. Схематично это можно представить в виде модели, предложенной в 2009 г. Ш.Ли и Ш.Шонгом. Сначала из большого количества континентов и малых континентальных блоков происходит формирование суперконтинента. Субдуцированные плиты накапливаются в переходном слое на границе верхней и нижней мантий, образуя слой, обогащенный литосферным веществом и содержащий высокое количество воды. Обломки литосферы погружаются в нижнюю мантию, в слой D'', и образуют выступы, которые и становятся прородителями суперплюмов. Поступление из жидкого внешнего слоя ядра летучих компонентов углерода, водорода, кислорода и серы, как и переход постперовскита в менее плотный перовскит, способствуют возникновению суперплюма, поднимающегося до верхней мантии, на границе с которой он преобразуется в систему более мелких плюмов. Последние прожигают литосферу и определяют раскол суперконтинента.

Наиболее четко цикл формирования и раскола суперконтинента можно проследить на примере Родинии. Этот суперконтинент образовался около 1 млрд лет назад, а распался примерно 750 млн лет назад под воздействием расположенного под ним суперплюма. Предполагается, что одновременно с Родинийским существовал еще один суперплюм — его антипод, расположенный в океане в противоставленном секторе Земли. После распада Родинии составляющие ее континенты (в том числе и Сибирь) переместились в соответствующие области позднерифейского океана [8].

Для решения проблем глубинной геодинамики необходимо суммировать все данные, которыми мы на сегодняшний день располагаем. Академик Хаин, рассматривая проблему эндогенной

активности Земли, отмечал, что большое значение для ее понимания имеют горячие поля мантии Земли. Он писал: «Глобальная модель динамики Земли должна иметь два аспекта: актуалистический и исторический. Актуалистический аспект предусматривает учет всех современных параметров, касающихся фигуры Земли: геоида, современных вертикальных и горизонтальных тектонических движений, сейсмической и вулканической активности, современной динамики гидросферы и атмосферы и т.п. Исторический аспект должен быть основан на анализе истории Земли со времени ее образования» [9].

Закономерность становления континентов, связанная с тектоникой плюмов, детально рассматривалась во многих статьях и в нашей монографии [4]. В то же время влияние, которое оказывают плюмы на формирование континентов, оценено не было. Мы решили рассмотреть эти вопросы на примере Сибирского континента и подготовить статью для международного журнала.

Сибирь интересна для долговременных палеореконструкций, так как там отмечаются внутриплитовые породы, охватывающие по возрасту практически весь фанерозой. Определить широты Сибирского континента можно, используя палеомагнитный анализ, но он не дает долготного положения континентальных блоков. Для этого требуются дополнительные построения.

При интерпретации имеющихся палеомагнитных данных учитывалось, что после распада Родинии Сибирь попала в район существования суперплюма — антипода Родинийскому, с которым и взаимодействовала большую часть фанерозоя. Но чтобы это доказать, необходимо совместить фанерозойскую Сибирь с современной сеткой географических координат, т.е. наряду с палеомагнитными данными определить широтное ограничение дрейфа континента.

Для этого мы решили использовать Исландскую горячую точку, имеющую неизменное географическое положение в длительном интервале геологического времени. Судя по следу, оставленному этим суперплюмом в литосфере Сибири и Северной Атлантики, он однозначно существовал как минимум 150 млн лет. Кроме того, некоторые исследователи считают, что 250 млн лет назад именно этот суперплюм определил формирование Сибирской трапповой провинции. Действительно, пермо-триасовая палеоширота сибирских траппов ($62 \pm 7^\circ$) приблизительно соответствует современной географической широте Исландии ($65 \pm 2^\circ$).

Все это позволило считать, что северная граница Африканского горячего поля (суперплюма), фиксируемая Исландской горячей точкой, уже существовала 250 млн лет назад. В литературе освещалась и более ранняя страница его истории. Предполагается, что большая изверженная провинция с центром в Скагерракском грабене (Северное море), охватывающая огромную террито-

рию от Англии до Германии и Швеции, существовала около 300 млн лет назад. В то время ее центр располагался в краевой части Африканского горячего поля, вблизи его экваториальной зоны. В соответствии с этими данными, контуры Африканской мантийной провинции тогда были близки к современным. Учитывая меридиональную вытянутость Африканского горячего поля и географическую стабильность провинции (зафиксированную Исландской горячей точкой), мы предположили, что в фанерозое перемещение Сибири по широте ограничивались рамками этого горячего поля. Соответственно, меридиональные границы Африканского суперплюма (между 10° з.д. и 70° в.д.) были приняты за рамки пространства, в котором дрейфовала Сибирь.

Таким образом, Сибирь практически весь фанерозой (со времени 570 млн лет назад) находилась в пределах Африканского поля мантии, благодаря чему практически постоянно к континенту подходили большие горячие плюмы: Алтае-Саянский (с координатами $40 \pm 15^\circ$ с.ш., $\sim 360^\circ$ в.д.),

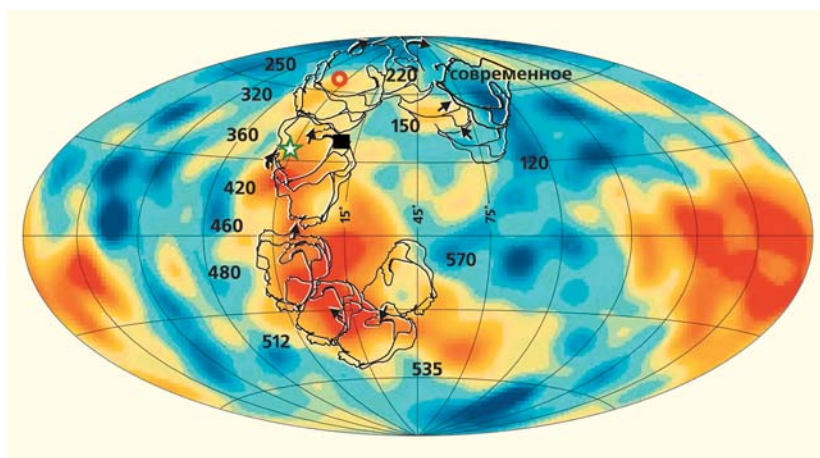


Схема миграции (дрейфа) Сибирского континента над Африканским горячим полем мантии 570—150 млн лет назад.

Вилуйский ($35 \pm 15^\circ$ с.ш., $\sim 340^\circ$ в.д.), Монгольский ($65 \pm 15^\circ$ с.ш., $\sim 25-35^\circ$ в.д.) и Исландский (65° с.ш., $\sim 342^\circ$ в.д.).

Важнейший вывод нашего исследования состоит и в том, что низкоскоростные провинции представляют собой одни из самых долгоживущих структур на Земле. Во всяком случае Африканское горячее поле мантии существует на Земле уже около 600 млн лет, а Тихоокеанское (по дан-



Участники рабочей встречи, посвященной проблеме возникновения и эволюции мантийных плюмов. Байкал, о.Ольхон. Июнь, 2013 г.

Фото автора

ным японских геологов) — ~1 млрд лет. Зарождение же, развитие и закрытие океанов составляет 300—400 млн лет. Это говорит о необходимости как можно детальнее изучать вопросы возникновения и существования горячих полей не только с точки зрения геологии и геохимии, но и в связи приуроченности к ним полезных ископаемых.

Геологическая общественность хорошо приняла нашу работу [9]. После выхода статьи в течение года на нее было сделано 35 ссылок. Мы поняли, что выбрали правильный путь.

В рамках интеграционного проекта СО РАН «Формирование крупных магматических провинций Сибири в результате плюм-литосферных взаимодействий (на основе изотопно-геохимических данных, геодинамического и теплофизического моделирования)» было решено в начале июня 2013 г. провести рабочую встречу на Байкале. В совещании приняли участие 20 человек — представители геологических институтов Москвы, Новосибирска, Иркутска, Улан-Удэ. Приведу несколько выдержек из выступлений участников.

«Мы собрались здесь затем, чтобы выяснить, какие первоочередные задачи стоят по решению проблемы плюмов; обсудить, что мы можем решить вместе».

«Основные, наиболее важные вопросы — это проблема зарождения плюмов, что вызывает их подъем из недр, основные геохимико-изотопные особенности внутриплюмовых пород».

«Если тектоника плит (парадигма 60-х годов) объясняет, как взаимодействуют верхние оболочки Земли, то сейчас мы видим, что все значительно сложнее. Идет взаимодействие всех оболочек Земли — от ядра, скорее всего, поступают легкие элементы в низ мантии (слой D''), откуда и поднимаются плюмы».

«Если говорить о прикладном значении наших работ, то с плюмами намечается связь крупных месторождений. Изучать рудную геологию невозможно, не изучая рождение, эволюцию и связь с рудными процессами мантийных плюмов».

Проведение этого небольшого, но емкого научного совещания было необходимо перед началом работ по теме: «Мантийные плюмы, и их роль в формировании структуры литосферы, крупных изверженных провинций и месторождений стратегического сырья Евразийского континента».

После завершения этих фундаментальных исследований мы планируем написать общую монографию. Это будет лучшим исполнением «завещания» Льва Павловича Зоненшайна. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 13-05-12026-офи_м), НШ — 5348.2014.5, а также интеграционного проекта СО РАН №87.

Литература

1. Лев Павлович Зоненшайн. Очерки, воспоминания. М., 1995.
2. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Коваленко В.И. и др. Структурно-магматическая зональность и металлогения западной части Монголо-Охотского пояса // Геотектоника. 1973. №5. С.3—21.
3. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Моралев В.М. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. М., 1976.
4. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. В 2 кн. М., 1990.
5. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Внутриплитовый вулканизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли // Геотектоника. 1983. №1. С. 28—45.
6. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Глубинная геодинамика Земли // Геология и геофизика. 1993. №4. С.3—12.
7. Хирозе К. Новое о составе Земли // В мире науки. 2010. №8—9. С.72—81.
8. Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V., Kravchinsky V.A. Phanerozoic hot spot traces and paleogeographic reconstructions of the Siberian continent based on interaction with the African large low shear velocity province // Earth-Science Reviews. 2010. V.102. №1—2. P.29—59.
9. Хаин В.Е. Об основных принципах построения подлинно глобальной модели динамики Земли // Геология и геофизика. 2010. №6. С.753—760.

Дэвид Лэк: две версии видообразования

Теперь я полностью изменил свою точку зрения, оценив всю силу утверждения Гаузе о том, что два вида, обладающие одинаковой экологией, не могут сосуществовать в одной и той же области.

Лэк Д. Дарвиновы вьюрки

Я.М.Галл,
доктор биологических наук
Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники РАН.

Дэвида Лэка (1910—1973), школьного учителя, ставшего впоследствии директором Оксфордского Института орнитологии имени Эдварда Грея, называют отцом эволюционной экологии. Но такое определение принижает заслуги этого крупнейшего биолога-эволюциониста. Его книга «Дарвиновы вьюрки» (1949; англ. оригинал — 1947) сыграла огромную роль в формировании эволюционного синтеза [1]. Однако никто из создателей этого направления не упомянул имя орнитолога, который в ходе изучения видообразования соединил генетику, экологию и теорию естественного отбора. Национальной академией наук США создан специальный демонстрационный зал, где по модели Лэка представлено видообразование у галапагосских вьюрков. Его исследования до сих пор служат лучшим доказательством этого процесса в природе. Его перу принадлежит много замечательных трудов по орнитологии (к тому же он — создатель ее радарной ветви), экологии и эволюционной теории.

Жизненный путь ученого можно проследить по ряду публикаций [2, 3] и по краткой автобиографии, содержащейся в рукописи, которая хранится в библиотеке Оксфордского университета. В этой статье мы остановимся лишь на небольшом, но может быть, самом важном периоде в научной жизни Лэка. Но прежде кратко о том, как представлялось видообразование в 20-м столетии.

XX век: взгляды на видообразование

К 30-м годам прошлого века уже был накоплен огромный материал по образованию географических рас, подвидов и видов. Концепция географического, или аллопатрического, видообразования многими эволюционистами считалась единственной и универсальной. Особенно популярной она стала после публикаций Э.Майра и Ф.Добржанско-

го, книга которого, вышедшая в 1937 г., сыграла исключительную роль в развитии эволюционной теории и генетики. Но ни одна из работ по теоретической и экспериментальной экологии популяций не цитируется в книге. Наряду с естественным отбором Добржанский отметил важную роль генотипического дрейфа в образовании так называемых микрогеографических рас — малых изолированных популяций на тропических островах [4]. Это позволяло натуралистам и генетикам широко использовать генотипический дрейф при изучении причин формирования таких рас и новых видов.

Представленная в книге Майра «Систематика и происхождение видов» концепция географического видообразования принимается и в настоящее время [5]. Суть ее состоит в том, что между дочерними популяциями, которые находятся в полной географической изоляции, прекращается поток генов. Популяции адаптируются под действием естественного отбора к новым экологическим условиям или изменяются в результате генотипического дрейфа и приобретают различия в морфологии, физиологии и репродукции. Репродуктивные изолирующие механизмы формируются случайно и побочно как результат различий, полученных в условиях географической изоляции. Если же популяции контактируют или в их ареалах существует зона перекрытия, то никакие процессы не протекают. Исследователь может уверенно утверждать, что изолированные популяции достигли ранга видов. Правда, прямых доказательств географической модели видообразования еще не было. Но логика, основанная на популяционном подходе, теории естественного отбора и генотипического дрейфа, убедила многих натуралистов и генетиков в широком распространении в природе этого способа образования видов. Такие взгляды на видообразование в эволюционной теории и генетике существовали перед экспедицией Лэка на Галапагосские о-ва.

Штрихи биографии

Что же за человек был Дэвид Лэк, сумевший совершить блистательную экспедицию на Галапагос, а главное — получить результаты, приведшие к важным взглядам на видообразование, пожалуй, самую трудную область в эволюционной теории?

Дэвид был старшим из четырех детей Харри Лэмберта Лэка, который происходил из семьи скромных фермеров, проживавших в Норфолке. Однако Харри стал ведущим отоларингологом и имел хирургическую практику при лондонском госпитале. Когда ему было уже более 40 лет, он женился на Кэтлин Ринд. Семья Харри Лэка жила в Лондоне в многонаселенном доме на Харли-стрит. Отец работал практически весь день и имел всего несколько каникулярных дней, поэтому уделял Дэвиду немного внимания. И с матерью, занятой работой, сын мало общался. Больше времени дети проводили с ее сестрой, незамужней профессиональной певицей, которая вместе с двумя овдовевшими бабушками забирала детей на длительные каникулы. Летом с 1920 г. по 1928 г. они жили в районе Кента, в прекрасном доме XVII в., окруженном большим садом, где Дэвид изучал своих любимых птиц.

После поочередных подготовительных школ Лондона, в 14 лет, Дэвид поступил в самую либеральную школу Норфолка, где все каникулы и свободные часы он наблюдал за птицами. Уже в школе он провел оригинальное исследование обыкновенного козодоя и обнаружил у него два вывода, а не один, как было написано в книгах, и после окончания школы подготовил на эту тему свою первую статью [6]. Тогда же он решил, что должен быть зоологом, хотя авторитетные люди ему гово-

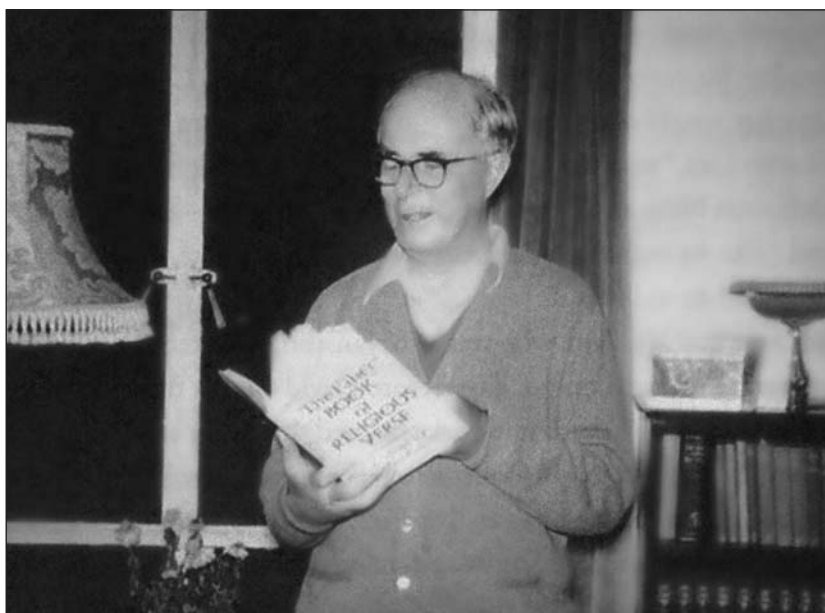
рили, что невозможно сделать карьеру в орнитологии, не отправляясь в экспедиции.

Об эволюции птиц Дэвид начал думать в 15-летнем возрасте, когда прочитал популярную книгу У.Пайкрафта. Другие вопросы естественной истории интересовали его пока мало. Но через три года на него сильно впечатление оказали статьи Дж.Хаксли об ухаживании в мире птиц, особенно статья 1914 г. о церемониях большой поганки. В последний год обучения в школе Лэк становится секретарем и редактором школьного общества по естественной истории и начинает читать лекции. Первую лекцию для взрослой аудитории, посвященную обыкновенному козодю, он прочитал в Лондоне вскоре после окончания школы. Лето 1929 г. Дэвид провел в Германии, где изучал немецкий и, конечно же, птиц, посещал концерты классической музыки. В том же году он поступил в колледж Магдалены в Кембридже и сразу начал изучать местных птиц.

В студенческие годы он — член кембриджского Клуба птиц и уже интересуется популяционными проблемами. Тогда большое влияние на него оказали книга Дж.Б.С.Холдейна «Причины эволюции» и статья Р.Фишера «Эволюция доминирования». В эти годы Дэвид опубликовал две статьи о местах размножения европейского обыкновенного козодоя. В 1933 г. выходит статья по биотопическому отбору у птиц как результат совместных с отцом наблюдений за воздействиями Бреклендского лесонасаждения на авифауну [7]. Тогда же вместе с отцом опубликовал еще одну работу [8]. Непосредственный полевой опыт орнитолога, приобретенный в этот период, позволил Лэку написать небольшую, но ценную книжку «The bird of Cambridgeshire», опубликованную в Кембридже.

К концу обучения он уяснил, сколь значима для него прочитанная им обширная орнитологическая литература и труды Э.Ховарда и Дж.Селу.

В 1933 г. Лэк стал учителем зоологии, что давало ему свободу в выборе планов и действий, способствовало его орнитологическим исследованиям в начале карьеры. Летом 1933 г. он едет на оз.Танганьика и близко знакомится с Р.Мореау, а через год посещает Калифорнию. Там у Лэка складываются дружеские отношения с американскими орнитологами, особенно с Майром, повлиявшим на его дальнейшую работу. В 1937 г. Дэвид начинает изучать территориальное поведение зарянки, или малиновки (англ. — robin). Затем он продолжает исследовать жизнь этой так любимой



Дэвид Лэк в своем кабинете. 1972 г.

в Англии птички, включая жизненные циклы и поведение. Трехлетние наблюдения за ней завершились публикацией небольшой книжки [9].

В это время Лэку оказывает покровительство Хаксли. Он советует молодому орнитологу обратить внимание на вопросы поведения и экологии, в то же время оставаясь его строгим критиком. Тогда большинство орнитологов работало с музейными образцами, лишь некоторые публиковали свои полевые наблюдения, включавшие и экологические. Это были любитель Морсау в Восточной Африке, а также профессионалы Н.Тинберген в Голландии, Дж.Гринелл в США (в Калифорнии), К.Лоренц в Австрии.

Лэк начал было изучать африканских ткачиковых, но его планы изменились после прочтения статьи П.Лове о вьюрках Галапагоса [10]. Он мечтает о путешествии на Галапагосский архипелаг, чтобы изучить эту эндемичную группу птиц. С того времени как Ч.Дарвин открыл вьюрков, а знаменитый орнитолог Дж.Гулд мастерски провел их классификацию, Галапагос стал притягателем для орнитологов, они стремились участвовать в островных экспедициях [11].

Хаксли еще в 1937 г. содействовал Лэку в получении грантов от Лондонского королевского общества и Зоологического общества Лондона на научное путешествие на Галапагосские о-ва. Он настоятельно советовал молодому орнитологу изучить различия между близкородственными видами вьюрков, хорошо понимая важность этой тематики для изучения механизмов видообразования.

3 ноября 1938 г. Лэк в компании с географом и фотографом отправился на экспедиционном судне на Галапагосский архипелаг и находился там до апреля следующего года. Затем по август 1939 г. изучил в Калифорнийской академии наук огромную коллекцию вьюрков, собранных за несколько экспедиций, а также посетил Музей зоологии позвоночных Калифорнийского университета. Измерил длину крыльев и размер клюва каждого образца, описал окраску оперения по половой принадлежности и место в коллекции. В течение следующего года Лэк обследовал почти 6400 экспонатов, включая 180 образцов вьюрков с о.Кокос и первых вьюрков, собранных Дарвином в 1835 г.

Во время пребывания в США Лэк был гостем Майра в Нью-Джерси. Орнитологи обсудили экспедиционный материал Лэка, а также общие проблемы орнитологии и теории эволюции, что и определило первую версию видообразования вьюрков. По совету Майра Лэк изучил их коллекции в Американском музее естественной истории, измерил также около 100 домашних воробьиных и написал короткую статью о географических вариациях видов, обитающих в Северной Америке.

В сентябре 1939 г. Лэк возвратился на родину и сразу же начал работу над книгой «The Galapagos Finches (Geospizinae): A study in varia-



Дэвид Лэк с женой Элизабет на Ямайке. 1971 г.

tion» («Вьюрки Галапагоса. Изучение вариации»). Рукопись он закончил уже в мае 1940 г., но из-за войны ее издание было надолго задержано. Лэк быстро оценил ситуацию и в сжатом виде опубликовал короткую статью в «Nature» [12]. Вышедшая через пять лет монография включала результаты не только полевой работы на Галапагосском архипелаге, но и музейных измерений крыльев и клювов [13]. Именно эти результаты позволили обнаружить некоторые модификации в таксономии и обсудить процесс видообразования у вьюрков. По названию работы видно, что Лэк уделил особое внимание вариациям. Клювы некоторых видов, широко распространенных на архипелаге, на островах отчетливо различались. Сопоставляя эти данные с доминирующим представлением о неадаптивном характере подвидовых различий у птиц, вызываемых главным образом генотипическим дрейфом, он заключил: «Доказательства в пользу того, что различия между островными формами каждого вида Geospizinae имеют адаптивное значение, отсутствуют» [13, p.116].

Через всю книгу проходит довольно жесткая критика адапционизма. Лэк не соглашается с утверждением Дарвина, что на разных островах естественный отбор будет благоприятствовать раз-

ным формам. «Не существует доказательства в пользу предположения Дарвина. Фактически не существует доказательства, что на каком-либо острове формы *Geospizinae* обладают адаптивными различиями или, точнее, что различия между формами носят адаптивный характер» [13, p.117].

Лэк безоговорочно принял концепцию географического видообразования и признал основное значение «эффекта Райта» в дифференциации подвидов и видов. В монографии Лэка имеется раздел под названием: «Функция межвидовых различий в размерах клюва» [13, p.119–121]. Но ни о каких экологических функциях речи нет. Лэк писал: «Подобно другим видам, близкородственные виды *Geospizinae* отличаются главным образом в размерах клюва и менее отличаются в размерах тела. Не существует доказательств, что эти различия связаны каким-либо образом с различиями в потребляемой пище, способе ее добычи или другими различиями в образе жизни видов» [13, p.119]. Лэк целиком принял концепцию географического видообразования и репродуктивных изолирующих механизмов. Личное участие в ее создании он видел в своем предположении, что различия в размерах и форме клюва у вьюрков есть часть репродуктивных изолирующих механизмов, так как служат фактором узнавания представителей одного вида.

Лэк ничего не написал о роли естественного отбора в процессах видообразования, но поблагодарил Майра и Райта, с которыми обсуждал рукопись или делился с изложенными в ней идеями. Это дает право заключить, что Лэк стремился подтвердить концепцию репродуктивных изолирующих механизмов и географическую модель видообразования Добржанского и Майра. У Лэка, в его первой эволюционной версии видообразования, речь не идет ни о каком синтезе генетики, экологии и систематики. Экология популяций и видов просто отсутствует. Концепцию Лэка еще можно назвать нейтралистской, так как генотипическому дрейфу он отводил решающую роль в видообразовании.

Драма идей

У Лэка, приверженца географической модели видообразования, ко времени публикации рукописи в 1945 г. взгляды полностью изменились.

В 1940–1945 гг. он служил в армейской группе оперативных исследований, где вместе с энтомологом и орнитологом Дж.Ворли испытывал радарные установки на предмет проверки сигналов. Перед началом Второй мировой войны на юге Англии было построено несколько радарных станций для защиты от вражеского вторжения с воздуха и моря. Система расширялась и продвинулась на юго-восток Англии. По оснащению эти первые радары не могли отличить эхо, идущее от военно-

го объекта, от эха птиц. К счастью, член Королевского общества лейтенант Ф.Шонлэнд, отвечающий за эти исследования, в 1940 г. пригласил поработать в своей группе Лэка, который и смог установить, что большинство отзвуков идет от птиц.

В сентябре 1941 г. Ворли получил в Довере первое ясное доказательство, что птицы — реальный источник эха. Лэк и Ворли подружились еще в Оксфорде, и их дружба, творческое понимание продолжалось на протяжении всей жизни. Ворли позднее стал одним из самых знаменитых профессоров Оксфордского университета.

Будучи в армии, Лэк продолжал работу над книгой «*The life of the robin*» («Жизнь робина», т.е. малиновки, или зарянки) и в 1942 г. закончил ее [9], после чего сразу же приступил к написанию новой книги — о галапагосских вьюрках. Рукопись была готова в 1944 г., но издательство Кембриджского университета опубликовало ее лишь в 1947 г. [1]. В этой книге и содержалась полная переоценка всего материала по Галапагосам под углом зрения закона Гаузе о конкурентном вытеснении и условиях сосуществования близкородственных видов.

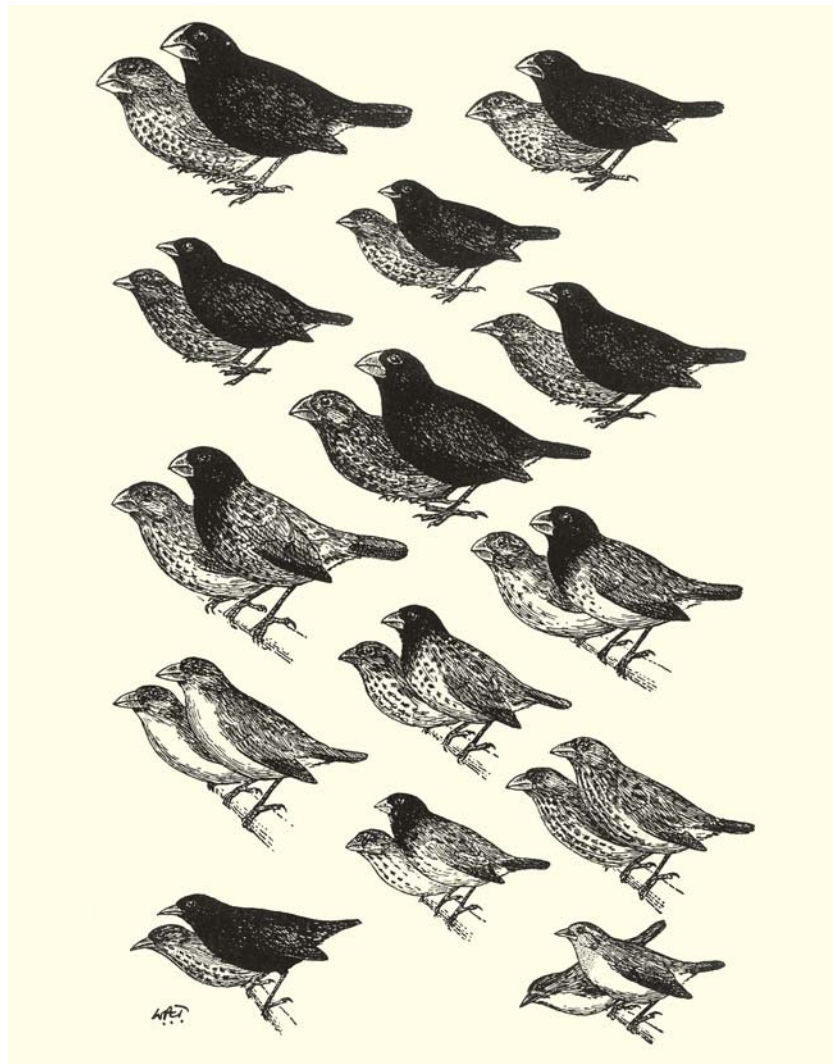
Почему же такие важные события не случились раньше, ведь работы советского биолога Г.Ф.Гаузе по конкуренции у простейших были изданы в виде монографий в середине 30-х годов 20-го столетия на английском и французском языках? Кроме того, в это же время вся экспериментальная часть, содержащаяся в книгах Гаузе, была опубликована в английских и американских экологических журналах. Разумеется, подобные книги и статьи не могли пройти мимо Лэка. Причина, видимо, в том, что он не был готов ни в научном, ни в психологическом плане к восприятию принципиально новых идей в экологии, подтвержденных строгим экспериментом. Как и большинство натуралистов того времени, Лэк был слишком далек от строгих экспериментов. Но ведь в книге Гаузе «*The Struggle for Existence*» («Борьба за существование») представлена связь между экспериментальным изучением межвидовой конкуренции и ее роли в дифференциации экологических ниш у сосуществующих близкородственных видов [14]. И еще, пожалуй, самое важное: натурализм, впервые появившийся в этой книге Гаузе, был основан именно на орнитологическом материале.

Произошло это следующим образом. Когда в 1932 г. Гаузе закончил экспериментальную часть работы, возник вопрос, как использовать принцип конкурентного исключения в природе. Он обратился за советом к своему учителю В.В.Алпатову. Ответ энтомолога был таков: «Таким материалом я не обладаю. Георгий Францевич, пожалуйста, обратитесь к русскому Сетон-Томпсону, Александру Николаевичу Формозову, он, как широкий полевой зоолог, может Вам оказать помощь». Гаузе поднялся в кабинет Формозова и... получил отрицательный ответ. И вдруг, когда Гаузе уже уходил из кабинета, Формозов вернул его, поскольку

вспомнил случай на берегу Черного моря. Четыре вида крачек образовали там большую колонию, но каждый вид питался на разном расстоянии от берега, и состав пищи у них был разный. Гаузе выразил искреннюю благодарность именитому натуралисту. Эти наблюдения Формозова над крачками вошли в «Борьбу за существование» как доказательство действия конкуренции в направлении экологического обособления близкородственных видов. Более того, материалы Формозова были изложены рядом с трактовкой трофической ниши Элтона. Гаузе при интерпретации наблюдений Формозова фактически создал концепцию пространственно-трофических ниш. Ресурс и местообитание, которые ранее интерпретировались как самостоятельные проблемы, оказались вместе. Этот исследовательский аспект был очень важен для Лэка. Гаузе, осмысливая натуралистический материал под углом зрения конкурентного исключения видов, создал новый натурализм в изучении экологии близкородственных видов. Эта связь между экспериментом и новым натурализмом могла оказаться решающей в интеллектуальной революции Лэка. Правда, все сказанное требует простых и убедительных доказательств.

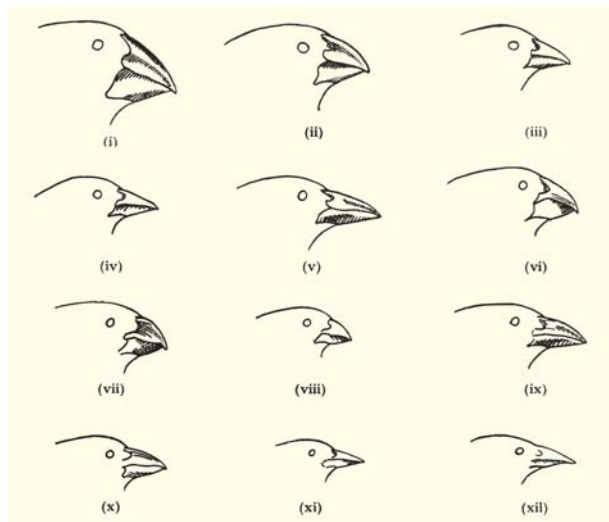
В 1944 г. Лэк вместе с Ворли организовал Пасхальную встречу в Британском экологическом обществе, чтобы обсудить значение закона Гаузе для развития экологии и теории эволюции. Произошло это знаменательное событие, ставшее важной вехой в развитии теории эволюции и экологии, 21 марта 1944 г. в Лондоне. Дискуссия по проблеме близкородственных видов имела подзаголовок «Значение закона Гаузе для полевой экологии».

Лэк впервые представил доклад о видообразовании у вьюрков Галапагоса. Он обсудил процессы, которые идут в зоне перекрывания ареалов у близкородственных популяций, находившихся в географической изоляции друг от друга и от родительского вида. Для анализа разных ситуаций он впервые применил закон Гаузе. Чтобы избежать конкуренции за ресурсы и местообитания, популяции должны создать собственные пространственно-трофические ниши. Естественный отбор будет действовать в направлении экологического обо-



Дарвиновы вьюрки (самец и самка каждого вида) [1].

собления зарождающихся видов и одновременно выбраковывать гибриды с пониженной жизнеспособностью. Иначе говоря, все, что было «недоработано» естественным отбором или генотипическим дрейфом при географической изоляции, благодаря конкуренции между зарождающимися видами «дорабатывается» естественным отбором в условиях перекрывания ареалов. Дивергенция очень часто проходит в зонах перекрывающихся ареалов. Элтон и Ворли поддержали Лэка в том, что принцип конкурентного исключения имеет огромное значение для понимания структуры сообществ животных. В то же время именитые специалисты, изучающие млекопитающих и насекомых, почти не обсуждали эволюционный аспект в исследованиях Лэка. Ворли отметил, что интенсивность конкуренции зависит от действия других факторов (абиотических, хищничества), влияющих на смертность. Эти факторы сильнее действуют на континентах. Конкуренцию лучше всего изучать на тро-



Различия в клюве у дарвиновых вьюрков на центральных островах Галапагосского архипелага [1].

пических островах, где отсутствуют хищники и эволюция идет за счет пищевой специализации конкурентов. Другие известные ученые, например Дж.Дайвер и Дж.Блэкман, основываясь на растительном и животном материале, резко критиковали закон Гаузе и вообще математический и экспериментальный подходы в экологии, мол, в природе все иначе. Сильное впечатление на участников дискуссии произвело изложение Дайвером большого фактического материала, иллюстрирующего сосуществование близкородственных видов. Но Гаузе не рассматривал систематическую близость в качестве мерил интенсивности конкуренции.

Дальнейшие скрупулезные исследования по экологии близкородственных видов показали, что исключения из закона Гаузе — мнимые, и Лэк блестяще обобщил огромный натуралистический материал в книге «Ecological isolation in birds» («Экологическая изоляция у птиц»).

На Пасхальной встрече 1944 г. еще не был преодолен антагонизм между экспериментаторами и натуралистами. Но именно там Лэк и Элтон изложили пути приложения теоретико-экспериментальных схем для решения кардинальных проблем экологии и эволюции. Была намечена область сотрудничества, с одной стороны, представителей разных ветвей экологии, а с другой — экологов в целом и эволюционистов-систематиков, биогеографов и генетиков [15].

В статье 1944 г. Лэк не только изложил новую концепцию видообразования у вьюрков Галапагоса, но и дал общий обзор экологии воробьиных птиц [16]. В нем он доказывает, что большинство близких видов занимают различные местообитания, но те, которые встречаются совместно, обычно отличаются друг от друга по биологии питания, а часто и по размерам, в том числе по величине и форме клюва. «Особенно важным представ-

ляется то обстоятельство, что если два близких вида отличаются друг от друга по общим размерам и по величине клюва, то они часто встречаются в одном и том же местообитании, тогда как среди близких видов, занимающих различные местообитания, подобные заметные различия в размерах встречаются редко» [1, p.62].

Интересно, что в списке литературы к статье 1944 г. Лэк сослался на страницы (18—20) в книге Гаузе 1934 г., где автор изложил концепцию ниши Элтона в своей трактовке в связи с принципом конкурентного вытеснения или сосуществования близкородственных видов. Гаузе особенно акцентировал внимание на наблюдениях Формозова над крачками, которые давали ключ к пониманию ситуации с любой группой птиц. О значении указанных страниц свидетельствует следующая большая цитата Лэка: «Главный тезис этой статьи — осветить концепцию экологической ниши (Elton, 1927). Я раньше не понимал, насколько фундаментален этот принцип в контроле отношений между близкородственными видами птиц. Основное обсуждение будет связано с Гаузе (1934), который ясно показал, что два вида животных с одинаковыми экологическими потребностями не могут жить в одном ареале. При чтении этого положения много очевидных исключений у диких птиц сразу может прийти на ум, и я первоначально предположил, что заключение Гаузе может быть верным лишь для искусственно простых условий лабораторных культур микроорганизмов. Однако логика концепции и экспериментов Гаузе, видимо, неотвратима, и более внимательное исследование показывает, что опровержение взглядов Гаузе, связанное с экологическим перекрытием, является только кажущимся, но не реальным» [16, p.274]. После этих слов Лэк воспроизвел наблюдения Формозова, как они изложены в книге Гаузе. Формозов никогда не публиковал свои наблюдения над крачками, но сохранились дневники с его записями, которые однозначно подтверждают роль великого натуралиста в развитии экологической теории. Дневники Формозова очень тщательно проанализированы его сыном и одним из создателей современной экологии Э.Хатчинсоном [17].

Возникает вполне законный вопрос: когда Лэк познакомился с упомянутой книгой Гаузе, которая произвела революцию в его экологическом и эволюционном мышлении? В своей знаменитой книге Лэк пишет, что в течение 1943—1944 гг. «нашел время для написания настоящей книги по вьюркам, поставив себе целью дать более широкую разработку эволюционных проблем. Пересмотр первоначального материала совершенно неожиданно заставил меня заметно изменить свои взгляды на межвидовую конкуренцию и на различия в размерах клюва у вьюрков. Развитие новой точки зрения послужило одной из основных тем книги. Мне странно, что вещи, кажущиеся сейчас

очевидными, ускользнули от моего внимания четыре года назад (выделено мной. — Я.Г.)» [1, р.6]. О каких «вещах» идет речь? Лэк дал однозначный ответ. Необходимо было обсудить проблему вида и видообразования с точки зрения экологии и надо было искать источники, где были бы совершенно новые «вещи».

В краткой автобиографической заметке, помещенной в книге «Экологическая изоляция у птиц», Лэк вспоминал: «В 1942 г. Майр впервые обосновал аллопатрическое видообразование, и его взгляды постепенно были приняты. В том же году Хаксли написал, что различия в размерах между близкородственными видами птиц означают экологическую изоляцию. В 1943 г., когда я переосмысливал эволюцию дарвиновых вьюрков, я скомбинировал эти точки зрения и постулировал, что два хорошо отличимых подвида с достаточными генетическими различиями, предотвращающими свободное скрещивание, могут сохраняться в том же самом ареале лишь при условии, что они также достаточно отличаются в экологии. Это не позволяет одному из них элиминировать другого посредством конкуренции. Экологические различия могут быть небольшими, когда подвиды встречаются впервые, но с тех пор, как они встретились, особи с подобными различиями будут лучше выживать, чем организмы, у которых нет отличий. Эти различия будут усиливаться естественным отбором до тех пор, пока два вида не перестанут конкурировать за необходимые ресурсы» [18, р.6].

Хаксли лишь постулировал или приводил отдельные примеры экологической изоляции, которая может возникать между близкородственными видами в зоне перекрывания ареалов. Но какая теория могла бы объяснить ее формирование и механизм действия? Лэк писал: «Я шел к идее экологической изоляции медленно, очень мучительно. В 1939 г. я читал и прямо отвергал утверждение Гаузе (Gause, 1939) о важности экологической изоляции. В 1942 г. я полностью пренебрег точкой зрения Хаксли о значении различий в размерах тела у птиц и млекопитающих. Между тем обе идеи составили основу моих воззрений» [18, р.6, 7]. Нет сомнения, что Лэк благодаря книге Гаузе наконец нашел общий теоретический принцип, позволивший понять не просто эволюционное значение конкуренции как агента естественного отбора в процессах микроэволюции, но как важнейшего фактора видообразования. Модель Лэка представляла настоящий синтез географической модели видообразования и закона Гаузе. Очень часто эволюционные изменения начинаются при географической изоляции близкородственных популяций, когда между ними прекращается поток генов, но завершающая стадия происходит после вторичного контакта популяций. В таких условиях естественный отбор действует в сторону дивергенции (и элиминации менее приспособленных гиб-

ридов), завершая формирование изолирующих механизмов.

В книге «Дарвиновы вьюрки» Лэк принципиально изменил ранние нейтралистские заключения 1940 г.: «Длительные рассуждения привели меня к тому пониманию, что отсутствие адаптивных различий является только кажущимся и что фактически близкородственные виды отличаются друг от друга многими признаками, которые играют крайне важную роль в выживании, особенно когда виды встречаются вместе» [1, р.147]. Хотя Лэк продолжал утверждать, что вариация у вьюрков появляется как неадаптивная, его новый взгляд состоял в том, что большинство различий внутри и между видами были продуктом естественного отбора. Лэк идентифицировал три механизма, способствующих успешному видообразованию среди галапагосских вьюрков:

— один из зарождающихся видов лучше адаптирован к одной части совместной географической области, а другой — к другой части; так достигается географическое обособление;

— один вид лучше адаптирован к одному типу местообитания, а другой — к иному; это различие создает обособление;

— один вид лучше приспособлен к какому-то определенному типу пищи, а другой — к иному; так путем разделения трофической ниши обеспечивается сосуществование в одном местообитании.

В качестве примера он приводил различия в размерах клюва трех земляных вьюрков, которые сосуществуют на некоторых островах в результате их адаптации к потреблению различных по размеру семян.

Книга «Ecological isolation in birds» («Экологическая изоляция у птиц») вышла в 1971 г., но она продолжала тему книги о вьюрках 1947 г. Лэк постоянно накапливал материал, доказывающий роль экологической изоляции в видообразовании. В научном мире книга Лэка 1947 г. никогда не упоминается среди фундаментальных трудов, заложивших основы синтетической теории эволюции. Эта монография вполне могла бы носить название «Популяционная экология и происхождение видов». Более того, теория эволюции, состыкованная с теоретической и экспериментальной экологией, стала поистине синтетической. Но и популяционная экология, «оваянная эволюционным синтезом», по удачному выражению Ф.Дарлингтона, предлагала самым широким кругам натуралистов небольшое число довольно простых и красивых теоретических принципов для объяснения сложной реальности [19]. Взаимовлияние и обогащение разных сфер деятельности на самом деле рождалось в муках. Велика цена научного достижения!

* * *

Исследования Лэка высоко оценил в 1982 г. Э.Майр, говоря о современной концепции вида, генетических и экологических аспектах видооб-

разования. «Дэвид Лэк был человеком, который внес наибольший вклад в понимание экологического значения вида (Lack, 1944; 1947). *Исторически интересно сравнить его эволюционную интерпретацию размера клюва у различных видов вьюрков Галапагоса* (выделено мной. — Я.Г.). В ранней статье (1945 г., но написанной около 1940 г.) он интерпретировал размер клюва как специфический видовой сигнал, т.е. как изолирующий механизм. В более поздней книге Лэк интерпретировал размер клюва как адаптацию к специфической видовой трофической нише, и именно эта интерпретация подтверждается многими исследованиями. Репродуктивная изоляция и нишевая специализация (конкурентное исключение) являются, таким образом, просто двумя сторонами одной монеты, или единого процесса видообразования. И лишь в одном случае, когда репродуктивная изоляция не может быть использована в качестве критерия вида, а именно в случае асексуальных форм, критерий создания экологической ниши приобретает самостоятельное или единственное значение» [20, p.274, 275]. Майр ясно показал, как объединились концепции репродуктивных изолирующих механизмов и экологической ниши и кто все это осуществил.

Эколого-географическая модель видообразования, созданная Лэком в 1943—1947 гг., постоян-

но уточняется и используется для изучения особенностей этого процесса у самых различных животных, включая и вьюрков [21]. Но эта интересная группа птиц вновь стала в центре внимания биологов-эволюционистов в связи с появлением Evo-Devo (англ. evolutionary developmental biology) — эволюционной биологии развития. В целой серии экспериментальных работ показано, что ярко выраженная морфологическая изменчивость размера и форма клюва у вьюрков определяется действием белка *Vmp4* [22]. К сожалению, данные биологии развития еще не состыкованы с концепциями видообразования, и создается впечатление, что онтогенетический механизм реализации признака — единственный фактор, отвечающий за разнообразие форм. Исследования по эволюционной биологии развития должны быть в какой-то форме согласованы с данными, полученными при изучении популяционных процессов, идущих при видообразовании. Мир генетики в изучении видообразования расширяется, но при этом резко повышается и роль экологии, так как со временем меняются и среда обитания организмов, и климат. В последней монографии о вьюрках Галапагоса прозвучал афоризм, который очень точно характеризует творчество Гаузе и Лэка в области теории эволюции: «В эволюционной биологии все имеет смысл лишь в свете экологии» [21, p.268]. ■

Литература

1. *Lack D.* Darwin's finches. Cambridge. 1947.
2. *Thorpe W.* David Lambert Lack (1910—1973) // Biographical Memoirs of Fellow of the Royal Society. 1974. V.20. P.271—293.
3. *Anderson T.* The life of David Lack. Oxford, 2013.
4. *Dobzhansky Th.* Genetics and the origin of species. N.Y. 1937.
5. *Mayr E.* Systematics and the origin of species. . N.Y. 1942.
6. *Lack D.* Double-brooding of the nightjar // Br. Birds. 1930. V.23. P.242—244.
7. *Lack D.* Habitat selection in birds with special reference to the effects of afforestation on the Breckland avifauna // J. Anim. Ecol. 1933. V.2. P.239—262.
8. *Lack D and Lack H.* Territory reviewed // Br. Birds. 1933. V.27. P.179—199.
9. *Lack D.* The life of the robin. L. 1943.
10. *Lowe P.* The finches of the Galapagos in relation to Darwin's conception of species // Ibis. 1936. V.78. P.310—321.
11. *Галл Я.М.* Вьюрки Дарвина — «Яблоко Ньютона»? // Природа. 1987. №12. С.46—57.
12. *Lack D.* Evolution of the Galapagos finches // Nature. 1940. V.146. №3697. P.324—327.
13. *Lack D.* The Galapagos Finches (Geospizinae): A study in variation // Occasional papers on the California Academy of sciences. San Francisco. 1945. №21. P.1—151.
14. *Gause G.F.* The Struggle for Existence. Baltimore, 1934.
15. *Harvey L.* Symposium on the ecology of closely allied species // J. Ecol. 1945. V.33. №1. P.115—116.
16. *Lack D.* Ecological aspects of species-formation passerine birds // The Ibis. 1944. V.86. July. P.260—286.
17. *Hutchinson E., Formozov N.* The role of A.N. Formozov in the development of ecological theory // Archives of Natural History. 1989. V.16. №2. P.143—145.
18. *Lack D.* Ecological isolation in birds. Oxford; Edinburgh. 1971.
19. *Darlington P.* Evolution for Naturalists: The simple principles and complex reality. N.Y., 1980.
20. *Mayr E.* The growth of biological thought: diversity, evolution and inheritance. Cambridge; Massachusetts, 1982.
21. *Grant P., Grant R.* How and why species multiply? The radiation of Darwin's Finches. Princeton, 2008.
22. *Campas O., Mallarino R., Herrel A. et al.* Scaling and shear transformations capture beak shape variation in Darwin's finches // PNAS. 2010. V.107. №8. P.3356—3360.

Новый «Казбекский завал» 17 мая 2014 года

С.С.Черноморец,
кандидат географических наук
Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

«Казбекские завалы» — особое явление в истории Центрального Кавказа. С конца XVIII по начало XX в. расположенный на северо-восточном склоне Казбека (на границе Северной Осетии и Грузии) Девдоракский ледник периодически блокировал р.Терек и прерывал сообщение по Военно-Грузинской дороге.

Изучение причин и последствий таких завалов ведется уже более 150 лет. Начиналось оно с работ Г.Абиха [1], Б.Статковского [2, 3], Г.Хатисяна [4], А.Висковатова [5] и активно продолжается и сегодня [6, 7].

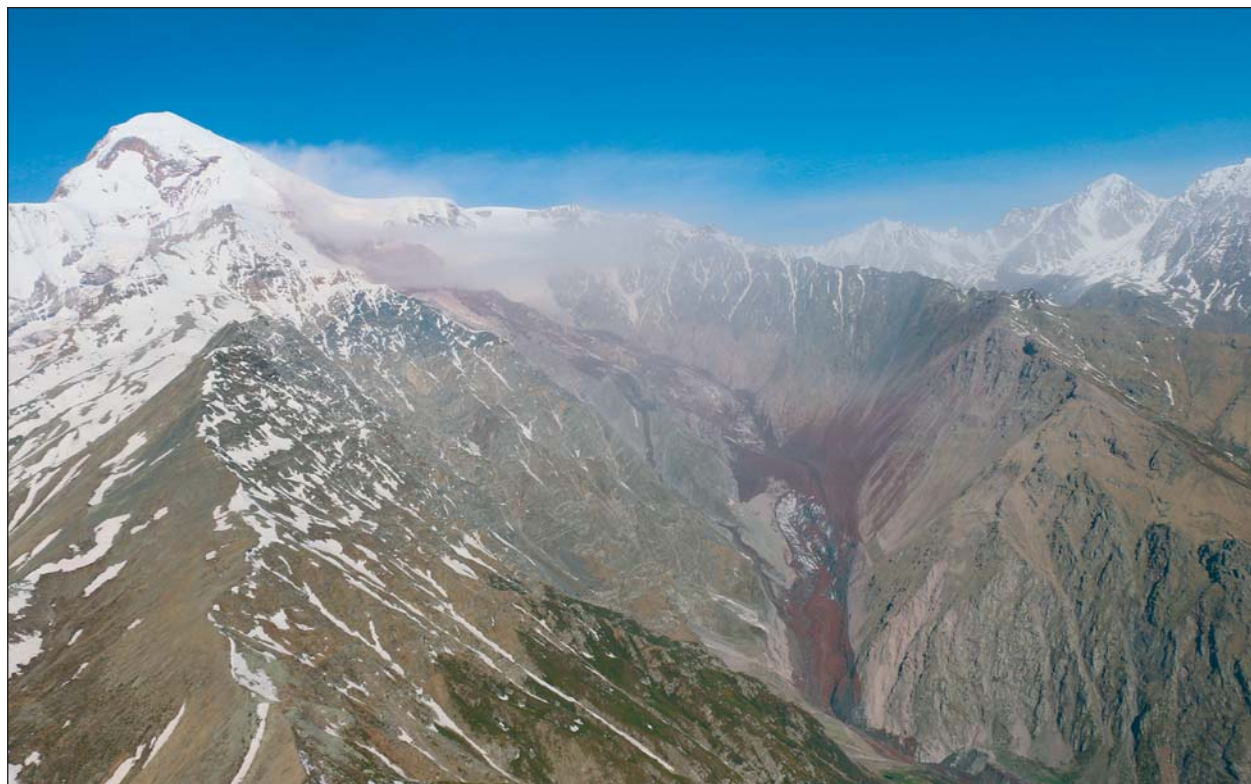
Впервые «Казбекский завал» зафиксирован в 1776 г., о нем писал служивший при дворе грузин-

ского царя доктор Я.Рейнеггс. Затем такие явления происходили в 1778, 1785, 1808, 1817 и 1832 гг. (в 1860-х годах даже работала специальная комиссия по изучению их причин).

Похожее событие случилось 20 сентября 2002 г. в Геналдонском ущелье, когда сошедший ледник Колка, по пути набрав скальные обломки и грунт, на огромной скорости пронесся по долине и стер с лица земли поселок Нижний Кармадон и несколько баз отдыха. На соседнем леднике Абано завалы отмечались в 1909 и 1910 гг.

И вот утром 17 мая 2014 г. произошла новая катастрофа. Очередной завал случился на восточном склоне горы Казбек, на Девдоракском леднике, в долине рек Амилишка и Кабахи и в Дарьяльском ущелье реки Терек.

© Черноморец С.С., 2014



Общий вид верхней части зоны катастрофы. 17 мая 2014 г.

Фото Г.Гоциридзе



Участок долины реки Кабахи в 1—1.5 км выше устья. Вдали виден заплеск на правый борт — следы потока на нем находятся примерно на 20 м выше, чем на левом. 19 мая 2014 г.

Здесь и далее фото автора



Структура отложений завала в месте отбора пробы (50 м выше устья Кабахи). Более половины заполнителя — лед. 20 мая 2014 г.

Напротив устья р. Кабахи на Военно-Грузинской дороге перед таможней в очереди стояли фуры, поэтому, увы, не обошлось без погибших и пропавших без вести: несколько машин оказались под завалом, проехать успела лишь одна, быстро набрав скорость. Два газопровода, по которым осуществлялся транзит российского газа в Армению, оказались разорваны, опрокинута опора ЛЭП под левым бортом ущелья Терка. Чудом остались целы основные сооружения строящейся Дарьяльской ГЭС: поток остановился в нескольких десятках метров от шлюза и бассейна-отстойника.

Событие стало национальной трагедией. В день катастрофы на месте побывали президент и премьер-министр Грузии, был создан штаб по ликвидации последствий схода ледника.

Получив днем 17 мая сообщение о новом завале, я стал искать возможность попасть на место

катастрофы. Пограничный переход Верхний Ларс—Казбеги оказался закрыт в связи с угрозой прорывного потока. Согласовав маршрут с ГУ МЧС по Северной Осетии и обосновав необходимость получения информации с места события, я принял решение добираться через Тбилиси. В результате я работал на месте завала с вечера 18 мая по середине дня 20 мая совместно с коллегами из Института водного хозяйства Грузии Г.Гавардашвили и Г.Чахая и с группой сотрудников Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Грузии во главе с З.Майсурадзе. В дальнейшем сборе материалов и обсуждении результатов участвовали Д.Петраков, О.Тутубалина (Московский государственный университет), Г.Гоциридзе (Центр Geographic), И.Бондырев (Институт географии им.Вахушты), А.Хоружий, В.Аддеев, Р.Тавасиев (МЧС России), А.Никитский, А.Алейников

(Инженерно-технологический центр СКАНЭКС), О.Гончаренко (Севостгеологоразведка), М.Докукин (Высокогорный геофизический институт), В.Дробышев (Владикавказский научный центр РАН), А.Кааб (Университет Осло), Дж.Каргел и Г.Леонард (Университет Аризоны), Э.Хокришвили (Министерство регионального развития и инфраструктуры Грузии), К.Хугел (Цюрихский университет), Э.Цертели (Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Грузии), Г.Циклаури. В статье отражена информация о событии по состоянию на 22 мая 2014 г.

Со слов свидетелей — грузинских пограничников, стоявших на посту в долине р.Кабахи, отрыв ледника случился примерно в 9.30 утра по местному времени, которое совпадает с московским (сейсмической аппаратурой станции Гудаури событие было зафиксировано в 9.40). Сильного грохота не было. Поток шел быстро: пограничник не успел пробежать и 100 м до обрыва над рекой, а масса уже успела преодолеть несколько сотен метров. По предварительной оценке В.Дробышева, максимальная скорость движения потока могла составлять 280 ± 30 км/ч. Для точных расчетов требуется детальный анализ пути движения и численное моделирование.

По заданию МВД Грузии 17 мая с вертолета «Ми-8» была выполнена аэросъемка, материалы которой наилучшим образом характеризуют облик верхней части зоны катастрофы.

В отличие от событий XVIII—XIX вв., когда массы льда отрывались от конца ледника Девдо-



Поток остановился в нескольких десятках метров от шлюза и бассейна-отстойника строящейся Дарьяльской ГЭС. 20 мая 2014 г.

рак, событие этого года началось значительно выше. Зона отрыва находится на восточном склоне Казбека, в области питания правой ветви ледника, на высоте 4400—4500 м. Оторвались скальная масса и часть ледника. В петрографическом составе обломков преобладает андезитовая лава с характерным красноватым оттенком, также встречаются зеленокаменные обломки, предположительно, габбро-диабазов.

Стоит отметить, что на некоторых аэроснимках, сделанных 17 мая в зоне зарождения потока, видны облака, похожие на фумаролы. По словам автора снимков Г.Гоциридзе, местные жители ощущали запах серы, принесенный ветром в долину. Но по этому вопросу требуется сбор дополнительной информации.

По предварительным данным, события 17 мая развивались следующим образом. Южнее основного девдоракского ледопада произошел обвал. Он пришелся на язык ледника, где произошло отложение части упавших обломков. Начал формироваться и набирать массу лавинообразный поток, или каменно-ледовая лавина (в зарубежных публикациях — rock-ice avalanche). При этом из языка ледника, по-видимому, были вырваны фрагменты. На левом борту (хребет Барт-Корт) поток «взлетел» высоко вверх по склону. Для расчета скорости и изучения динамики потока требуются особо тщательное дешифрирование снимков и полевое исследование именно этого участка.

Ниже конца ледника поток двигался (видимо, уже с меньшей скоростью) по долине р.Амилишка,



Работы по созданию нового русла Терека. Вечер 19 мая.

где осталась часть материала — сотни тысяч кубических метров. Долина в нижней части имеет трапециевидный поперечный профиль. Ширина полосы отложений на ее дне составила 20–30 м. Выше слияния рек Амилишка и Чач отложилось заметное количество крупных глыб размером до 5–6 м. У слияния высота уровня зоны поражения составляет 15–20 м над руслом (при крутизне бортов долины 30–35°).

Ниже слияния (где река уже называется Кабахи) поток прошел по долине (с трапециевидным сечением), на поворотах случались заплески на высоту от 10 до 20 м.

В километре выше устья Кабахи площадь сечения потока составила 900–1000 м² (ширина полосы свежих отложений по бровкам — 70–80 м, средняя



Новое русло временно перегорожено, ведутся работы по его углублению и расширению. 20 мая 2014 г.



Разорванный газопровод и нарезка временной дороги для его восстановления. 20 мая 2014 г.

глубина — 15 м). Ниже русло сужается, здесь сечение потока стало V-образным, и его площадь снизилась до 500 м² (ширина отложений 40—50 м, высота по бортам 20—25 м). Теперь на бортах долины идет активное осыпание, в результате вытаивания принесенного потоком и впечатанного в борта льда формируются оплывины и микросели.

В первые дни после события появились предварительные оценки объема горной породы и льда, оторвавшегося от склона Казбека: по мнению Г.Гоциридзе, это 5 млн м³, В.Дробышев говорит о 6 млн м³. Однако в долине Терека отложилось примерно 900 тыс. м³, а в зоне транзита ниже языка ледника Девдорак, по моим очень приблизительным оценкам, 500—700 тыс. м³. Неясно, где аккумулировалась остальная часть материала, если она была столь велика. Может быть, детальное дешифрирование и последующие наземные экспедиционные работы позволят это выяснить.

Выйдя в долину Терека, поток достиг ее противоположного борта, а затем часть его повернула влево, вниз по долине. По устному сообщению Э.Хокришвили, сделанная 18 мая дорожной службой геодезическая съемка показала, что объем отложений завала в долине Терека составил

760 тыс. м³. Но на момент съемки завал немного просел, и река «выкопала» в нем углубление для русла. Поэтому оценка начального объема в 900 тыс. м³ представляется более правильной.

На первый взгляд доля льда в общем объеме завала казалась меньше, чем при катастрофе 2002 г. на Колке. Но это первоначальное впечатление было скорректировано после отбора образца заполнителя, сделанного 20 мая на правом берегу Кабахи в 50 м выше устья. Заполнитель кажется твердым, а на самом деле состоит в значительной степени из льда. После нагревания образец растаял и превратился в смесь воды (около или более половины объема), алевролита и отдельных мелких кусочков лавы. Если предположить, что заполнитель составляет половину объема породы (а это нуждается в проверке), то лед — не менее четверти. А скорее всего, его содержание еще выше.

Река Терек оказалась перегорожена завалом. С его южной стороны стала накапливаться вода, и образовалось подпрудное озеро. Перелив через него начался очень быстро: на видео, снятом Г.Циклаури через час после катастрофы, видно, что перелива еще нет, но он уже намечается.

По состоянию на 18 мая длина подпрудного озера составляла 300 м, ширина — около 85 м.

В качестве своего нового русла река выбрала гидротехнический тоннель Дарьяльской ГЭС в правом борту долины. После точки перелива на пути к тоннелю речной поток врезался в отложение завала на 10—15 м.

Штабом по ликвидации последствий схода ледника было принято решение перевести р. Терек в новое русло. Вечером 19 мая и в первой половине дня 20 мая я наблюдал попытки перемещения Терека. Восемь экскаваторов и два бульдозера сделали прорезь в теле завала и стали «вводить» туда реку. Но Терек, уже «привыкший» к своему новому, довольно устойчивому положению, никак не хотел менять направление. Тем не менее 19 мая по новому руслу уже шло 10—15% стока, а 20-го числа вход в прорезь снова засыпали, чтобы углубить и расширить ее.

Утром 20 мая проводились попытки проложить временную дорогу для строительной техники, чтобы начать восстановление газопроводов.

Очевидно, что восстановительные мероприятия в первые три дня после катастрофы проводились быстро и квалифицированно. На мой взгляд, нужно как можно скорее переводить русло в новую прорезь, чтобы использовать размывающие возможности Терека в качестве природного «гидромонитора». Кроме того, появится возможность открывать и закрывать задвижку гидротехнического тоннеля, тем самым регулируя расход в новом русле реки.

В среднесрочной перспективе было бы желательно создание тоннеля для Военно-Грузинской дороги напротив устья Кабахи.

В заключение важно отметить, что сохраняется вероятность нового обвала, последствия которого также могут быть катастрофическими. По-

этому необходимо проведение детальных исследований для оценки вероятности и потенциальных масштабов такого события.

По мнению сотрудника географического факультета МГУ О. Тутубалиной, необходима частая космическая съемка очага обвалов в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, а по возможности и в тепловом, с желательной детальностью не менее 5 м. При плохих погодных условиях можно применить спутниковую радиолокационную съемку. Представляется, что космическая съемка не обеспечит необходимой частоты наблюдений в первые недели после события, поэтому абсолютно необходимо продолжать вертолетные облеты и фотосъемку для постоянной оценки текущей опасности. Необходимо следить за такими признаками, как обвальная активность, формирование трещин во льду и породах по краю очага обвала 17 мая, фумарольная активность, тепловые аномалии (если будет возможно использовать тепловизор или иной температурный датчик, способный оценивать температуру поверхности на безопасном расстоянии — с вертолета).

И конечно, требуется создание надежной системы оповещения, а именно двух гидрометеорологических постов на правом борту долины рек Амилишка и Кабахи. Первый следует организовать на старой метеостанции, созданной в XIX в. для наблюдения за Девдоракским ледником, а второй — напротив слияния рек Амилишка и Чач. Оба поста должны быть оснащены надежным оборудованием для связи, чтобы в случае формирования нового потока оперативно предупредить о нем работающих на расчистке завала людей. А пункт на старой метеостанции мог бы служить базой для мониторинга и экспедиционного изучения зон зарождения новых обвалов. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 14-05-00768.

Литература

1. Абиш Г.В. Несколько слов о состоянии в настоящее время Девдоракского ледника // Известия Кавказского отдела Императорского русского географического общества. 1877. Т.V. С.57—64.
2. Статковский Б.И. О причинах происхождения Казбекского завала и о мерах для его предупреждения. Тифлис, 1877.
3. Статковский Б.И. Об ожидаемом Казбекском завале // Известия Императорского русского географического общества. 1877. Т.13. Вып.2. С.53—65.
4. Хатисян Г.С. Казбекские ледники в период с 1862 по 1887 г. // Известия Императорского русского географического общества. 1889. Т.24. Вып.5. С.326—347.
5. Висковатов А.А. О периодическом Казбекском завале // Известия Кавказского отдела Императорского русского географического общества. 1864. Вып.6. С.12—29.
6. Chernomorets S.S., Tutubalina O.V., Seinova I.B. et al. Glacier and debris flow disasters around Mt. Kazbek, Russia/Georgia // Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment / Eds C.-L.Chen, J.Major. Rotterdam, 2007.
7. Запорожченко Э.В., Черноморец С.С. История и изученность Казбекских завалов // Вестник Кавказского горного общества. 2004. №5. С.33—54.

Полосатая аргиона движется на север

К.Г.Михайлов,

кандидат биологических наук

Зоологический музей Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова

Е.Н.Панов,

доктор биологических наук

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

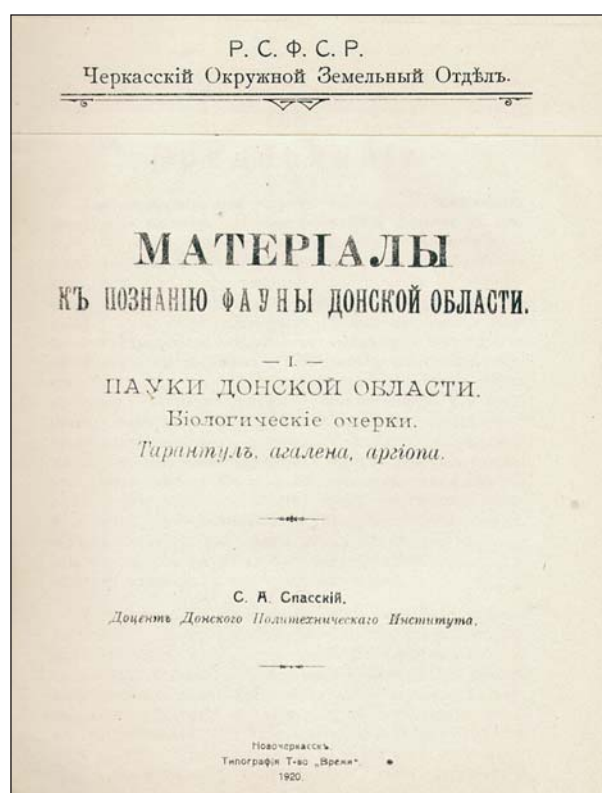
Пауки рода *Argiope* из семейства кругопрядов (Araneidae) распространены по всему миру; большинство из них обитает в тропических странах. Род насчитывает 80 видов*, один из них — полосатая аргиона, или аргиона Брюнниха (*Argiope bruennichi*), которую в Западной Европе называют «паук-оса» из-за характерной для самок полосатой черно-желтой окраски брюшка. Этот яркий крупный паук широко распространен в лесостепной, степной и полупустынной зоне Евразии и даже чуть шире.

Биологии полосатой аргионы в условиях степной зоны посвящена работа российского арахнолога Сергея Александровича Спасского, почти всю жизнь проработавшего в Новочеркасске [1]. Примечательно, что этот труд опубликован в горячие годы гражданской войны и отражает смену власти в тогдашней Донской области: основной текст напечатан по правилам, упраздненным советской властью: с твердыми знаками в конце слов, «ятями» и «и десятичными», а на титульном листе тщательно заклеена надпись «В.в.Д.» (белогвардейское «Всевеликое войско Донское»), вместо чего указано «Р.С.Ф.С.Р.».

В настоящее время полосатая аргиона активно осваивает лесную зону Европы, продвигаясь на север в Скандинавии [2] и в европейской части России [3, 4]. Описание биологии и характера расселения этого замечательного паука на территории нашей станы — тема настоящего сообщения.

Как живет полосатая аргиона

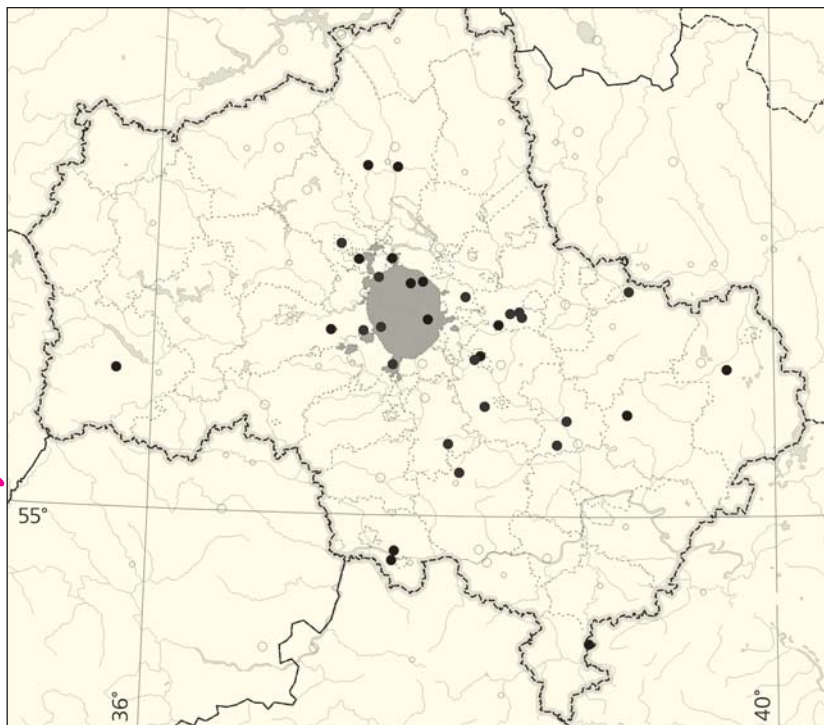
Обычно самка аргионы висит головой вниз в центре своей ловчей паутиной сети. В этом отношении поведение паука резко отличается от того, что мы наблюдаем у ряда видов крестовиков Евро-



Титульный лист книги С.А.Спасского [1]. Хорошо заметна полоска бумаги с буквами «Р.С.Ф.С.Р.», наклеенная позднее.

пейской России. У них самки в ожидании добычи держатся скрытно вне сети, значительно выше нее, удерживая коготком передней ноги сигнальную нить, ведущую к тенетам. В момент попадания жертвы в сеть, при ее сотрясении, самка стремительно бросается вниз, убивает насекомое, заматывает его паутиной и сразу же утаскивает вверх в свое укрытие, где и высасывает мягкие ткани добычи. Как мы увидим далее, самка аргионы в этих ситуациях не покидает своей сети. По первому впечатлению, эта манера самок постоянно оставаться на виду у потенциальных хищников

* Platnick N. The World Spider Catalog. Version 14.5. American Museum of Natural History. 2014 (<http://research.amnh.org/iz/spiders/catalog/INTRO1.html>; по состоянию на 13.05.2014).



Находки полосатой аргиопы в Московской обл. в 2008—2012 гг. До 2008 г. этот вид в области не был отмечен.

(главным образом птиц) выглядит весьма рискованной, особенно если принять во внимание яркую раскраску этого паука. Впрочем, поперечно-полосатый рисунок на брюшке паука можно было бы отнести к категории так называемой расчленяющей окраски или даже отпугивающей. Чередование желтых и черных полосок должно делать аргиопу, в первом случае, малозаметной на пестром фоне освещенной солнцем травянистой растительности, во втором — менее привлекательной для хищников (птиц).

Как и большинство кругопрядов, аргиопа плетет сеть, в основе которой лежит рамка-каркас из толстых, прочных, сухих и нелипучих нитей. Такими же свойствами обладают и радиальные нити, идущие из центра сети к каркасу. Внутри него от периферии к центру тянется радиальная спиральная нить (эластичная и клейкая), не доходя-



Самка полосатой аргиопы в центре своей паутины. Хорошо видна граница между липкой ловчей спиралью (она ярче) и нелипкой паутиной в центре сети.

Здесь и далее фото Е.Н.Панова

щая до центра. Вокруг центра расположена не-клейкая спираль. Характерная особенность сети не только полосатой аргиопы, но и всех других родственных видов, — широкие красивые полосы паутины, или стабилименты. Они размещены то зигзагообразно, как у полосатой аргиопы, то по окружности, как у некоторых тропических видов рода. Функция стабилиментов не очень понятна. С.А.Спасский пишет, что «эти полосы», вероятно, придают сети большую прочность. Немецкий профессор Г.Петерс вообще полагает, что на их построение идет «лишняя» паутина, производимая «в нерабочее время» теми паутинными железами, выделения которых используются для опутывания добычи паука [5].

Свои сети полосатая аргиопа размещает в траве и среди кустарников, слегка наклонно; нижняя часть обычно расположена на высоте около 30 см над поверхностью почвы [6]. Ловчая сеть, найденная во Владимирской обл. сыном одного из авторов этой заметки, Николаем Пановым, располагалась непосредственно среди верхних побегов травянистых растений высотой не более 15—20 см. Именно здесь в начале августа в изобилии держались мелкие кузнечики, составлявшие в данном случае единственное пропитание самки.

Начиная строить сеть, аргиопа в отличие от более мелких пауков-крестовиков, как подметил Спасский, никогда не отпускает паутинную нить по ветру в надежде зацепить ее за пригодный субстрат; наша подопечная всегда тащит ее сама. Сначала аргиопа сооружает трех-, четырех- или многоугольную рамку-каркас, которую закрепляет наиболее тщательно. Эта часть паутины служит ей многие недели и даже месяцы, практически не требуя ремонта. Затем паук создает радиальные нити и временную сухую спираль между ними. Следующий этап — построение ловчей липкой спирали, при этом часть сухой паук разбирает, оставляя лишь фрагмент в центре. И последний «штрих мастера» — широкими размашистыми движениями паутинных бородавок и брюшка аргиопа строит стабилимент. При хорошей погоде и обильном питании паук каждую ночь разрушает свою сеть (кроме рамки) и, возможно, частично поедает ее, а с утра строит сеть заново. Так поступают многие кругопряды, поскольку с течением времени клейкость ловчей спирали уменьшается. Американский исследователь Б.Опелл показал, что для построения новой сети паук используют до 32% старой [7].

Полосатая аргиопа, разумеется, хищник. Основная ее добыча, судя по расположению сетей, — обитатели нижнего яруса растительности, обычно плохо летающие. Как правило, это прямокрылые (кобылки и кузнечики), хотя в ловушку могут случайно попадать и насекомые-опылители, например, пчелы. Все это выдает полосатую аргиопу как исконного обитателя зоны степей.



Хорошо видны зигзаговидные стабилименты, расположенные над пауком и под ним.



Обратите внимание, что паутина расположена в травяном ярусе, т.е. практически не приподнята над субстратом, как это бывает в традиционных местообитаниях в степной зоне.



Этапы заматывания укушенной жертвы (молодого кузнечика) в паутину.



Самка полосатой аргиопы высасывает свою добычу — молодого кузнечика.

Паук убивает добычу ядом, выделяемым через когтевидный членик хелицер при укусе, а затем завертывает ее в паутину. На видеокдрах хорошо видно, как паук регулирует толщину паутинной струи, выбрасываемой из желез в задней части брюшка. В ответственные моменты эта струя выглядит в виде широкой ленты, вызывая в памяти работу продавца в магазине, когда тот заматывает скотчем коробку с увесистым содержимым. После фиксации добычи паук, удерживая коготком задней ноги свободный конец нити-обмотки, тащит свою жертву в середину сети, где и высасывает ее мягкие ткани.

Жизнь самца полосатой аргиопы длится недолго. К тому же он значительно (на порядок и более) меньше самки. Карликовость самцов характерна для многих прядущих сети пауков. Существует немало гипотез, объясняющих причины этого явления, но все они недостаточно убедительны [8]. Возможно, стоит вести речь не о карликовости самцов, а о гигантизме самки, связанном с созреванием в ее теле большого количества яиц.

Правильную, как у самок, ловчую сеть плетут только молодые самцы, у взрослых же она устроена беспорядочно, да и пользуются они ею недолго. Готовый к спариванию самец отправляется на поиски самки и живет затем буквально на краю ее паутины. Если вокруг одной женской особи соби-



Аргиопа и две ее жертвы, одна из них подвешена «про запас».

раются несколько кавалеров, конфликтов и драк между ними не избежать. Самка может воспринимать самца как добычу и подчас бросается на него, кусая чаще всего в ногу. К счастью, пауки способны к автотомии — отбрасыванию конечностей в случае опасности. (Разрыв хитиновых покровов на одном из небольших члеников в основании ноги — вертлуге — происходит с помощью особой мускулатуры.) После спаривания самцы живут недолго, а самка начинает строить кокон для яиц, размером примерно с вишневую ягоду, размещая его в укромном месте.

В природе кокон очень трудно заметить, он сливается с цветом субстрата. Но самки легко откладывают яйца и в неволе, поэтому наблюдения можно провести и в лабораторных условиях. Этим занимаются юннаты во время выполнения самостоятельных работ по экологии.

Кокон устроен столь совершенно — с плотными покровами и крышечкой, что охранять его нет необходимости. Отложив яйца, самка оставляет первый кокон, возвращается в сеть и вскоре строит следующий. В некоторых случаях она способна построить и заполнить яйцами пять коконов! Аргиопа выдерживает даже ночные заморозки и умирает лишь поздней осенью. Вылупившиеся из яиц паучки зимуют внутри кокона, линяют там и выходят на волю только весной следующего года, обычно в мае.

Расселение полосатой аргиопы

В классическом определителе пауков В.П.Тыщенко написано, что граница распространения двух видов аргиопы — полосатой и дольчатой (*Alobata*) — в России проходит примерно по 52° с.ш. [9]. В Европе в конце XX в. отмечено продвижение полосатой аргиопы на север в Польшу, Германию и других странах. За последние десятилетия сходные наблюдения проведены и в России. Этот вид обнаружен в разных частях Тульской [4], Московской [4] и еще нескольких областей, причем как в средней полосе, так и в Поволжье. Массовые находки в Рязанской обл. известны с 2009 г. (Д.В.Осипов, личное сообщение). Один из авторов этой статьи (Е.Н.Панов) установил новое местонахождение — пос. Раменье Вязниковского р-на Владимирской обл. Так что успешно преодолены рубежи 54° и 55°.

С запада и севера полосатая аргиопа «окупировала» Прибалтику (с 2004 г.) и Скандинавию и уже отмечена в окрестностях Санкт-Петербурга. А вот старая находка середины XIX в. из окрестностей Санкт-Петербурга сомнительна и не подтверждена коллекционным материалом. Пока остался «неохваченным» только регион между Тверью, Новгородом и Псковом (хотя в самой Твери паук уже обнаружен).

Как именно полосатая аргиопа расселяется, до конца не ясно. Молодь множества видов пауков

из самых разных семейств путешествует по воздуху на паутинках, и аргиопа не исключение; предполагается также расселение аргиоп, прицепившихся к автомобильному транспорту [3]. Самцов аргиопы в новых регионах находят чрезвычайно редко, и это позволило выдвинуть довольно спорную гипотезу о партеногенетическом размножении этого вида [3]).

Популяции полосатой аргиопы на северном пределе своего распространения нестабильны и, похоже, сильно зависят от погодных условий. Так, в прибрежных районах Эстонии пик численности этого вида пришелся на 2009 г., а в 2010 и 2011 гг. наблюдали резкое снижение числа местобитаний и количества находок [3]. В Москве известны случаи гибели популяций после «окультуривания» ландшафта (М.В.Скороходова, личное сообщение).

Второй вид — аргиопа дольчатая — до последнего времени не выходил за пределы 52° с.ш., как указано в определителе [9]. О продвижении этого паука в Европе тоже ничего не было известно. Однако совсем недавно этот вид единично обнаружен в южной части Татарстана [10], и в Зоомузей МГУ им.М.В.Ломоносова был передан экземпляр самки из дер.Сергеевки Новомосковского р-на Тульской обл., недалеко от границы с Рязанской

и Московской областями (собрал А.П.Михайленко). Оба эти местонахождения расположены севернее 54° с.ш., что говорит о продвижении на север не только полосатой аргиопы, но и дольчатой.

* * *

Интересно, что исследования аргиопы подчас приходится вести в «орнитологическим» ключе. Орнитологи уже давно ввели в научный оборот сообщения о новых находках птиц, которых просто видели в природе или в условиях города/села, иногда даже не сфотографировали и уж тем более не поймали и не сделали тушку — музейный препарат, стопроцентно подтверждающий находку. У специалистов по наземным беспозвоночным до последнего времени было принято всегда ловить «свои» объекты, фиксировать их и при необходимости представлять музейные экземпляры для проверки точности их определения. Однако последние работы по полосатой аргиопе — крупному яркому пауку, которого невозможно спутать ни с каким другим пауком, живущим в нашей средней полосе, в первую очередь основаны именно на фотографиях и наблюдениях.

Скорее всего, продвижение аргиоп на север связано с общим потеплением климата Европейской России в последние годы. ■

Литература

1. Спасский С.А. Пауки Донской области. Биологические очерки. Тарантул, Агалена, Аргиопа. Новочеркасск, 1920.
2. Terbiivo J., Fritzén N.R., Koponen S., Pajunen T. Increased number of observations and notes of offspring production in the invasive orb-web spider *Argiope bruennichi* (Scopoli, 1772) (Araneae; Araneidae) in Finland // Mem. Soc. Fauna Flora Fenn. 2011. V.87. P.95—101.
3. Михайлов К.Г., Большаков Л.В., Лакомов А.Ф., Андреев С.А. Находки паука *Argiope bruennichi* (Scopoli, 1772) (Aranei, Araneidae) в Тульской области // Евразийск. энтомол. журн. 2011. Т.10. Вып.3. С.390—392.
4. Михайлов К.Г., Борисова Н.В. Полосатая аргиопа — *Argiope bruennichi* (Scopoli, 1772) (Aranei: Araneidae) в Москве, Московской области и ее расселение на север // Бюл. Моск. об-ва испыт. природы. Отд. биол. 2013. Т.118. Вып.4. С.71—74.
5. Peters H.M. Über das Problem der Stabilimente in Spinnennetzen // Zoologische Jahrbücher, Abteilung Physiologie. 1993. Bd.97. H.3. S.245—264.
6. Wiehle H. 27. Familie: Araneidae // Die Tierwelt Deutschlands. 23. Teil. Spinnentiere oder Arachnoidea. VI: Agelenidae — Araneidae. Jena, 1931.
7. Opell B.D. Economics of spider orb-webs: the benefits of producing adhesive capture thread and of recycling silk // Functional Ecology. 1998. V.12. №4. P.613—624.
8. Михайлов К.Г. Размерный половой диморфизм («карликовость самцов») у пауков: обзор проблемы // Arthropoda Selecta. 1995. Т.4. Вып.3—4. С.51—60.
9. Тыщенко В.П. Определитель пауков Европейской части СССР // Определители по фауне СССР, издав. Зоол. ин-том АН СССР. Л., 1971. Вып.105.
10. Беспятовых А.В., Мухаметшина Э.Р. Редкие пауки Татарстана и проблемы охраны фауны арахнид // Современные проблемы биологии и экологии: мат-лы докл. Межд. науч.-практ. конф., 10—12 марта 2011 г. Махачкала, 2011. С.12—15.

И в минералах каналы бывают «сухими»



Р.К.Расцветова,
доктор геолого-минералогических наук,
С.М.Аксенов,
кандидат геолого-минералогических наук
Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН
Москва

К минералам, названным по ведущим компонентам химической формулы, фенакситу (Fe–Na–K–Si) и манакситу (Mn–Na–K–Si), недавно добавился новый представитель — кальцинаксит (Ca–Na–K–Si). Первые два найдены на Кольском п-ове (в Хибинском и Ловозерском щелочных массивах соответственно), а третий происходит из пород вулкана Беллерберг (из района Айфеля в Германии). Все они объединяются в группу (табл.), возглавляемую литидионитом $\text{NaKCuSi}_4\text{O}_{10}$, который обнаружен в кратере Везувия и исследован первым. Несмотря на различие в составе и в их происхождении из разных регионов, минералы близки по структуре и родственны структуре агреллита $\text{NaCa}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}$ из метаморфизованных пород Квебека (Канада) [9, 10].

Главная деталь архитектуры всех этих минералов — кремнекислородные трубки $[\text{Si}_8\text{O}_{20}]^{8-}$, бесконечные вдоль короткого направления a и образованные двумя объединенными власовитовыми лентами (рис.1). Каждая из них составлена из четверных колец тетраэдров. Трубки заполнены атомами K, а в агреллите — атомами Na (рис.2), они имеют шестиугольное сечение, а с боков — четырех- и восьмиугольные окна.

Строго говоря, калий находится в трубках не в центре, а смещен к восьмиугольным окнам. Его крупные полиэдры (9-вершинники с расстояниями K–O = 2.66–3.24 Å), объединившись ребрами, выстраиваются рядами вдоль параметра b перпендикулярно трубкам. Различен и способ объединения трубок. В агреллите они соединяются слоями, состоящими из полиэдров кальция, которые соединяются друг с другом попарно ребрами в ленты, а затем через F-вершины в слой. Слои простираются параллельно трубкам (рис.2).

Таблица
Радиусы (R) M^{2+} -катионов, параметры ячейки и состав минералов группы литидионита

Минерал	R , Å	Параметры ячейки			V , Å ³	Литература
		a , Å α , °	b , Å β , °	c , Å γ , °		
Литидионит $\text{K}[\text{NaCu}][\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	0.57	6.970 105.56	8.011 99.53	9.790 114.16	456.3	[1, 2]
Фенаксит $\text{K}[\text{NaFe}][\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	0.64	6.974 105.78	8.133 100.06	9.930 114.26	467.1	[3, 4]
Манаксит $\text{K}[\text{NaMn}][\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	0.75	6.985 105.70	8.183 99.51	9.975 114.58	473.3	[5, 6]
Кальцинаксит $\text{K}[\text{NaCa}(\text{H}_2\text{O})][\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	1.00	7.021 102.23	8.250 100.34	10.145 115.09	495.4	[7, 8]

Примечание: ячейки даны в одинаковой установке; в формулах минералов квадратными скобками выделены составы колонок и трубок; α , β , γ — углы элементарной ячейки.

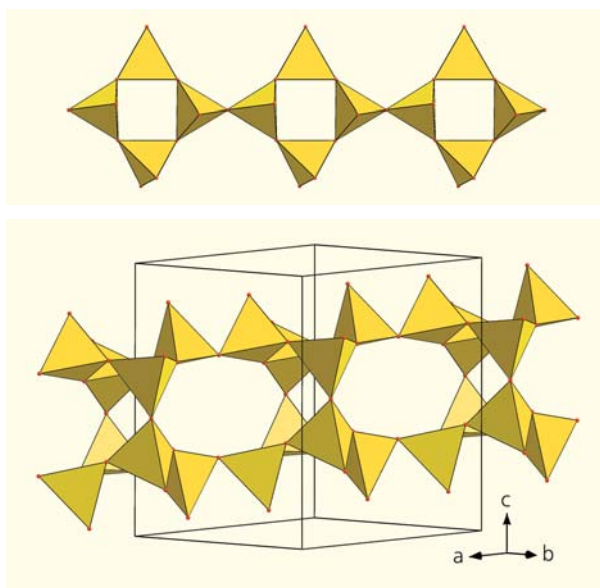


Рис.1. Власовитовая лента из четверных колец кремнекислородных тетраэдров (вверху) и кремнекислородная трубка. Вид сбоку: восьмиугольные кольца соседних трубок образуют канал для крупных катионов калия и натрия.

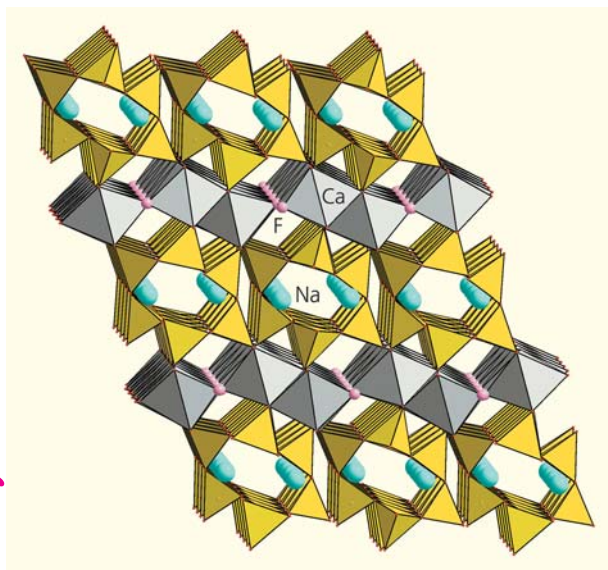


Рис.2. Кристаллическая структура агреллита.

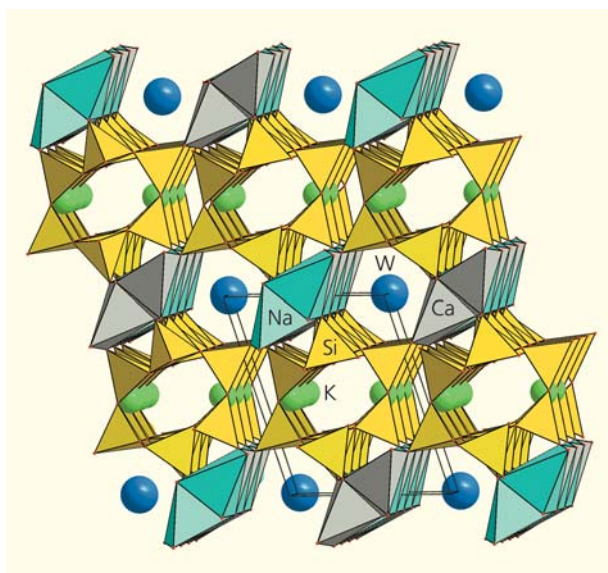


Рис.3. Структура кальцинаксита. Связь Ca-полиэдра с молекулой воды (W) не показана, чтобы не перекрывать канал.

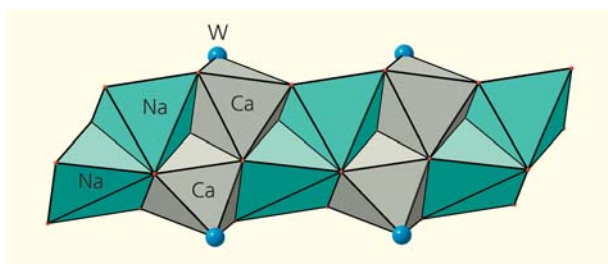


Рис.4. Колонка из чередующихся димеров Na-пятивершинников и Ca-октаэдров. Шестью вершинами Ca-октаэдров служат молекулы воды (W).

В минералах группы литидионита слои распадаются на колонки. Составляющие же их пары полиэдров лишились шести вершин и превратились в пятивершинники Na и двухвалентных катионов Fe, Mn или Cu (за исключением кальцинаксита, о котором мы расскажем дальше).

Промежуток между колонками имеет форму канала, параллельного трубкам, с таким же шестиугольным сечением, но состоящим из разносортных полиэдров — Si, Na, Fe (Mn, Cu). Стенки канала в сечении образованы четырьмя Si-тетраэдрами и двумя пятивершинниками. Интригующее обстоятельство заключается в том, что эти каналы неизменно оставались пустыми. И не только в минералах, но и в их синтетических аналогах.

Синтетические соединения со структурным типом литидионита привлекают внимание исследователей благодаря своим магнитным свойствам. Помимо синтетического фенаксита, манаксита и литидионита [11, 12] получены, например, кристаллы состава $\text{Na}_2\text{MSi}_4\text{O}_{10}$ ($M = \text{Mn, Co, Ni}$) [13, 14]. Все они синтезированы гидротермальным методом из смесей с участием воды. Однако ее нет в канале ни в одном из изученных соединений. Эта загадка долго оставалась неразгаданной, до тех пор пока к нам не попал на исследование новый минерал кальцинаксит. Его привез Н.В.Чуканов из вулканического района Айфеля. Незадолго до того мы исследовали найденный там же минерал гюнтерблассит $(\text{K, Ca, Ba, Na, })_3\text{Fe}[(\text{Si, Al})_{15}\text{O}_{25}(\text{OH, O})_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O}^*$. Рентгеноструктурный анализ нового минерала из Германии мы также выполняли в Институте кристаллографии с использованием эксперимента на современном дифрактометре «Xcalibur» фирмы «Oxford Diffraction», оснащенном CCD-детектором.

Первые же результаты ввергли нас в шок. В структуре была вода! И именно в том самом канале, который всегда оставался безнадежно пустым (рис.3). Присутствие воды подтвердил и ИК-спектр. Как же изменилась структура? Что позволило воде войти в нее? Кальцинаксит $\text{NaKCaSi}_4\text{O}_{10} \cdot \text{H}_2\text{O}$, так же как и остальные члены группы литидионита, построен на основе кремнекислородных трубок $[\text{Si}_8\text{O}_{20}]^{8-}$, которые также объединяются лентами из попарно связанных полиэдров Na и двухвалентного катиона (в данном случае — Ca). Как видно из таблицы, размер кальция больше остальных двухвалентных катионов, что заметно сказывается на размерах ячейки. Параметры триклинных ячеек особенно значительно изменяются (от минимальных для литидионита до максимальных для кальцинаксита) для b - и c -параметров: $a = 6.97\text{--}7.02 \text{ \AA}$, $b = 8.02\text{--}8.25 \text{ \AA}$, $c = 9.79\text{--}10.15 \text{ \AA}$ (соответственно объем ячеек возрастает от 456 до 495 \AA^3). Колонки, содержащие кальций, стали толще: расстояние Ca–Ca в димере увеличилось до 3.76 \AA (расстояние Cu–Cu в литидионите 3.36 \AA) (рис.4).

* См. Расцветова П.К. Родезит или гюнтерблассит? // Природа. 2012. №3. 34–37.

Кремнекислородные трубки раздвинулись, тем самым расширив и сам канал, чем незамедлительно и воспользовалась молекула воды. Ну, а что же агреллит? В нем ведь кальция в два раза больше, чем в кальцинаксите. Конечно, его ячейка должна увеличиться в размерах еще сильнее, но в составе минерала крупный калий замещен натрием (как и в синтетических соединениях $\text{Na}_2\text{MSi}_4\text{O}_{10}$), который не распирает кремнекислородные трубки, а проваливается в них. От этого трубки деформируются и ячейки уменьшаются в размере. Таким образом, у агреллита — чемпиона среди (Na–Na)-соединений — объем ячейки 457.3 \AA^3 , что сопоставимо с размерами литидионита — самого маленького из (Na–K)-минералов группы. В любом случае канал агреллита не стал бы шире, поскольку его нет вообще. Как мы уже говорили, Ca-полиэдр объединился в слой и полностью его перекрыли. Получается, что Ca необходим, чтобы канал «заработал», но его избыток приводит к ликвидации самого канала.

К сожалению, канал неодинаков по всей длине. Он имеет пережимы: максимальные размеры сечений O–O = $2.6 \times 3.5 \text{ \AA}$, минимальные — $2.4 \times 3.0 \text{ \AA}$ (рис.5). Вода поэтому не может двигаться по каналу свободно и застревает в его узких местах. Там она притягивается к Ca, достраивая его пятивершинник до октаэдра. Но это уже совсем другая история. Главное, что вода, наконец, нашлась.

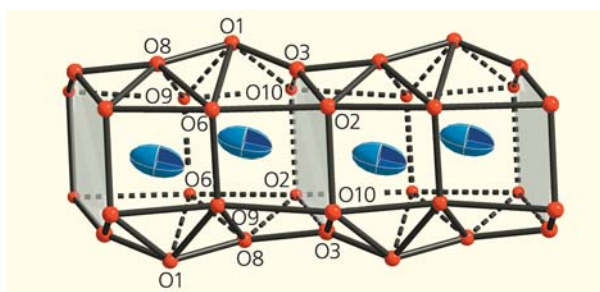


Рис.5. Схематичное изображение канала с молекулами воды.

* * *

Открытый при нашем участии кальцинаксит — первый водный член группы литидионита. Он может рассматриваться как потенциальный компонент цемента и бетона. Кроме того, его существование развеяло миф о том, что соединения со структурным типом литидионита не могут обладать ионообменными свойствами, так как по «приговору» Дж.Феррариса [13] из-за недостаточного размера второго канала они не считаются микропористыми. Наше исследование кальцинаксита показало, что при правильном подборе M^{2+} -катиона и при сохранении Na-димера канал можно расширить и на этой основе синтезировать новые материалы для иммобилизации ионов и малых молекул. ■

Литература

1. Zambonini F. Mineralogia Vesuviana. Napoles, 1935. P.435–439.
2. Martin Pozas J.M., Rossi G., Tazzoli V. Re-examination and crystal structure analysis of litidionite // American Mineralogist. 1975. V.60. P.471–474.
3. Дорфман М.Д., Рогачев Д.Л., Горощенко З.И., Мокрецова А.В. Фенаксит — новый минерал // Тр. Минер. музея АН СССР. 1959. Вып.9. С.152–157.
4. Головачев В.П., Дроздов Ю.Н., Кузьмин Э.А., Белов Н.В. Кристаллическая структура фенаксита $\text{FeNaK}[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ // Докл. АН СССР. 1970. Т.194. №4. С.818–820.
5. Хомяков А.П., Курова Т.А., Нечелюстов Г.Н. Манаксит $\text{NaK MnSi}_4\text{O}_{10}$ — новый минерал // Записки ВМО. 1992. Вып.121 №1. С.112–115.
6. Karimova O., Burns P.C. Silicate tubes in the crystal structure of manaksite // Minerals as advanced materials I. / Ed. S.V.Krivovichev. Berlin, 2008. P.153–156.
7. Aksenov S.M., Rastsvetaeva R.K., Chukanov N.V., Kolitsch U. The microporous crystal structure of calcinaksite $\text{KNa}[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})][\text{Si}_4\text{O}_{10}]$, the first hydrous member of the litidionite group of silicates with $[\text{Si}_8\text{O}_{20}]_8^-$ tubes // Acta Crystallographica. B. 2014. In press.
8. Chukanov N.V., Aksenov S.M., Rastsvetaeva R.K., et al. Calcinaksite, $\text{KNaCa}(\text{Si}_4\text{O}_{10}) \cdot \text{H}_2\text{O}$, a new mineral from the Eifel volcanic area, Germany // Mineralogical Magazine. 2014. In press.
9. Chose S., Wan C. Agrellite, $\text{Na}(\text{Ca}, \text{RE})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}$: a layer structure with silicate tubes // American Mineralogist. 1979. V.64. P.563–567.
10. Рождественская И.В., Никишова Л.В. Кристаллическая структура стронциевого агреллита $\text{Na}(\text{Ca}, \text{Sr})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}$ из чароититов Якутии. Политипия агреллитов // Кристаллография. 1998. Т.43. С.637–645.
11. Brandgo P., Rocha J., Reis M.S., et al. Magnetic properties of $\text{KNaMSi}_4\text{O}_{10}$ compounds (M = Mn, Fe, Cu) // J. Solid State Chemistry. 2009. V.182. P.253–258.
12. Рождественская И.В., Баннова И.И., Никишова Л.В., Соболева Т.В. Уточнение кристаллической структуры фенаксита $\text{K}_2\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{Si}_8\text{O}_{20}$ // Докл. РАН. 2004. Т.398. №4. С.524–528.
13. Cadoni M., Ferraris G. Synthesis and crystal structure of $\text{Na}_2\text{MnSi}_4\text{O}_{10}$: relationship with the manaksite group // Rend. Fis. Acc. Lincei. 2011. V.22. P.225–234.
14. Durand G., Vilminot S., Richard-Plouet M. et al. Magnetic behavior of $\text{Na}_2\text{MSi}_4\text{O}_{10}$ (M = Co, Ni) compounds // J. Solid State Chemistry. 1997. V.131. P.335–340.

Рецензии **Велик ли вред морю от нефти?**

В.Б.Коробов,

доктор географических наук

Северо-западное отделение Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН
Архангельск

Сначала казалось, что нефть приносит людям только пользу. Однако аварии танкеров и разливы нефти при эксплуатации месторождений показали, насколько опасны катастрофические разливы. Ясно, что пока не прекратится транспортировка нефти морским путем и по подводным нефтепроводам, пока продолжается разработка морских нефтегазовых месторождений, аварии неизбежны. Увы, рост числа и масштабов загрязнений в результате разливов нефтепродуктов будет продолжаться и в будущем. Если не принять своевременно меры, последствия могут стать катастрофическими. Увеличение объемов добычи, производства и транспортировки полезных ископаемых в морской среде, несомненно, должны привести к увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Как сама нефть, так и входящие в ее состав полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами, включены странами ООН в общий перечень наиболее важных (приоритетных) загрязняющих веществ. Поэтому актуальность монографии Инны Абрамовны Немировской, посвященной многоплановой проблеме нефтяного загрязнения различных районов Мирового океана, не вызывает сомнения.

Комплексные исследования нефти и нефтепродуктов находятся в фокусе внимания во многих странах. В книге на современном уровне представлены как материалы новых литератур-

ных публикаций, так и многочисленные данные автора по состоянию нефтяного загрязнения морских акваторий от Арктики до Антарктики. Анализ проведен по их источникам (антропогенным, природным) и масштабам поступления загрязнений. Автором убедительно показано, что в последние годы наметился устойчивый тренд уменьшения поступлений углеводородов (УВ) из антропогенных источников за счет снижения сбросов промышленных и балластных вод и числа аварийных ситуаций.

Обобщение проведенных исследований показало, что загрязнение моря, так же как и распределение природных нефтяных соединений, происходит по геосферам — семи внешним и одной внутренней, т.е. в атмо-, гидро-, крио-, био-, седименто- и литосфере, в их взаимодействии. Основную массу (до 95%) нефти и нефтепродуктов составляют УВ. Поэтому современная система экологического мониторинга (из-за сложности анализа) основана на определении содержания УВ, которых называют нефтяными углеводородами. Таким образом, термин «нефтяное загрязнение» подменяется понятием «углеводородное загрязнение», при этом роль нерастворимых компонентов нефти, а также полярных веществ в ее составе игнорируется. Инна Абрамовна провела исследования УВ во всех геосферах в сопоставлении с содержанием суммарной экстрагируемой фракции (липиды), во взвеси — в сопоставлении с содержанием взвеси, взвешенного органического углерода и хлорофилла, а в осадках —



И.А.Немировская.

НЕФТЬ В ОКЕАНЕ: ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ПРИРОДНЫЕ ПОТОКИ.

М.: Научный мир, 2013. 432 с.

с содержанием $C_{\text{орг}}$. Такой подход дал возможность получить достаточно объективное представление о происхождении УВ и представить реальную картину нефтяного загрязнения морских акваторий. Седиментологические и геохимические исследования, проведенные автором, могут быть фундаментальной основой для создания системы глобального мониторинга нового поколения. Поэтому в монографии используется не только результаты мониторинга, фиксирующего мгновенные концентрации загрязняющих веществ, но и система, которая дает представление об направлениях загрязнений, изменениях, скоростях, о дальнейшем развитии процесса (как это принято при геохимических исследованиях).

Для разработки эффективных мер по борьбе с загрязнением морей нефтепродуктами необходимо определить их источники, физико-химические и механические свойства, пространственное распространение и глубину проникновения. Нужно учитывать, что распространение антропогенных УВ происходит на существующем в природе устойчивом биогеохимическом фоне. Поэтому при оценке нефтяного загрязнения необходимо разделять природную и антропогенную составляющие. Без изучения фоновых концентраций и состава УВ невозможно выделить антропогенные соединения. Если для ксенобиотиков, таких как пестициды, эти концентрации равны нулю, то для нефтяных УВ дело обстоит сложнее. Основная цель, которую ставила перед собой автор книги, — определить вклад антропогенных УВ в общее нефтяное загрязнение, наблюдаемое в морских акваториях, т.е. получить реальную картину загрязнения различных морей нефтью. Как показано в монографии, важнейшими для исследования стали геохимические барьерные зоны, где наиболее интенсивно происходят процессы рассеивания и концентрирова-

ния различных соединений. Это в конечном счете дает возможность не только фиксировать сам факт загрязнения, но и проследить во времени его трансформацию, изменение концентраций потоков в связи с разными причинами, а также определить успешность работ по очистке района от загрязнений. Инна Абрамовна подробно обсуждает в книге сходство и различие нефтяных УВ, поступающих с загрязнением, и существующих в морской среде, их поведение в различных климатических зонах. Ее личный вклад выразился в изучении двух различных классов углеводородов — алифатических и ПАУ. В итоге это позволило дать наиболее объективное представление о поведении УВ в Мировом океане.

Несмотря на многочисленные работы по этой проблеме, в настоящее время нет единого мнения по оценке влияния нефтяных загрязняющих веществ на экосистемы морей. В частности, в документах международных проектов экологического мониторинга состояния морей Арктики отмечается, с одной стороны, «относительная чистота арктической среды» по сравнению с другими регионами мира и, с другой стороны, «острые локальные и региональные проблемы», связанные с освоением нефтегазовых месторождений на шельфе российских морей Арктики. Именно с этим связано столь большое внимание, уделенное в книге уникальным материалам по распределению УВ в снежном покрове и льдах, которые способны аккумулировать загрязняющие вещества в течение длительного времени. В связи с увеличивающейся добычей нефти в Арктике и на шельфе дальневосточных морей такие исследования становятся все более актуальными.

Изучение взаимодействия нефти со льдом показало, что ледяной покров на всех стадиях его образования сильно замедляет процессы трансформации нефти, способствует образова-

нию устойчивых эмульсий, аккумулирует нефть в значительных количествах и полностью блокирует ее перенос под слоем льда. Установлено, что при трансформации нефтяных УВ на многолетних льдах в Арктике основную роль играют ветровые процессы, а на припайных, пористых антарктических льдах — фильтрация по капиллярам и каналам стока, обусловленная конвективно-диффузионным механизмом переноса. Лед, как насос, концентрирует органические соединения из снега и воды. Поэтому увеличение концентраций УВ в импактных районах происходит в снеге и в верхней части льдов, а в фоновых районах — на границе лед—вода.

Инна Абрамовна также установила, что УВ могут транспортироваться снегом и льдом в латеральном и вертикальном направлениях на значительные расстояния. На распределение УВ в толще льда влияние оказывает не только его возраст, сколько условия его образования и дрейф. Впервые при изучении припайного снежно-ледяного покрова было зафиксировано явление гипоксии в антарктических льдах. Связано это с большой толщиной фирна и льда, а также со значительным количеством диатомовых водорослей (образующих органические соединения), сконцентрированных в нижней части многолетнего льда. Вопреки распространенному мнению о затухании окислительных процессов при низких температурах установлено, что льды могут обладать каталитическими функциями за счет увеличения количества микроорганизмов. Разложение автохтонных органических соединений, сопровождающееся интенсивным потреблением кислорода, приводит к образованию сероводорода. Немировская отмечает, что если в Арктике в связи с потеплением климата произошло уменьшение толщины льда, то в Восточной Антарктике из-за более низких температур

в последние годы вскрытия припайных льдов не наблюдалось.

Анализ уровней УВ (содержания и состава алифатических УВ и ПАУ) в водах и донных осадках Карского, Баренцева и Белого морей показал, что нефтяное загрязнение фиксируется в основном в мелководной прибрежной зоне, вблизи городов, портов и гаваней. В шельфовых частях наиболее продуктивных районов добывают также нефть и газ, и, как следует из мировой статистики, здесь происходит большинство аварийных разливов. Мониторинг в акватории месторождений осложняется также из-за естественного просачивания УВ из толщи донных осадков. С этим связано то большое внимание, которое в книге уделено поведению УВ в акваториях эксплуатируемых месторождений в Балтийском, Каспийском и Охотском морях. Полученные там данные позволили установить, что в районах месторождений динамика концентраций УВ обусловлена преимущественно

естественными природными процессами (флюидными потоками из толщи осадков, обрастанием платформ). Загрязнение же морских акваторий происходит не при эксплуатации месторождений, а при транспортировке нефти. Основным источником загрязнений прежний — несанкционированный сброс судами нефтепродуктов.

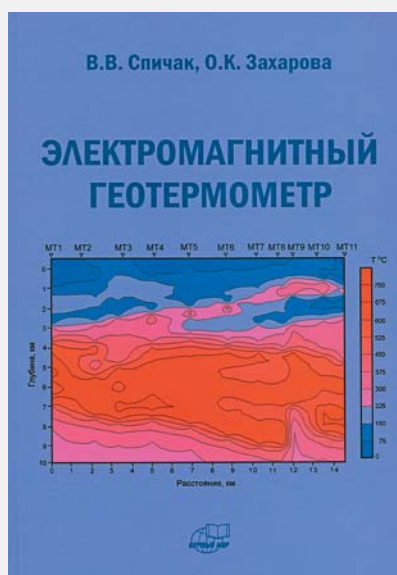
Ранее считалось, что большая часть загрязнений поступает с речным стоком. В монографии детально рассмотрены изменчивость концентраций и состава УВ в устьевых областях Северной Двины, Оби, Енисея, Волги и других рек. В результате установлено, что нефтяные УВ, поступающие с речным стоком, не попадают в открытые районы моря. Барьер река—море служит фильтром (район маргинального фильтра рек по А.П.Лисицыну), препятствующим поступлению загрязнений в открытые морские районы. В зоне смешения речных и морских вод выпадают в основном высокомоле-

кулярные УВ, в частности бенз(а)пирен и другие канцерогенные полиарены. По мере удаления от таких районов в сторону открытого моря количество загрязняющих веществ уменьшается до величин, регистрация которых становится невозможной на фоне естественной динамики природных процессов. Поэтому мнение о том, что основное загрязнение несут реки, явно преувеличено.

Книга Немировской — крупное фундаментальное исследование по геохимии нефтяного загрязнения морской среды. Она представляет несомненный научный интерес для всех специалистов-океанологов, в особенности при экологических исследованиях Мирового океана. Монография принесет несомненную пользу инженерам, занимающимся проектированием морских нефтегазовых платформ, объектов транспортной инфраструктуры, танкерного флота, а также специалистам в области охраны окружающей среды. ■

Геофизика

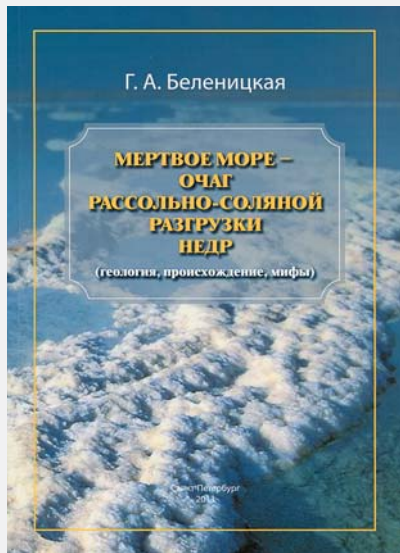
В.В.Спичак, О.К.Захарова. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ГЕОТЕРМОМЕТР. М.: Научный мир, 2013. 172 с.



Электромагнитный термометр — это новый метод косвенной оценки температуры земных недр, основанный на зависимости удельной электропроводности горных пород от температуры. В монографии рассмотрены методические аспекты применения так называемого косвенного, или бесконтактного, геотермометра в режимах интерполяции температуры на межскважинное пространство и экстраполяции на глубины ниже забоя скважин. Предложенные методы позволяют вовлекать в практическое использование практически недоступные для разведочного бурения геотермальные резервуары, расположенные на глубинах 3—8 км. Показаны способы построения моделей температуры по магнитовариационным данным и исследованы вопросы точности прогноза температур в зависимости от количества и типа калибровочных термограмм, влияния точности модели удельного сопротивления, используемой для прогноза температур, а также геологических и гидрогеологических характеристик среды. На примерах двумерных и трехмерных моделей температур известных геотермальных областей Травале (Италия), Сульц-су-Форе (Франция) и Хенгидль (Исландия) показано, как с их помощью можно судить о доминирующих механизмах переноса тепла, о локализации его источников, а также сужать область неопределенности при выборе мест бурения новых скважин.

Геология

Г.А.Беленицкая. МЕРТВОЕ МОРЕ — ОЧАГ РАССОЛЬНО-СОЛЯНОЙ РАЗГРУЗКИ НЕДР (ГЕОЛОГИЯ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ, МИФЫ). СПб.: Филологический факультет СПбГУ, 2013. 112 с.



Соленосный (и солянокупольный) бассейн грабена Мертвого моря составляет весьма небольшой по площади участок Средиземноморского пояса и Циркумаравийского соляного кольца. Значительная часть его поверхности погружена под рассолы Мертвого моря (озера), уровень которого находится на максимальных для открытых водоемов глубинах — более чем на 400 м ниже уровня океана. Мертвое море можно отнести к числу наиболее интересных и интригующих соляных объектов мира, сосредоточию множества загадок, легенд и тайн — научных, культурных, житейских, библейских. Автор рассматривает «необычные» особенности Мертвого моря и порожденные им легенды с позиций геолога, который занимается проблемами солей и связанного с ними разнообразного «солевого сообщества», с учетом установленных закономерностей строения и формирования такого парагенезиса. В книге освещены ключевые черты геологии соленосной грабеновой структуры и специфические особенности рассолов Мертвого моря. Предложена регенерационная (аллохтонная) модель происхождения солей, выполняющих данный грабен. Генезис рассолов моря, по мнению автора, связан с последней стадией истории этого очага — с восходящей разгрузкой глубинных рассолов в голоцене. Специальная глава посвящена интерпретации содомских событий как проявлений активности в очаге рассольно-соляной раз-

грузки недр, регулируемых тектоникой.

Палеонтология. Геология. Палеогеография

С.А.Сафарова. РОЛЬ ПАЛИНОЛОГИИ В РАСКРЫТИИ ТАЙН СУШИ И ОКЕАНА. М.: ГЕОС, 2013. 143 с.

Палинология — одно из направлений палеонтологических исследований, связанное с изучением ископаемых остатков спор, пыльцы, микроскопических водорослей и других организмов. Палинологический метод позволяет проводить корреляцию континентальных и морских отложений, вскрывать климатические и антропогенные изменения природных систем, он незаменим в определении возраста нефтесодержащих толщ и угленосных отложений. Книгу открывает рассказ об истории становления этого метода, который направлен на изучение как растительного мира прошлого, так и осадочных пород. Следующие главы посвящены методикам анализа изучаемых палинологами объектов и основным этапам летописи природной среды прошлого. Особое внимание уделено применению палинологических данных в различных областях геологических и биологических наук: при изучении эволюции растительных организмов, в лесной типологии, в геологии полезных ископаемых и нефтяной геологии, в гидрогеологии, в почвоведении, а также в археологии и медицине (в аллергологии). Вторая половина книги посвящена проведенным автором палинологическим исследованиям отложений в акваториях Берингова и Японского морей, моря Лаптевых, Индийского и Тихого океанов.



Зоология. Ботаника

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМАТИКИ / Отв. ред.: А.Ф.Алимов, С.Д.Степаньянц / Тр. Зоологич. ин-та РАН. Прил.2. М.; СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 269 с.

В Зоологическом институте РАН 18–21 апреля 2011 г. прошла конференция «Современные проблемы биологической систематики, созванная для обсуждения теоретических оснований современной систематики. В книге собраны статьи по докладам, прочитанным на этой конференции и вызвавшим наибольший интерес и дискуссию.

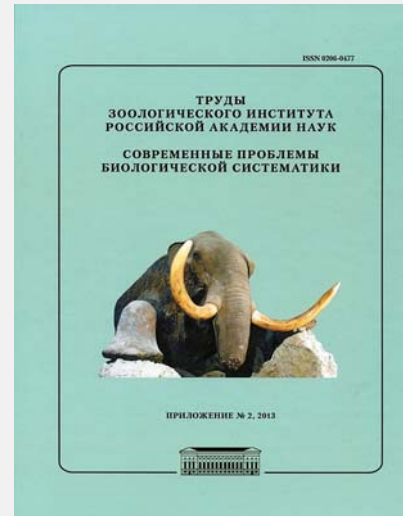
Тексты сгруппированы в четыре раздела:

«Систематика: развитие идей» — *В.В.Алёшин* «Филогения беспозвоночных в свете молекулярных данных: перспективы завершения филогенетики как науки», *В.А.Лухтанов* «Принципы реконструкции филогенезов: признаки, модели эволюции и методы филогенетического анализа», *Е.Г.Потапов* «Морфобиологический подход в филогенетике (возможности и ограничения)», *А.П.Расницын* «Методология классификации: подходы Прокруста, Платона и Линнея»;

«Филогенез, онтогенез и систематика» — *А.О.Аверьянов* «Значение ископаемых для реконструкции филогении», *Л.Я.Боркин* и *С.Н.Литвинчук* «Гибридизация, видообразование и систематика животных», *О.С.Воскобойникова* «Использование признаков ранних стадий развития в реконструкции филогении и систематике (на примере костистых рыб)»;

«Проблемы систематики отдельных таксонов» — *С.Ю.Синёв* «Обзор современных представлений о системе класса насекомых», *Н.В.Зеленков* «Система птиц (Aves: Neornithes) в начале XXI века», *А.О.Фролов* и *А.Ю.Костыгов* «Простейшие, протисты и протоктисты в системе эукариот», *И.А.Шанцер* «Филогения и систематика недавно дивергировавших групп на примере рода *Rosa*»;

«Методические вопросы систематики и филогении. Вопросы номенклатуры и диагностики» — *Н.И.Абрамсон* «Молекулярная и традиционная филогенетика. На пути к взаимопониманию», *Д.В.Гельтман* и *И.В.Соколов* «Ботаническая номенклатура: специфика и современные тенденции развития», *Н.Г.Богуцкая* «Место зоологической номенклатуры в эпоху развития информационных технологий», *А.Л.Лобанов*, *А.Г.Кирейчук*, *С.Д.Степаньянц* и *И.С.Смирнов* «Диагностические ключи: от текстовых дихотомических до компьютерных».



Биология в зеркале карикатуры

Там, где наука «доказывает» — через наш разум, искусство «показывает» истины свои через наши чувства: зрение, слух.

А.Сидоров. 1919 г.

Р.А.Фандо,

кандидат биологических наук

Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН

Москва

Карикатура обладает несомненной ценностью как исторический источник. Изучение рисунков, высмеивающих различные стороны деятельности ученых, позволяет проследить многие аспекты социокультурной составляющей науки своего времени и взглянуть на хрестоматийных героев несколько с другой стороны. При этом карикатура выступает одновременно и как информационный источник, и как яркая иллюстрация, существенно дополняющая представления об отношении к ученым.

Искусствоведы достаточно давно занимаются историей политической карикатуры, анализируя как творчество отдельных художников, так и целые художественные направления. В последнее время появляются работы, в которых карикатуры рассматриваются не с искусствоведческих позиций, а в качестве исторического источника, отражающего внутренние и внешние государственные процессы [1–4].

Известный специалист по истории отечественной карикатуры А.В.Голубев считает, что политическая карикатура как жанр зародилась на Западе и была в основном ориентирована на образованное меньшинство. В России развитие этого жанра немного задержалось в связи с противодействием со стороны властей и цензуры. Только в Советском Союзе карикатура начала стремительно набирать популярность и превратилась в действительно массовое искусство, став своеобразным мостиком между властью и обществом [5].

В XX в. политика как никогда оказывала заметное влияние на развитие науки, в особенности биологии. Благодаря открытию материальных основ наследственности и объяснению явлений природы языком биохимии многие традиционные естественнонаучные дисциплины пережили глобальную трансформацию. На достижения в области изучения живого обратили внимание политики, общественные деятели, а также представители различных слоев населения. О научных открытиях говорили не только специалисты, это стало достоянием миллионов. Положение дел в различных исследовательских областях обсуждалось на страни-

цах центральных газет, изображалось в документальной хронике и художественных фильмах. Не обошли стороной научные проблемы сатирики и карикатуристы. Возьмем на себя смелость выделить наряду с политической и бытовой еще и «научную карикатуру», главная тема которой — жизнь сообщества ученых и оценка научных открытий.

Если говорить о научной карикатуре, выполненной не профессиональным ученым, а художником, то перед нами складывается обобщенная картина, сформировавшаяся в представлениях обывателя и отражающая общественные настроения определенного исторического времени. Причем по количеству рисунков, появившихся из-под карандаша карикатуристов, можно оценить степень вовлеченности науки в общественно-политические и культурные процессы государства.

Тенденции развития научной карикатуры в советский период легко проследить по страницам журнала «Крокодил», который выпускался с 1922 по 2000 г. В 1920-х годах на его страницах рисунки, высмеивающие «негативные» аспекты деятельности ученых, были лишь единичными примерами. К началу 1930-х число их значительно увеличилось. Апогеем же был 1948 г., когда состоялась печально известная сессия ВАСХНИЛ, после чего был наложен официальный запрет на генетические исследования. Именно к концу первой половины 20-го столетия дискуссии на биологическом фронте стали приобретать в значительной степени не научный, а идеологический статус, все больше проникая в общественную и политическую сферы.

Евгеника как объект карикатуры

Первые два десятилетия XX в. в России прошли в постоянном круговороте глобальных событий: Первая мировая и Гражданская войны, Февральская и Октябрьская революции, крушение религиозных традиций и провозглашение новой морали социализма. Для молодой Страны Советов важна была вера в коренные преобразования всех сторон жизни человека, в особенности его мировоззрения. Масштабный эксперимент предполагал не только духовно-нравственные, но и анатомо-фи-



«Мы — выСШАя раса!...». Подпись к фотомонтажу: «Американский профессор-физиолог Бриттон выдвинул проект создания искусственным путем новой породы человекоподобных обезьян для использования их в качестве рабов и дешевого пущечного мяса».

Р.Матусевич (Крокодил. 1950. №20. С.8)

зиологические изменения нескольких поколений строителей коммунизма. Идеи создания сверхчеловека в России мгновенно дали всходы на научном поле, привлекая к данным вопросам медиков, генетиков и эндокринологов. Пути практического воплощения мечты о человеке новой формации в реальности оказались самыми разнообразными. Так, например, в 1920-х годах И.И.Ивановым с целью выведения новой породы людей были предприняты попытки гибридизации человека и человекообразных обезьян (подробно о проекте получения гибридов человека и обезьян см. [6]). Спус-

тя десятилетия к подобной идее обратились зарубежные исследователи. Попытки европейских и американских биологов преобразовать природу человека также обсуждались и высмеивались метким пером сатиры. Примером тому служит фотомонтаж «Мы — выСШАя раса!», выполненный Р.Матусевичем. Данная карикатура высмеивает американского профессора-физиолога Бриттона, автора проекта, предполагавшего селекцию новой породы человекообразных обезьян. Причем в данной карикатуре времен «холодной войны» в первую очередь бросается явно политический, а не научный контекст. Мы видим, как обезьяна с человеческим лицом и флагом США в руках восседает на земном шаре, на котором уже отмечены будущие военные американские базы. Прогноз карикатуриста очевиден — глобальная колонизация планеты со стороны Соединенных Штатов любыми методами, в том числе с помощью искусственно выведенных пород человекообразных обезьян.

В 1920-х годах одним из самых обсуждаемых ученых на страницах газет и журналов был профессор Серж Воронов. Он руководил опытами по омоложению путем пересадки половых желез. Воронов провел первую в истории медицины пересадку человеку половых органов обезьяны, став прототипом профессора Преображенского из известного романа М.А.Булгакова. О.П.Белозеров, описывая медицинскую практику Воронова, отмечает, что число проведенных им операций неуклонно росло: если к 1922 г. он сделал их 12, то в течение 1923 г. — 30, а всего к 1926 г. — около 1000 [7, 8]. Операции, обещавшие мгновенное омоложение, приобрели в России и за рубежом небывалую популярность. В 1926 и 1927 гг. в Институте экспериментальной биологии И.Т.Коган вводил мужчинам бычью тестикулярную жидкость, надеясь провести омоложение организма испытуемых, повысить трудоспособность и улучшить их память [9].

В журнале «Крокодил» за 1923 г. можно увидеть изощтку Д.Мельникова, в которой нарисован рабочий с обезьянкой на поводке. Из монолога мужчины становится понятно, что он сопровождает совсем не представителя отряда приматов, а бывшего фабриканта, увлекшегося идеей омоложения и реализовавшего все это на практике. Рядом с рисунком приведена еще и выдержка из газеты: «Директор зоологического сада в Буэнос-Айресе проф. Онелли выступил с предостережением против практикующегося в последнее время пересаживания обезьяньих желез людям в целях омоложения. Проф. Онелли заявляет, что если указанная операция будет практиковаться несколькими поколениями людей, то результатом будет... обратное превращение человека в обезьяну».

В №34 «Крокодила» за 1923 г. можно встретить также карикатуру Ивана Малютина на эксперименты профессора Воронова. Она называется «Обезьяний бунт». На рисунке изображены при-

маты, вышедшие с транспарантами на защиту своих прав от научного произвола.

Научные пути решения проблемы омоложения и продления жизни вызывали повышенный интерес среди общественности. Благодаря прессе такие идеи быстро получили широкую известность (с немалым оттенком сенсационности) и положили начало популярной в 1920-х годах иллюзии о том, что наконец найдено действенное средство достижения старой как мир мечты человечества. Упомянутые исследователи не были единственными, кто пытался достичь омоложения методами эндокринологии, однако в силу разных обстоятельств именно с ними в общественном мнении персонифицировался эндокринологический подход к решению данной проблемы.

Идея создания человека с новыми возможностями организма была близка и первым русским евгенистам, обеспокоенным происходящими во всем мире процессами вырождения человечества. Большую роль в распространении взглядов на улучшение человеческой природы сыграло Русское евгеническое общество, созданное в 1920 г. Одним из важнейших факторов, приведших к высокой результативности евгенической науки в России, стала научно-организационная деятельность лидеров национального евгенического движения: Н.К.Кольцова, Ю.А.Филипченко, А.С.Серебровского, В.В.Бунака, М.В.Волоцкого.

Своеобразие исследовательских подходов в отечественной евгенике было обусловлено «первичной» специализацией ее лидеров. Научные традиции, привнесенные ими из классических биологических дисциплин, способствовали развитию в России ее как научной области. Анализ методологической базы отечественной евгеники показывает, что она включала в себя два самостоятельных направления: антропогенетику, изучающую наследственность человека, и антропотехнику, ставящую перед собой цели улучшения рода. Антропотехника в нашей стране, в отличие от заграничной, не имела практического выхода. Значительного развития в СССР достигло лишь антропогенетическое направление, так как оно находило поддержку со стороны фундаментальной науки и практических интересов общества. В отечественной традиции между евгеникой и антропогенетикой ставился знак равенства. Поэтому термин «евгеника» в СССР имел несколько иной смысл, чем на Западе. Он включал в себя в основном исследование наследственности человека.



Подпись к карикатуре: «Рабочий (обезьяне): Да, был ты когда-то фабрикантом. Так тебе и надо! Не омолаживайся!..»
Д.Мельников (Крокодил. 1923. №46. С.1237)

Тем не менее, отечественные исследования по генетике человека подверглись серьезной критике со стороны общественности. Странники наследования благоприобретенных признаков критиковали евгенистов за недооценку новых социальных условий в процессе формирования личности, в то



«Обезьяний бунт». Подпись к рисунку: «Профессор Воронов придумал способ пересадки обезьяньих желез человеку для его омоложения».
И.Малютин (Крокодил. 1923. №34. С.1044)



Карикатура «Генетик». Автор неизвестен.

же время высмеивались мысли о возможности селекционной работы в человеческом обществе. Такой накал страстей, да еще если в научные споры вмешивались посторонние для науки политические и идеологические факторы, могли выдержать немногие.

Кроме того, в те годы евгенические проблемы пытались решить некоторые страны, к которым советское общество относилось враждебно. В довоенной Германии и Италии процветали идеи расовой гигиены с четко выраженными националистическими оттенками. В книге А.Гитлера «Мейн Кампф», ставшей программной для нацистского режима, можно четко увидеть идеи практической евгеники. Гитлер писал, что народное государство ставит интересы расы в центр общественной жизни и обязано следить за чистотой расы. Дети и их здоровье для государства должны быть наивысшей ценностью. Поэтому обществу необходимо заботиться о том, чтобы только здоровые люди производили потомство. Гитлер высказал евгеническую идею о том, что существует страшный грех: будучи больным и ущербным производить на свет детей, и наивысшая доблесть — отказаться от этого. И, наоборот, следует считать обязанностью производство здоровых детей для нации, а государство должно служить гарантом будущего нации, по сравнению с которым желания и способности отдельных индивидов — ничто. Для этих целей, по его мысли, общество должно было поставить на службу все средства новейшей медицины. Государство, говорил он, обязано объявить неспособными к воспроизводству больных с отягощенной наследственностью и практически отстранить их от этого и, наоборот, следует позаботиться о том, чтобы плодovitость здоровых женщин не ограничивали финансовые трудности, превращающие деторождение в проклятие для родителей (цит. по [10]).

В действительности, проникнувшись идеями евгеники, немецкий фашизм на практике сумел осуществить масштабный эксперимент: около 400 тыс. людей в Германии были стерилизованы, 100 тыс. пациентов психиатрических клиник были расстреляны или отравлены газом в рамках так называемой «акции Т4» (эвтаназия неполноценных), среди них были и дети. После официального окончания акции в 1942 г. до конца войны еще 120 тыс. пациентов погибли от голода, поскольку им, как неполноценным, было отказано в питании. Около 6 млн евреев и цыган были убиты, погибли в концентрационных лагерях только из-за обвинения их в принадлежности к низшей расе.

В «Русском евгеническом журнале» некоторое время даже издавались зарубежные программы негативной евгеники, что, безусловно, вызывало отрицательное отношение к этой науке в общественном сознании. Подобным образом объяснял закрытие Русского евгенического общества и сам ее президент Кольцов: «Когда в Германии проявились первые признаки фашизма, я резко оборвал евгенику сам, без каких бы то ни было внешних давлений, закрыл Евгеническое общество, прекратив издание журнала, закрыл евгенический отдел в институте» [11].

Изобразительными средствами евгенику обвинили в расизме, создавая в общественном сознании образ ученых-генетиков как пособников фашизма и шовинизма. На одном из рисунков Ю.Ганфа мы видим двух экспериментаторов, которые используют в качестве подопытного кролика просто-



«Самый дешевый». Подпись к рисунку: «По-настоящему, герр профессор, для этого опыта нужна обезьяна, а не человек. — Да у нас на кроликов средств не хватает, не то что на обезьяну!».

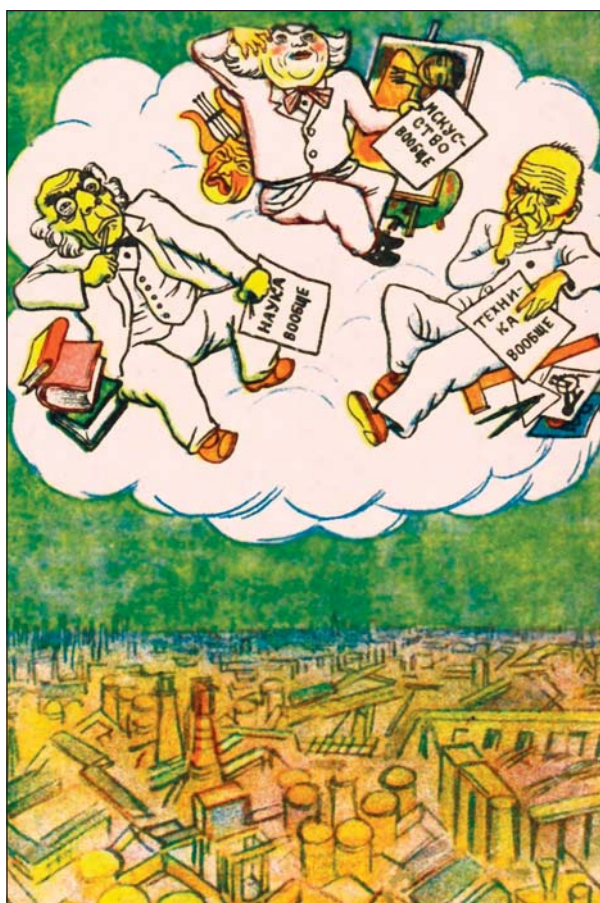
Ю.Ганф (Крокодил. 1936. №27. С.3)

го человека. Под рисунком дан диалог между учеными, который указывает на то, что данные опыты проводятся пока только в нацистской Германии.

Как известно при национал-социализме проводились эксперименты над людьми, которые порой заканчивались летальным исходом для испытуемых. Э.Н.Колчинский справедливо заметил [12], что данные работы проводились под строжайшим секретом и даже не попадали в реферативные журналы и научные обзоры того времени. Тем не менее ряд организаторов подобных античеловеческих опытов был приговорен к смертной казни на Нюрнбергском процессе, в том числе: руководитель Института гигиены СС И.Мруговский и директор Анатомического института в Страсбурге А.Хирт.

В отечественной биологии не проводилось никаких мероприятий по стерилизации или уничтожению наследственно дефективных людей, также не реализованы предлагавшиеся евгенические проекты по улучшению национального генофонда, как это было сделано на Западе. Советские ученые, в отличие от своих зарубежных коллег, основной упор делали на научную разработку вопросов биологии человека и популяризацию научных знаний.

Более того, государство активно контролировало деятельность научных организаций и планирование научно-исследовательской работы на годы вперед. Так, например, на Всесоюзной конференции по планированию генетики и селекции, проходившей в Ленинграде в 1932 г., было решено, что с этого времени работы по генетике и се-



Подпись к рисунку: «Наука и искусство на многих участках еще оторваны от интересов и нужд социалистического строительства.

*По воздушным океанам
Без руля и без ветрил
Без увязки с промфинпланом
Сонмы ПЛАВАЮТ "светил".*

Л.Генч (Крокодил. 1931. №14—15. С.13)



«Наука и практика». Подпись к рисунку: «Профессор: Итак, мой труд по одомашниванию лисицы закончен. — А где же ваша опытная лисица, профессор? — Видите ли, она, к сожалению, снова одичала, еще когда я сидел над третьим томом.

Л.Бородаты (Крокодил. 1936. №11. С.12)

лекции растений будут проводиться с целью немедленного получения практических результатов и по направлениям, соответствующим официальной доктрине диалектического материализма.

Важнейшим критерием оценки научных исследований периода 1930—1940-х годов в СССР служила практическая значимость работы. Это было напрямую связано с многочисленными призывами партии подтянуть теорию к практике и включиться в творческую работу на благо социалистического строительства. Тех, кто отходил в своих работах от главного курса правительства, нещадно клеймили и преследовали. На страницах сатирических изданий можно было встретить карикатуры, высмеивающие безрезультатность проводимых учеными экспериментов и значительный отрыв науки от практики. Образ «науки в облаках» изобразил Л.Генч, сопроводив рисунок подписью: «Наука и искусство на многих участках еще ото-

рваны от интересов и нужд социалистического строительства».

Художник Л.Бородаты в рисунке «Наука и практика» изобразил профессора, сообщающего о завершении серии экспериментов по одомашниванию лисицы, которая в конце концов снова одичала. Автор данной карикатуры оказался совсем не прозорлив, спустя годы опыты по domestикации лисиц принесут генетику Д.К.Беляеву* мировую известность.

Карикатуры на классическую генетику и физиологию

В конце 1940-х годов происходила открытая борьба между представителями классической генетики и мичуринской биологии. Архивные документы подтверждают тот факт, что разгром отечественной генетики был спланирован заранее руководством страны. 7 июля 1948 г. Д.Т.Шепилов и М.Б.Митин на рассмотрение А.А.Жданову представили проект «О мичуринском направлении в биологии» [13].

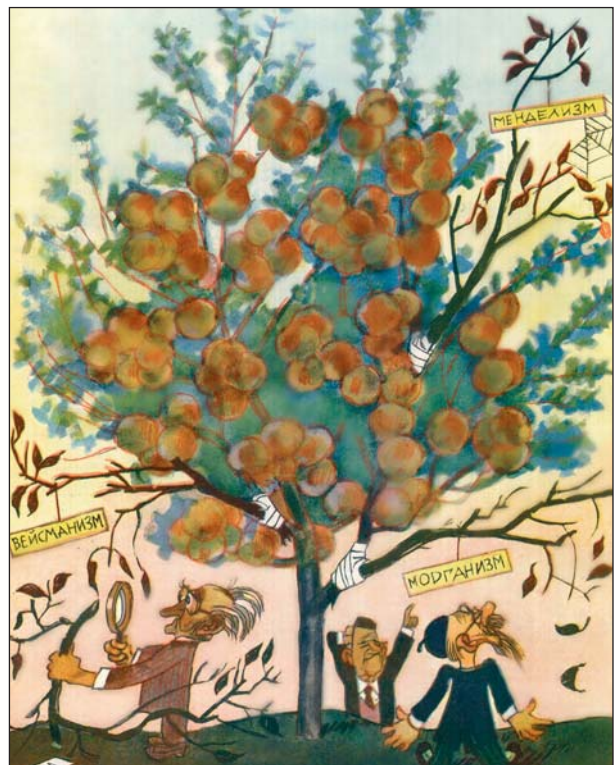
10 июля А.А.Жданов и Г.М.Маленков направляют И.В.Сталину проект сообщения в ЦК ВКП(б) «О положении в советской биологической науке» [14]. В этом документе рассматривается вопрос о невозможности существования в советской биологии «реакционно-идеалистического менделевско-моргановского направления, основателями которого являются буржуазные биологи — Вейсман, Мендель и Морган и последователями их в советской биологической науке — акад. И.И.Шмальгаузен, профессора А.Р.Жебрак, Н.П.Дубинин, Н.К.Кольцов, А.С.Серебровский, М.С.Навашин и др.» [14, л.105]. Авторы проекта необоснованно обвиняют генетиков в том, что те понимают живую природу постоянной и неизменной. Зато представители мичуринской оппозиции награждаются хвалебными эпитетами: «Вслед за трудами И.В.Мичурина исследованиями Т.Д.Лысенко доказано, что своим активным воздействием на растение путем создания определенных условий человек может влиять на развитие растений в нужном ему направлении... Для мичуринского биологического направления в биологии характерно подлинное новаторство, смелая борьба против старых, отживших канонов и обветшалых догм, т.е. как раз то, что требует тов. Сталин от деятелей советской науки...» [14, л.119]. Далее предлагается конкретная программа по «преодоле-

* Дмитрий Константинович Беляев (1917—1985) — советский генетик, академик АН СССР (1972), с 1959 по 1985 г. директор крупнейшего генетического центра нашей страны — Института цитологии и генетики Сибирского отделения АН СССР. Занимался изучением влияния искусственного отбора на изменение поведения и окраски меха у пушных зверей, вопросами эволюционной генетики, экспериментальным воспроизводством процессов domestикации.



«Кабинетная флора». Подпись к рисунку: «Из-за этих комнатных растений, профессор, Вам не видно мичуринского сада».

К.Елисеев (Крокодил. 1948. №24. Рис. на обложке)



«Незадачливые экспериментаторы». Подпись к рисунку: «Не привилось!».

М.Черемных (Крокодил. 1948. №26. С.12)

нию чуждого науке менделизма»: «В науке, как и в политике, противоречия разрешаются не путем примирения, а путем открытой борьбы» [14, л.123]. Открытая борьба началась не только средствами научных дебатов, сюда добавились и выступления в прессе, и даже карикатурные изображения «вейсманистов-морганистов», наиболее понятные и доступные для обывателей. Буквально один за другим на страницах журнала «Крокодил» в номерах 24, 26, 30 за 1948 г. стали появляться рисунки, агитирующие за борьбу с формальной генетикой и развитие «мичуринской биологии», а работа К.Елисеева «Кабинетная флора» была даже вынесена на обложку августовского выпуска.

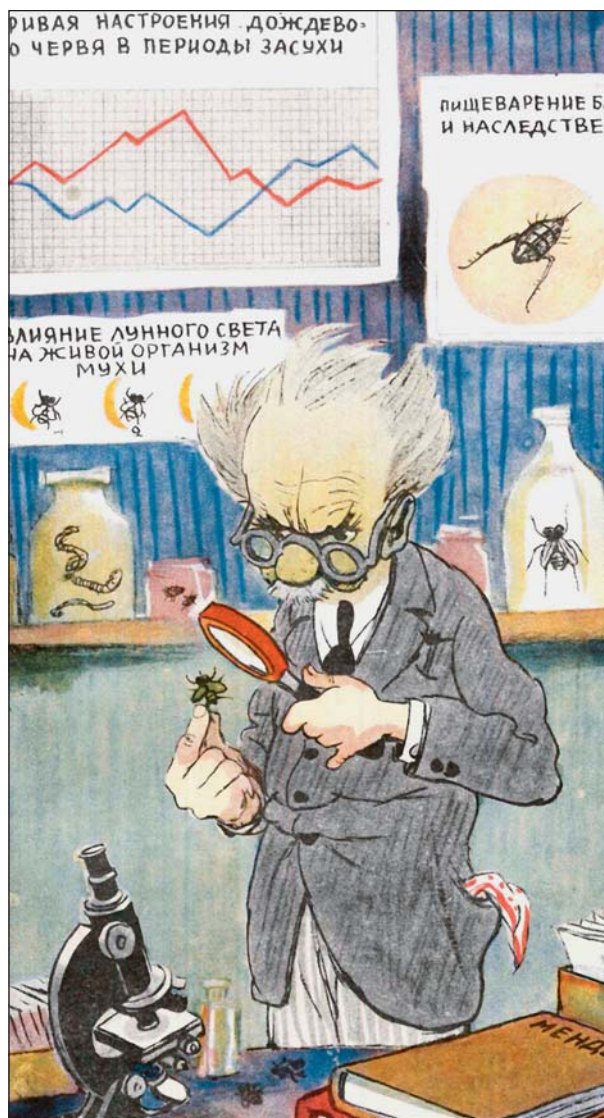
На советских карикатурах 1940-х годов генетики изображены беспомощными недотепами, которые заняты «пустыми» экспериментами, не выдерживающими никакой критики. На рисунке А.Каневского «Менделист-морганист на катке» изображен ученый-генетик, который не может устоять на катке, так же как и его наука не может «устоять» перед реальными законами природы.

Продолжением печально известной августовской сессии ВАСХНИЛ была Павловская сессия (совместная сессия Академии наук СССР и Академии медицинских наук СССР), состоявшаяся в Ленинграде в 1950 г. На ней критиковались ушедшие в сторону от «столбовой» дороги учения И.П.Павлова физиологи — Л.А.Орбели, И.С.Бериташвили, Л.С.Штерн. В действительности это был только повод для нападок. Сам Орбели, будучи учеником Павлова, на этой сессии заявил, что «стремился охватить, культивировать все важные и новые направления, вытекающие из учения Павлова» [15].

В качестве удара пером художника Г.Валька по «физиологам-оппортунистам» в 1950 г. в журнале «Крокодил» появился рисунок «Условный рефлекс», где в качестве подписи к рисунку взяты слова Э.Айрапетьянца, произнесенные им на Павловской сессии.

Павловская сессия имела негативные для физиологии и практической медицины последствия. «Было объявлено, что вся медицина должна опираться на павловское учение, так же как педагогика и биология. Широкое распространение получил метод лечения сном. Во что обошлось лечение сном взрослых, мы не знаем. Но лечение сном детей обошлось слишком дорого. <...> Практика имела самые отрицательные последствия для медицины. Барбитураты давали детям с первых недель жизни» [16].

К сожалению, советское общество, активно обрабатываемое партийной идеологией, искренне верило в силу «новой биологической науки», которая



«Мушиная возня». Подпись к рисунку: «Единственная новая порода “продуктивного скота”, выведенная вейсманистами». И.Семенов (Крокодил. 1948. №30. С.5)



«Менделист-морганист на катке». Подпись к рисунку: «Что касается вопроса об устойчивости на коньках, то кажется, у меня получилось то же самое, что и с вопросом об устойчивости наследственности».

А.Каневский (Крокодил. 1948. №34. С.9)



«Условный рефлекс». Подписи к рисунку: «...идеи Павлова и павловская физиология не только не господствуют в вузах, но принижены, а подчас и вовсе отсутствуют» (из речи доцента Э. Айрапетьянца на научной сессии Академии наук СССР и Академии медицинских наук СССР). «О высшей нервной деятельности мы, молодые врачи, знаем лишь то, что критика действует на нервы начальству!...»

Г. Вальк (Крокодил. 1950. №21. С.5)

должна была преобразовать живую природу для нужд простого человека. Поколение ученых, вышедших из народа, вселяло веру в людей и давало надежду на подъем советской науки и на рассвет рабоче-крестьянского общества.

Особенности жанра

Информация о достижениях науки для большинства населения была скудной и малодоступной в силу ограниченности каналов поступления и отсутствия определенной базы у обывателей для восприятия и понимания результатов научных исследований. При этом интерес простого населения к научным успехам всегда был очень высок. Транслировать научные достижения для широких слоев помогают и научно-популярные издания, и музейные выставки, и познавательные рубрики в распространенных изданиях. Особенно сложно вести пропаганду знаний среди малограмотного населения, здесь на помощь приходят изощренные и изощренные, позволяющие быстро и без особого труда воспринимать лозунги и визуальные образы.

Известный карикатурист Д.С.Моор* писал: «С точки зрения простоты восприятия и экономии времени рисунок по своим внутренним композиционным качествам охватывается сразу в одну какую-нибудь долю времени, а его детальное рассмотрение может быть, может и не быть — смысл его выясняется быстрее, чем смысл статьи, фельетона, заметки» (цит. по [17]).

Для отечественной карикатуры было характерно обилие деталей и многочисленных подписей — эпиграфа, определяющего основной смысл данной карикатуры, названия, подрисовочных подписей, надписи на тех или иных элементах рисунка, цитата из беседы между действующими лицами рисунка.

Другая особенность научной карикатуры — образность. По рисунку мы можем судить, что за образ олицетворяет ученый: если отрицательный — то это шовинист, фашист, религиозный ортодокс, оппортунист или сторонник старого режима; а если положительный — то это выходец из народа, патриот своей страны, человек с чистыми и добрыми намерениями, работающий на благо других.

Отрицательные персонажи изображались особым образом: крючковатый нос, орлиный глаз с ехидным прищуром, костлявая или ожиревшая фигура. Иногда ученые представлялись в «зверином стиле». Так на карикатуре К.Елисеева «Дарвиновские дни в Америке» буржуазные ученые нарисованы в обезьяньем облике с угрожающими клыками и агрессивными мордами.

Возможно, что благодаря сильному эмоциональному воздействию карикатур еще очень долго среди обывателей ходили слухи о зверствах ученых-генетиков, пособников западного империализма и фашизма, о «врагах народа», скрывающихся за маской преданных науке и родине ученых.

Как известно, восприятие новой идеи в значительной мере зависит от того, каким образом она

* Дмитрий Стахивевич Орлов (Моор) (1883—1946) — советский график, заслуженный деятель искусств РСФСР (1932). Один из родоначальников советского агитационно-политического плаката, мастер сатирического рисунка.

сможет проникнуть в общую систему уже воспринятых идей. Обычно общество весьма консервативно и придерживается определенных политических, экономических, моральных и религиозных взглядов. Если какая-то новая идея не соответствует принятым догмам, то люди начинают реагировать на нее антагонистически. Поэтому сформировать устойчивое мнение в отношении того или иного явления или человека бывает очень сложно и под силу лишь профессиональному журналисту, сценаристу, режиссеру, художнику. Только талантливые карикатуры могли бы создать стереотипы в отношении науки, которые были длительное время устойчивы и проявляли себя еще многие десятилетия в общественном сознании.

Научная карикатура тиражировалась в большем количестве, чем научные издания (так тираж журнала «Крокодил» в 1922 г. составлял 150 тыс. экземпляров, а уже в 1923 г. — 500 тыс.), была более доступна для восприятия общественностью, чем содержание профессиональных журналов, поэтому играла весомую роль в формировании «образа науки». В XX в., как никогда ранее, содержание биологических исследований во многом зависело от общественно-политических факторов и определялось зачастую социальными запросами государства. Производство научного знания в некоторой степени происходит не столько как поиск осново-

полагающих законов природы, сколько как процесс, связанный с контекстом применения этого знания, с представлениями о социальных потребностях и потенциальных потребителях. Научковед Д.В.Ефременко справедливо заметил: «Производство научного знания становится рефлексивным процессом, необходимым элементом которого является учет его социальных импликаций. По сути дела, научное исследование сталкивается с задачей социальной легитимации его результатов. Оно все сильнее стремится учесть социальные ценности, политические цели, а также всё возрастающее влияние средств массовой информации» [18].

Отечественная биология в первой половине 20-го столетия приобрела среди населения имидж науки, стремящейся не только познать, но и преобразовать природу, и природу человека в том числе. Иницируя интерес к физиологическим, генетическим и особенно эвгеническим проблемам со стороны государства, биология ощутила на себе сильное идеологическое влияние. Рассмотренный нами период в отечественной истории был самым кризисным с точки зрения взаимодействия между наукой и политикой, что повлекло за собой серьезные социальные последствия. Эти последствия кардинально изменили не только судьбы ученых, но и людей весьма далеких от проблем, ставших предметом научных и политических конфликтов. ■

Литература

1. Голубев А.В. «Наш ответ Чемберлену»: советская политическая карикатура 1920—1930-х годов // Историк и художник. 2004. №2. С.122—139.
2. Голубев А.В. Образ Европы в советской карикатуре 1920—30-х годов // Тр. Ин-та Российской истории РАН. М., 2005. Вып.5. С.273—294.
3. Голубев А.В. Визуальные образы войны в советской карикатуре межвоенного периода // Очевидная история. Проблемы визуальной истории России XX столетия. Челябинск, 2008. С.269—284.
4. Голиков А.Г., Рыбаченок И.С. Смех — дело серьезное. Россия и мир на рубеже XIX—XX веков в политической карикатуре. М., 2010.
5. Голубев А.В. «Звериный стиль» в советской политической карикатуре межвоенного периода // От великого до смешного... Инструментализация смеха в российской истории XX века. Челябинск, 2013. С.239—262.
6. Россианов К.О. Опасные связи: И.И.Иванов и опыты скрещивания человека с человекообразными обезьянами // Вопросы истории естествознания и техники. 2006. №1. С.3—51.
7. Белозеров О.П. Мечта, ставшая явью? М.М.Завадовский об эндокринологических методах омоложения 1920—1930-х гг. // Экспериментальная биология: страницы истории / Отв. ред. Е.Б.Музрукова, ред.-сост. Р.А.Фандо. М., 2013. С.101—119.
8. Белозеров О.П. Серж Воронов: врач, лечивший старость // Биология в школе. 2013. №8. С.22—27.
9. Архив РАН. Ф.450. Оп.4. Д.8. Л.29, 30.
10. Хен Ю.В. Евгеника: основатели и продолжатели // Человек. 2006. №3. С.80—88.
11. Астауров Б.Л. Николай Константинович Кольцов: Биобиблиографический указатель. М. 1976. С.25.
12. Колчинский Э.И. Биология Германии и России — СССР в условиях социально-политических кризисов первой половины XX века (между либерализмом, коммунизмом и национал-социализмом). СПб., 2007.
13. Российский государственный архив социально-политической истории (РГАСПИ). Ф.77. Оп.1. Д.991. Л.3—83.
14. РГАСПИ. Ф.77. Оп.1. Д.991. Л.104—126.
15. Григорьян Н.А. Научная династия Орбели. М., 2012. С.178.
16. Аршавский М.А. О сессии «двух Академий» // Репрессированная наука. Вып.2. СПб., 1994. С.239—242.
17. Голубев А.В. Политическая карикатура 1920—1930-х гг. как часть советской повседневности // Повседневный мир советского человека 1920—1940-х гг. Ростов-на-Дону, 2009. С.352.
18. Ефременко Д.В. Производство научного знания и российское научное сообщество: социально-политические аспекты // Наукведение и новые тенденции в развитии российской науки. М., 2005. С.222.

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естественных наук: 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, желающим 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
М.Б.БУРЗИН
Т.С.КЛЮВИТКИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
О.И.ШУТОВА
А.О.ЯКИМЕНКО

Выпускающий редактор
Л.П.БЕЛЯНОВА

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

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 18.06.2014
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать
Заказ 513
Набрано и сверстано в редакции

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