

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

5 18



Главный редактор
академик, доктор физико-математических наук **А.Ф.Андреев**

Заместитель главного редактора
доктор физико-математических наук **А.В.Бялко**

доктор биологических наук **А.С.Апт**, доктор геолого-минералогических наук **А.А.Арискин**, член-корреспондент, доктор физико-математических наук **П.И.Арсеев**, **О.О.Астахова**, доктор биологических наук **Ф.И.Атауллаханов**, член-корреспондент, доктор юридических наук **Ю.М.Батурич**, доктор биологических наук **Д.И.Берман**, доктор биологических наук **П.М.Бородин**, **М.Б.Бурзин**, доктор физико-математических наук **А.Н.Васильев**, член-корреспондент, доктор филологических наук **В.И.Васильев**, кандидат биологических наук **М.Н.Воронцова**, доктор физико-математических наук **Д.З.Вибе**, кандидат физико-математических наук, доктор биологических наук **М.С.Гельфанд**, академик, доктор физико-математических наук **С.С.Герштейн**, профессор **А.Глухов** (**A. Glukhov**, США), академик, доктор физико-математических наук **Г.С.Голицын**, доктор химических наук **И.С.Дмитриев**, кандидат биологических наук **С.В.Дробышевский**, академик, доктор физико-математических наук **Л.М.Зеленый**, академик, доктор биологических наук **Н.А.Зиновьева**, академик, доктор биологических наук **А.Л.Иванов**, профессор **Т.Йованович** (**T. Jovanović**, Сербия), доктор биологических наук **С.Л.Киселев**, кандидат географических наук **Т.С.Клювиткина**, член-корреспондент, доктор физико-математических наук **М.В.Ковальчук**, доктор биологических наук **С.С.Колесников**, **Е.А.Кудряшова**, профессор **Е.Кунин** (**E. Koonin**, США), доктор геолого-минералогических наук **А.Ю.Леин**, член-корреспондент, доктор биологических наук **В.В.Малахов**, профессор **Ш.Миталипов** (**Sh. Mitalipov**, США), доктор геолого-минералогических наук **Т.К.Пинегина**, доктор сельскохозяйственных наук **Ю.В.Плугатарь**, доктор физико-математических наук **М.В.Родкин**, академик, доктор биологических наук **Л.В.Розенштраух**, кандидат географических наук **Ф.А.Романенко**, академик, доктор физико-математических наук **А.Ю.Румянцев**, член-корреспондент, доктор биологических наук **Н.И.Санжарова**, доктор физико-математических наук **Д.Д.Соколов**, кандидат физико-математических наук **К.Л.Сорокина**, кандидат исторических наук **М.Ю.Сорокина**, **Н.В.Ульянова**, академик, доктор биологических наук **М.А.Федонкин**, академик, доктор физико-математических наук **А.Р.Хохлов**, академик, доктор физико-математических наук **А.М.Черепашук**, академик, доктор физико-математических наук **Ф.Л.Черноусько**, член-корреспондент, доктор химических наук **В.П.Шибяев**, **О.И.Шутова**, кандидат биологических наук **А.О.Якименко**

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Соцветие *Grevillea pteridifolia* (семейство Proteaceae). Северная Австралия. По молекулярно-филогенетическим данным протейные — ближайшие родственники платанов и лотосов.
См. в номере: **Интервью с Д.Д.Соколовым**. *Эволюционная морфология цветка и проблема больших данных*.

Фото М.В.Ремизовой

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Птенцы серой цапли. Ярославская обл., Некоузский р-н, окрестности поселка Борок, остров Радовский. 9 июня 2010 г.
См. в номере: **Д.В.Кулаков, А.В.Крылов**. *Влияние птиц на среду обитания*.

Фото Д.В.Кулакова



В НОМЕРЕ:**3** **Интервью с Д.Д.Соколовым**
Эволюционная морфология цветка и проблема больших данных

Самое интересное в биологии — найти прежде не известный науке эволюционный запрет. Возможно, ботаники Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова находятся в преддверии такого открытия, и «путеводной нитью» в их поиске стали обширные морфологические и молекулярно-филогенетические данные, обобщенные участниками международного проекта eFLOWER для реконструкции модели древнейшего цветка.

12 **М.Ю.Поваренных, Е.Н.Матвиенко, А.В.Павликов, Т.Б.Шаталова****Первая находка углеродных нанотрубок в природе**

Углеродные нанотрубки диаметром ~10 Å были синтезированы в высокотемпературных условиях с катализаторами в виде металлических или карбидных наночастиц. В природе ранее они не встречались. Имеются лишь сообщения о находке углеродных микро- и субмикротрубок в нефти буровой скважины, в природных графитовых глобулах из сульфидных руд и в шунгитах.

22 **Д.В.Кулаков, А.В.Крылов****Влияние птиц на среду обитания**

В местах гнездования колониальных птиц образуются особые формы микрорельефа, орнитогенные почвы и орнитофильная растительность; в водоемах отмечено повышенное содержание органических соединений углерода и азота, а также видовое богатство зоопланктона.

32 **А.В.Лопатин****Эволюционная история китообразных: морское путешествие продолжительностью 55 миллионов лет**

Палеонтологические и молекулярно-генетические открытия последнего времени позволяют детально реконструировать этапы эволюционной истории китообразных. В ней четко фиксируются переходы от наземных форм к полуводным, от полуводных к прибрежно-морским и от прибрежно-морских к океаническим.

43 **Е.Н.Черных****Культуры *Ното*: узловые сюжеты миллионолетней истории**

Голоцен: фейерверк культур и их парадоксы
На фоне культур палеолита биосоциальные формирования голоцена поражают изобилием и разнообразием форм. Возникает горно-металлургическое производство. В Евразии появляются гигантские металлургические провинции. Но прогресс не был плавным: технологические взлеты нередко сменялись глубокими провалами.

Вести из экспедиций**57** **О.Н.Артаев, Б.А.Лёвин, Н.Дж.Мустафаев, Е.П.Симонов****Ширванская плотва — закавказский реликт?****В.В.Тахтеев****Банка Дриженко в озере Байкал (62)****Заметки и наблюдения****68** **В.Г.Кузнецов****Образцы продолжают рассказывать****Времена и люди****73** **А.М.Портнов****Бурпала — минералогический заповедник?****83****Новости науки**

Горячие ванны помогают бороться со стрессом не только людям, но и макакам (83). Родословная лошади Пржевальского пересмотрена? **Е.В.Сидорова** (84). Эрозия горных пород увеличивает содержание углекислого газа в атмосфере (86). Гигантский предок современных пингинов (87).

87**Новые книги****Рецензии****88** **Э.И.Колчинский**

Книга о великом ученом и научном подвиге всей его жизни (на кн.: С.Е.Резник. Эта короткая жизнь. Николай Вавилов и его время)

Редакционная почта**95** **А.А.Даневич****На пути к катастрофе**

CONTENTS:

- 3 Interview with D.D.Sokoloff**
Developmental Morphology of Flower and the Problem of Big Data
The most interesting thing in biology is to find not known to science evolutionary prohibition. Perhaps the botanists of Lomonosov Moscow State University are on the eve of such a discovery. The extensive morphological, molecular, and phylogenetic data, summarized by the participants of the international project eFLOWER for the reconstruction of the model of the ancient flower, have become a guiding thread of their search.

- 12 M.Yu.Povarennykh, E.N.Matvienko, A.V.Pavlikov, T.B.Shatalova**
The First Findings of Carbon Nanotubes in Nature
Carbon nanotubes with the diameter ~10 Å were synthesized under high-temperature conditions with catalysts in the form of metallic or carbide nanoparticles. They had not been met in nature before. There are only reports on the findings of carbon micro- and submicrotubes in the oil of a borehole, in natural graphite globules from sulphide ores and in schungites.

- 22 D.V.Kulakov, A.V.Krylov**
Environmental Role of Birds
Specific forms of microrelief, ornithogenic soils, and ornithophilous vegetation are formed in the nesting places of colonial birds; an increased content of organic compounds of carbon and nitrogen, as well as species richness of zooplankton were determined in reservoirs.

- 32 A.V.Lopatn**
Evolutionary History of Cetaceans: a Sea Voyage Lasting 55 Million Years
Recent paleontological and molecular discoveries made it possible to reconstruct in detail the stages of the evolutionary history of cetaceans. It clearly fixes the transitions from terrestrial forms to semi-aquatic, from semi-aquatic to coastal-marine, and from coastal-marine to oceanic ones.

- 43 E.N.Chernykh**
Homo Cultures: the Nodal Questions of the Million'Years History
 Holocene: the Fireworks of Cultures and Their Paradoxes
Against the background of Paleolithic cultures, the bio-social formations of the Holocene are striking in abundance and variety of forms. The mining and metallurgical production appeared. Giant metallurgical developed in Eurasia. But progress was not smooth: technological ups were often replaced by deep failures.

- Notes from Expeditions**
57 O.N.Artaev, B.A.Levin, N.Dzh.Mustafayev, E.P.Simonov
Caucasian Relict Fish – Azerbaijani Spring Roach
V.V.Takhteev
Bank Drizhenko in the Baikal Lake (62)

- Notes and Observations**
68 V.G.Kuznetsov
Samples Continue to Tell

- Times and People**
73 A.M.Portnov
Is Burpala a Mineralogical Reserve?

- Science News**
83
Hot baths help to deal with stress not only to people, but also to macaques (83). Was the genealogy of the Przewalski's horse revised? E.V.Sidorova (84). Erosion of rocks increases the content of carbon dioxide in the atmosphere (86). Giant ancestor of modern penguins (87).

- 87** **New Books**

- Book Reviews**
88 E.I.Kolchinsky
A Book about the Great Scientist and the Scientific Feat of His Life
 (on the book: S.E.Reznik. This Short Life. Nikolai Vavilov and His Time)

- Editorial Mail**
95 A.A.Danevich
Towards a Disaster

Эволюционная морфология цветка и проблема больших данных

Интервью с Д.Д.Соколовым

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова (Москва, Россия)

Начало 2018 г. ознаменовалось оживленной дискуссией об эволюции репродуктивных органов покрытосеменных (цветковых) растений. После того как участники международного проекта eFLOWER представили на суд коллег объемную модель древнейшего цветка, нарисованную с учетом результатов анализа большого массива данных о современных растениях, российские и английские ученые проанализировали опубликованные исходные данные, и вышел в свет их критический комментарий. А в марте 2018 г. авторы реконструкции «первоцветка» выступили с ответной статьей. О значении развернувшегося обсуждения для научного поиска редактору нашего журнала рассказал член-корреспондент РАН, доктор биологических наук Дмитрий Дмитриевич Соколов, заведующий кафедрой высших растений биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Ключевые слова: эволюция, Международный проект eFLOWER, покрытосеменные растения, цветок, молекулярно-филогенетическое дерево, морфология, гомология.

Дмитрий Дмитриевич, ответ исследователей проекта eFLOWER на статью, опубликованную в American Journal of Botany сотрудником Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова и Королевских ботанических садов Кью (Великобритания), не заставил себя ждать: оппоненты частично признали погрешности в данных, на которых основана реконструкция древнейшего цветка, но согласились с Вами и Вашими коллегами не во всем [1–3]*. Расскажите, пожалуйста, подробнее о предмете расхождений.

В действительности все мы работаем над близкими задачами, и я уверен, что коллеги согласятся — главный смысл нашей научной дискуссии заключается в том, чтобы донести до широкого круга биологов следующую мысль: вопросы эволюционной морфологии очень интересны, важны, до сегодняшнего дня не решены, и решить их очень трудно. Ясно, что для реализации проектов такого масштаба, как eFLOWER, нужны совместные усилия очень многих квалифицированных специалистов и большие капиталовложения. Я думаю, что конструктивная полемика в связи с представленной моделью древнейшего цветка продолжится [4]. Но прежде чем ответить на вопрос



Д.Д.Соколов

* Список литературных источников составлен совместно с Д.Д.Соколовым и приведен в конце интервью для более полного освещения обсуждаемой темы. — *Примеч. ред.*

о предмете настоящего обсуждения, остановлюсь на коренной проблеме, обусловившей возникновение проекта eFLOWER.

Около 25 лет назад специалисты научились в широком масштабе привлекать молекулярные данные для изучения эволюции цветковых растений. Очень быстро удалось проанализировать эту информацию и получить внутренне непротиворечивое представление о том, как выглядит эволюционное (филогенетическое) дерево покрытосеменных. На макроуровне эта практическая задача была решена молекулярными методами всего лишь за несколько лет. На рубеже XX—XXI вв. многие важные представления филогенетической систематики покрытосеменных, изначально выстроенные на основе широкого привлечения морфологических данных, пришлось серьезно пересмотреть. (Когда я говорю о классическом сравнительно-морфологическом подходе, то имею в виду не только данные о внешней морфологии, но и об анатомии растений и т.д. — все, что принималось учеными во внимание до привлечения ДНК к построению эволюционных деревьев.) Минуло еще 18 лет, и никаких новых революций в понимании структуры филогенетического дерева цветковых растений не случилось. Теперь было бы интересно понять: означает ли это, что, используя морфологические либо молекулярные данные, мы даем разные ответы на вопрос о том, как эволюционировали цветковые растения? Существует ли такой конфликт между разными типами данных [5], и если да, то в чем его причины? Кому-то это может показаться странным, но я считаю, что в действительности мы не знаем, есть ли конфликт между морфологическими и молекулярными данными, и очень трудно придумать, как это выяснить: сами методы работы с морфологическими и молекулярными данными, способы их анализа настолько различаются, что непонятно, как сравнивать полученные результаты. Попытаюсь проиллюстрировать это на примере.

Как по молекулярным данным мы узнаем о ходе эволюции? Этот анализ можно сравнить с сопоставлением рукописных текстов, представляющих собой последовательные копии некоего оригинала («общего предка»), сделанные в разные годы разными переписчиками. Только в данном случае роль букв выполняют четыре азотистых основания — аденин, гуанин, цитозин, тимин. А роль рукописей — виды организмов. Пусть их выборка составляет 200 единиц. По горизонтали мы выстраиваем «текст» анализируемого участка ДНК этих организмов, включающий, например, 500 нуклеотидов (т.е. многократное чередование тех же четырех «букв»), а по вертикали — виды, причем «текст» каждой последующей копии должен быть расположен строго над предыдущей копией, чтобы их можно было легко сравнить. И при изучении получившейся картины оказывается, что «переписчики» делали случайные ошибки — один из

них переставил местами «буквы», другой поменял «слово», и при последующем копировании «текста» другим «переписчиком» эти ошибки были повторены, а затем перешли в более поздние «рукописи». Так мы обнаруживаем мутации, их наследование. Условно говоря, из 200 «рукописей» в 50 может быть написано «корова», а затем в 150 — «бык». И можно предположить, что ошибка пошла от одного «переписчика» — создателя общего предка всех остальных «рукописей» с этим измененным «словом».

Подобная система анализа работает, если признаков много. Интуиция подсказывает, что если есть 100 видов, то нужно не менее 100 (а на самом деле — больше!) описанных признаков. На этой основе мы строим эволюционное дерево по молекулярным данным (по «тексту» ДНК). Методы его построения сложные и разные, но не об этих деталях сейчас речь. Можем ли мы затем построить эволюционное дерево по морфологическим признакам и сравнить эти деревья между собой? К сожалению, в большинстве случаев не можем. Если мы захотим выстроить эволюционное дерево по морфологическим данным для выборки из 100 видов растений по 100 впервые описываемым признакам, то для описания последних потребуются работа целого института, ведь для характеристики иного морфологического признака нужно ехать в экспедицию, искать растения в природе на нужной стадии развития, потом кропотливо изучать материал в лаборатории с использованием разных типов микроскопов и т.д. И вот мы возвращаемся к исходной проблеме: если поставить задачу выявить противоречие между молекулярными и морфологическими данными, то нужно провести практически нереальную работу.

Характеризуя морфологические признаки растений, мы получаем суждения иного типа, нежели при описании молекулярных данных. Сравнить их зачастую невозможно. Между тем в домолекулярную эпоху были построены эволюционные деревья, высказывались очень важные идеи, от многих положений мы не отказались и сегодня. Некоторым ученым кажется, что молекулярные данные перевернули все с ног на голову, но это впечатление пока не удастся проверить в полной мере.

Участники проекта eFLOWER поставили перед собой задачу приблизиться к разгадке?

Не совсем так. Тут требуются дополнительные пояснения. Дело в том, что молекулярные данные представляют интерес только постольку, поскольку мы знаем о морфологии организма. Тогда мы можем интерпретировать полученную информацию. В нашей голове за этими «буквами» есть образ, и он — морфологический. Но исследования морфологии растений предполагают интерполяцию данных: мы традиционно делаем обобщения по небольшому материалу на основе экспертной оценки. До сих пор этот подход давал довольно

надежные результаты, хотя интерполяция колоссальная. Как проводить ее в дальнейшем: должен ли остаться экспертный метод оценки или появятся некие количественные методы?

Сейчас, разумеется, никто не строит филогенетические деревья для богатых видами групп организмов только на основе морфологии, все понимают, что эта задача — из числа неразрешимых. Но построение такого дерева на основании молекулярных данных во многих случаях — уже практически решенная задача; возможно, в этом направлении ничего нового уже не произойдет [6], и потому развитие исследований в ближайшее время будет связано с интерпретацией молекулярных данных в рамках морфологии. Например, ученые хотели бы узнать, как эволюционировали отдельные морфологические признаки.

А теперь обратимся к задаче проекта eFLOWER. Авторы исследования о древнейшем цветке проанализировали, как эволюционировали конкретные морфологические признаки растений. Например, как изменялось число тычинок цветка. Они взяли репрезентативную выборку (792 вида), подобранную очень аккуратно, чтобы отобразить в исследовании почти все выделяемые сейчас порядки и большинство семейств покрытосеменных, и проанализировали более 20 признаков. Информация была получена из доступных и вызывающих доверие литературных источников за большой период систематических исследований — начиная с XIX в. Очень важно и, пожалуй, принципиально ново, что в собранном авторами огромном массиве данных для каждого состояния признака у каждого вида есть отсылка к конкретной публикации, где эти сведения были документированы. Но всего науке известно почти 300 тыс. видов цветковых растений (точно их число установить трудно, одна из последних оценок — 295 383 [7]), т.е. коллеги включили в исследование чуть более 1/4 процента этого разнообразия. По такой матрице данных разработать гипотезу о родственных связях между группами цветковых растений нереально, но авторы ставят другую задачу — с помощью разных (одного довольно простого и нескольких сложных) методов «наложить» показатели по каждому морфологическому признаку на молекулярно-филогенетические деревья и предложить вероятные сценарии эволюционных преобразований *отдельных признаков*.

Итак, на основе молекулярных данных построено эволюционное дерево почти для 800 видов. Мы видим родственные связи и можем попробовать проследить, как эволюционировало, к примеру, число тычинок у каждого вида. Пройдем по каждому признаку от последних «рукописей» к «первоисточнику», проверим, что получится в самых ранних «текстах» (хочу еще раз подчеркнуть, что это совсем не просто, так как есть разные способы такого анализа, зачастую дающие разные результаты!). По логике авторов проекта,

если соединить признаки известных древнейших растений, можно приблизиться к разгадке морфологии первого цветка. Точнее, цветка ближайшего общего предка всех ныне живущих покрытосеменных растений.

Казалось бы, этот алгоритм разумен. Но если мы посмотрим на матрицу исходных данных, то увидим, что там колоссальное число пропусков. Если не существует публикации, в которой достоверно описан конкретный признак у конкретного вида, то авторы оставляли пустую ячейку, принципиально не пытаясь интерполировать данные. На самом деле даже у банальных растений есть большое число не описанных с достаточной четкостью признаков. Если мы хотим заполнить ВСЕ пустые ячейки, нужно потратить огромные усилия. А еще важно проверить, нет ли ошибок в уже заполненных ячейках...

Не изучены многие вещи. Например, вид описан для науки, но число лепестков никто никогда не считал, потому что растение нашли и описали в плодах в каких-нибудь высокогорьях Новой Гвинеи, а больше его никто не собирал (и дай бог, чтобы леса, где оно росло, еще не вырубил). Таких примеров множество. Описывая морфологию цветков в подобной ситуации, мы либо исходим из косвенных свидетельств, либо должны получить прямые данные (фотографии, описания), а это — дело, требующее затрат.

Нельзя ли привлечь к работе волонтеров?

У орнитологов есть День всемирного учета птиц, в котором принимают участие все желающие. Я слышал (возможно, это шутка, но правдоподобная), что чаще всего в отчетах волонтеров встречается название «маленькая серенькая птичка». Иными словами, для того чтобы создать полную матрицу, нужны не только деньги и силы, но и очень квалифицированные исполнители. Даже при наличии финансирования не всегда можно решить сложную задачу. Вот почему необходимо сохранить фундаментальное образование.

Мы подошли вплотную к вопросу о слабых сторонах модели древнейшего цветка, предложенной участниками проекта eFLOWER?

В таблице, опубликованной авторами модели, помимо уже названных проблем мы с коллегами из МГУ и Королевских ботанических садов Кью увидели (и отразили в своем комментарии) множество чисто научных вопросов, связанных с гомологией (сопоставимостью) морфологических признаков. Вот простейший придуманный пример (в статье наших коллег есть похожие варианты, но их немного сложнее объяснить). Рассмотрим эволюцию признака «цвет лепестков в цветке». Что может быть проще? А между тем существуют растения, у которых лепестков вообще нет. В таком случае в матрице возникает объективный пропуск.

Очевидно, и удельный вес подобных пробелов будет не таким, как при отсутствии знаний о реально существующих лепестках?

Как анализировать эти пробелы, как их будет воспринимать ведущая подсчет компьютерная программа — вопрос отдельный. Как правило, для компьютера нет разницы в обчете неизвестных и отсутствующих признаков. Однако это еще полбеды. Существуют растения, строение которых сложно интерпретировать, решения не лежат на поверхности. Например, как ответить на вопрос: сколько лепестков у тюльпана? Специалисты с этим справятся, а для многих читателей ответ не очевиден. На первый взгляд, лепестков шесть. Но ботаники не считают их лепестками, а обозначают как листочки простого околоцветника, и все потому, что в цветке с лепестками должны быть еще и чашелистики, а у тюльпана шесть ярко окрашенных листочков не окружены чашелистиком.

Таким образом, правильное заполнение матрицы данных для тюльпана: число лепестков = 0. Интересно, однако, что среди относительно близких родственников тюльпана есть растения с тремя достаточно несомненными чашелистиками и тремя лепестками, причем соответствие этих 3+3 органов шести листочкам тюльпана не вызывает сомнений. (Поэтому запись 0 в графе числа лепестков у тюльпана не так уж однозначна).

Есть и ситуации, когда ботаники на более глубоком уровне расходятся в вопросах морфологии. Суть спора — выявление гомологии. Эта проблема по большому счету не решается с помощью компьютера. И она первична: без ее решения нельзя начинать количественную оценку.

Приведу более сложный пример, связанный с растениями из преимущественно австралийского семейства гидателловых, которое нам довелось изучать [8, 9]. Эти крошечные растения



Цветки трех видов тюльпана и вида рода триллиум (относительно близкого к тюльпану, из того же порядка Liliales): а — *Trillium camschatcense*, б — *Tulipa bifloriformis*, в — *Tulipa biebersteiniana*, з — *Tulipa tarda* (коллекция Ботанического сада МГУ). У тюльпанов околоцветник простой, 6 его листочков образуют 2 круга. У триллиума околоцветник состоит из 3 чашелистиков и 3 лепестков, причем лепестки триллиума соответствуют (гомологичны) трем внутренним листочкам околоцветника тюльпана. Если присмотреться, листочки двух кругов у тюльпана различаются между собой. Внутренние листочки (как и лепестки триллиума!) имеют узкое основание, но в нижней половине заметно расширены.

Фото С.Р.Майорова

по молекулярным данным неожиданно оказались очень близкими к кувшинковым (т.е. занимают положение в самом основании филогенетического дерева покрытосеменных). Семена тех и других растений удивительно схожи между собой в важнейших деталях тонкого строения, при том что целые растения гидателловых меньше одного лепестка кувшинки. А что с цветками? Тычинки и пестики гидателловых собраны в компактные группы, подобные цветкам. Сходство усиливается тем, что вокруг собраний тычинок и пестиков есть чешуйки, которые очень напоминают околоцветник кувшинковых, если исследовать детали их расположения и характер развития. Однако есть серьезнейший аргумент против интерпретации репродуктивных структур гидателловых как цветков: если в них одновременно развиты и тычинки, и пестики, то последние находятся с внешней стороны по отношению к расположенным в центре тычинкам, а это «не положено» настоящему цветку. Поэтому широко принято другое прочтение: каждый пестик гидателловых — это сильно редуцированный женский цветок без околоцветника, а каждая их тычинка — сильно редуцированный мужской цветок без околоцветника. Тогда чешуйки обертки можно сравнить с оберткой корзинок (собраний мелких цветков) в семействе сложноцветных — например, у ромашки или подсолнечника.

Таким образом, есть два разных суждения относительно гомологии репродуктивных структур гидателловых. Выбор одного из них влияет на кодирование сразу нескольких важнейших признаков: наличия и числа листочков околоцветника (или лепестков), тычинок и пестиков в цветке и т.д. Важно также, что в этом и в некоторых других случаях ни одна из конкурирующих точек зрения, вероятно, не является «абсолютно верной», — напротив, обе интерпретации отражают какие-то аспекты реальной ситуации. Все это необходимо принимать во внимание, составляя матрицу исходных данных



Цветок кувшинки (*Nymphaea violacea*) и целое растение представителя семейства гидателловых (*Trithuria lanterna*), воспроизведенные в одном масштабе. Северная Австралия.

Фото М.В.Ремизовой



Изображение обоеполой репродуктивной структуры *Trithuria submersa* из семейства гидателловых получено с помощью сканирующего электронного микроскопа и раскрашено на компьютере: обертка из чешуй, напоминающей околоцветник, показана зеленым цветом, многочисленные пестики — красным, расположенная в центре тычинка — желтым.

для количественного анализа эволюции морфологических признаков. Иными словами, перед работой компьютера существует никак не формализуемая стадия качественной оценки, и здесь возможны споры. Собственно, авторы проекта eFLOWER на десятках страниц электронного приложения подробно объяснили все этапы своей работы,

и этот в том числе. Есть признак, и исследователь для себя принимает решение, как его определить. Затем по 792 видам надо это решение реализовать. Требуется очень большая работа, проведенная на основании литературы. И в матрице возникли отдельные неточности, которые мы увидели.

Проблема гомологии восходит к идеям биологов XVIII—XIX вв. и методологически крайне трудна для того, чтобы передать ее решение машине. Это — алгоритм распознавания образа, формализованная неформализованность. В данный момент ситуация усложняется отсутствием достаточного числа квалифицированных специалистов.

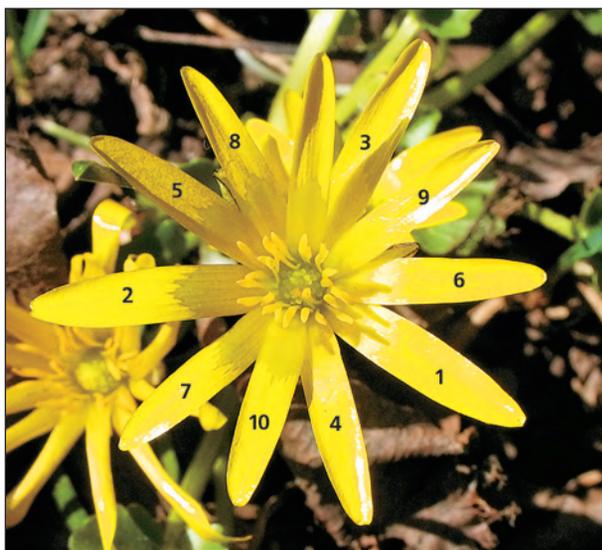
Но названные сложности — только первый пласт главной проблемы, которую мы хотели заострить, открыв дискуссию. Мы подчеркнули: нельзя относиться к отдельным признакам как к дискретным единицам, сложенным вместе. Существуют определенные представления о том, какие морфологические особенности могут совмещаться и какие — нет.

Ваши оппоненты пожертвовали этими представлениями?

Они действовали согласно оговоренному алгоритму: анализировали эволюцию отдельных признаков на основе данных по почти 800 видам цветковых растений. А затем собрали их воедино и получили образ «первоцветка» (используем это слово по аналогии с «прарастением» — *Urpflanze*, —

которое мечтал найти великий Гёте). Мы в свою очередь проанализировали представленные данные, основанную на них модель и чисто интуитивно выделили то, что в этой модели нам показалось несовместимым.

Речь идет о реконструкции расположения органов «первоцветка», и для того чтобы объяснить суть проблемы, необходимо обратиться к базовым понятиям. Существуют два типа размещения органов на оси цветка и листьев на стебле — круговое (оно же циклическое) и спиральное (очередное). Принципиальное различие между ними легче всего уяснить при изучении вегетативных побегов, как это делают в школьном курсе ботаники. При очередном расположении все листья отходят от стебля на разных уровнях (место прикрепления каждого из них называется узел, участки стебля между узлами — междоузлия), а линия, соединяющая последовательно возникающие листья, — это спираль с более или менее постоянным углом между соседними листьями, близким у многих растений к так называемому углу золотого сечения. При круговом, или циклическом, типе к одному узлу прикреплено два листа (супротивное листорасположение) или более двух (мутовчатое листорасположение). Те же закономерности существуют и в расположении органов цветка — чашелистиков и лепестков или листочков простого околоцветника, тычинок, плодолистиков. Только, в отличие от вегетативного побега



Цветки двух растений из семейства лютиковых, иллюстрирующие различие между круговым (циклическим) и спиральным расположением органов. Слева — спиральный цветок чистяка весеннего (*Ficaria ficarioides*); справа — циклический цветок водосбора обыкновенного (*Aquilegia vulgaris*). В каждом случае на цветке пронумерованы органы околоцветника. У чистяка их можно выстроить в непрерывный последовательный ряд с углами между соседними органами, в целом близкими к углу золотого сечения (около 137°). Первые три органа цветка чистяка (чашелистики) на фотографии не видны. У водосбора органы явно сгруппированы в круги по пять в каждом. Если бы мы изучали ранние стадии развития цветка с помощью сканирующего электронного микроскопа, то имели бы возможность ясно увидеть: все органы цветка чистяка (включая тычинки и пестики) расположены по единой спирали, а все органы цветка водосбора расположены в кругах, по пять.

Фото С.Р.Майорова

растения, междуузлия в цветке предельно укорочены, а узлы сближены между собой.

Начиная со второй половины XX в. среди ботаников была особенно популярна теория происхождения покрытосеменных растений, сторонники которой считали очень важным подчеркнуть спиральный характер расположения всех органов в древнейших цветках. Это положение вошло в множество учебников и сводок. Однако авторы проекта eFLOWER пришли к выводу, что «первоцветок» был скорее циклическим, чем спиральным [1]. Они сделали столь интересное заключение, применив сложный математический метод анализа данных о цветках современных растений (один из вариантов байесовского анализа). Ранее ученые пытались использовать более простой (и, честно говоря, гораздо более понятный) метод максимальной экономии, но он давал неоднозначный результат.

Неопределенность в ответе на вопрос, был ли «первоцветок» спиральным или циклическим, возникает из-за того, что часть наиболее близких к «корню» филогенетического дерева современных покрытосеменных растений имеет циклические цветки, а часть — спиральные, причем семейства с этими двумя типами цветков «перемешаны» на филогенетическом дереве. И вот более сложный подход позволил преодолеть старую проблему и склониться к выбору циклического цветка как исходного варианта в эволюции покрытосеменных. Однако авторы обсуждаемой статьи [1] показали первичность циклического расположения только для листочков околоцветника* и тычинок. Расположение женских органов (плодолистиков) примитивного цветка было реконструировано ими как спиральное, а не циклическое.

Журнал «Природа» [10], многие научно-популярные издания написали об этой особенности модели древнейшего цветка, ставшей одним из ключевых моментов возникшей дискуссии, но детально о причинах научного спора сказано не было.

Если вдаваться в подробности, то использование байесовского анализа позволяет ранжировать степень обоснованности сделанных заключений, и уверенность участников проекта eFLOWER в полученных ими выводах о расположении тычинок и плодолистиков была как раз не очень большая. Тем не менее, именно комбинация циклического расположения листочков околоцветника и спирального плодолистиков была выбрана авторами для создания трехмерной художественной модели «первоцветка», которая уже широко репродуцируется и станет весьма популярна в дальнейшем. При образном восприятии этой модели далеко не все люди будут учитывать информацию

* Разделения на чашечку и венчик у «первоцветка» не было. — Примеч. Д.Д.Соколова.



Объемная модель «протоцветка». Реконструкция создана в рамках проекта eFLOWER [1].

о степени уверенности авторов в том или ином конкретном признаке.

Наша критика состоит вот в чем: мы не знаем примеров перехода от циклического расположения тычинок к спиральному расположению плодолистиков у какого-либо современного растения и поэтому предполагаем, что такого перехода не должно было формироваться и у ископаемых предков покрытосеменных. При этом лично мне самым интересным представляется даже не критика опубликованной реконструкции «первоцветка», а осознание того факта, что изменение типа расположения органов при переходе от мужской области цветка к женской, по-видимому, представляет собой «запрещенный» вариант. Найти эволюционный запрет, не описанный ранее в науке, — это очень увлекательно, тем более что нет никакого внятного объяснения, почему в природе предложенного сочетания признаков у цветка не бывает. Теперь мы будем искать причины. Мы полагаем, что они кроются в неких закономерностях регуляции морфогенеза цветка, которые еще предстоит описать.

Получается, что данные проекта eFLOWER стимулировали новый научный поиск?

Конечно, это очень ценные, очень объемные данные. Мы из общих соображений (можно сказать, из личного опыта) предположили, что не должно быть цветков с изменением типа расположения органов при переходе от тычинок к плодолистикам. После этого прицельно просмотрели сведения по всем видам, охарактеризованным в опубликованной фундаментальной статье [1]. И обнаружили в матрице данных буквально единичные виды, для которых по литературным источникам описан такой переход. Мы обратились к первоисточникам, с которыми работали авторы проекта eFLOWER, и оказалось, что либо в публи-

кации вкралась опечатка, либо данные не так интерпретированы и т.д. В целом после внимательного рассмотрения каждого необычного случая мы пришли к выводу: в наборе анализируемых современных видов отсутствуют документированные случаи изменения типа расположения органов при переходе от тычинок к плодolistикам.

Есть ли возможность вступить в полемику с авторами первого описания этих видов?

Если первоисточник датируется XIX или серединой XX в., с автором, увы, спорить поздно, хотя в нашей работе мы порой полемизируем с учеными прошлого. Получилось, что, когда провели анализ большого объема данных, подобные проблемы — опечатки, ошибки описания морфологии — вышли на свет. Если с авторами первоисточников спорить нельзя, то с авторами статьи [1] вполне возможно конструктивное обсуждение. Нам было очень приятно, что в своей ответной статье [3] они согласились с нашей критикой по кодированию указанных нами видов и, главное, с выводом об отсутствии случаев с изменением типа расположения органов при переходе к женской части цветка. Более того, изменив после этого значения в очень небольшом числе ячеек таблицы исходных данных, авторы получили и предсказанный нами результат о первичности цветка с циклическим расположением всех органов, включая плодolistики [3]. Впрочем, они справедливо отмечают, что было бы легкомысленно принимать полученный результат как истину в последней инстанции.

И все же главные проблемы анализа данных возникают не из-за технических вопросов, а в силу глобальных причин. Например, мы обсуждаем вопрос о том, как в цветке расположены пестики: по кругу или по спирали. Но ведь есть множество растений с одним пестиком, и их намного больше, чем растений с одной тычинкой. И в данном случае, даже если мы избавимся от пропусков в матрице, связанных с банальным отсутствием сведений об иных признаках такого растения, с трудностями выявления гомологии, с другими проблемами больших данных, у нас все равно неизбежно и объективно останется пропуск, связанный с расположением пестиков в его цветке. И на стадии компьютерной обработки данных точность построений по тычинкам (условно говоря) будет выше, чем по пестикам. (В какой мере эти построения отражают объективную реальность — хороший вопрос.) То место в модели «первоцветка», которое нам хотелось бы исправить, как раз связано с этим признаком, и почти половина ячеек матрицы по нему по разным причинам не была заполнена. В своем ответе [3] участники проекта eFLOWER указали, что они провели специальный тест на значимость данного эффекта и считают, что она невелика, но это — в данном конкретном случае, а в общей форме вопрос, на мой взгляд, остается открытым.

По существу, речь идет о кризисе в изучении эволюции?

Да, нужны новые задачи, и реализация проекта eFLOWER — пример продвижения к их решению. Четверть века люди с огромным энтузиазмом и успехом занимались построением молекулярно-филогенетических деревьев и решили многие проблемы. Теперь на очереди иные вопросы — по-видимому, связанные с морфологией. Морфология важна еще и потому, что есть два рода свидетельств эволюции: не прямые, или молекулярные, отраженные в генетическом разнообразии современных организмов, и прямые свидетельства — ископаемые остатки организмов. Мы должны их объединить, синтезировать. А это можно сделать только через морфологию. Для самых древних ископаемых остатков (например, для свидетельств мелового периода) мы никогда не получим молекулярных данных. Между тем мы очень плохо умеем на основании морфологических признаков реконструировать эволюцию. Этих признаков нам не хватает.

Очень часто ученым нужно «откалибровать» так называемые молекулярные часы, или оценить скорость, с которой проявляются мутации (чем больше их накопилось, тем дальше эволюционно разошлись виды, имеющие общего предка). Что делать, если на пути от общего предка до одного из современных нам видов накопилось меньше мутаций, чем до другого ныне живущего вида? Это означает, что молекулярные часы шли в первом и во втором случаях с разной скоростью (и такое случается сплошь и рядом). Как мы будем определять время, когда родственные виды разошлись? Мы не можем раз и навсегда откалибровать часы, поскольку в каждой веточке эволюционного дерева скорость не постоянна. Зная возраст какого-либо ископаемого и имея возможность четко отнести его к некоей группе (например, семейству), мы получаем основание утверждать, что соответствующая группа не может быть моложе возраста ископаемого. Подобные данные можно использовать для оценки возраста тех веточек эволюционного дерева, где ископаемые остатки не найдены. Делаем мы все это исключительно на основе морфологии, поскольку у нас есть представление об облике организмов из данного семейства, образы других семейств. Немного лукавлю и скажу, что обойтись без экспертных оценок тут невозможно.

Соотносить морфологические и молекулярные данные — это вызов нашего времени.

Если научное сообщество осознает этот вызов, вероятно, созревают новые, прорывные решения, которые позволят выйти из тупика?

Такие события всегда происходят внезапно. Например, более 30 лет назад произошел прорыв в поиске ископаемых цветков. Группа известной шведской исследовательницы Э.М.Фриис научилась находить маленькие ископаемые цветочки с хорошо выраженной внутренней структурой [11],

очень разные. Сейчас их найдено уже очень много, и это принципиально новая страница в изучении эволюционной истории покрытосеменных.

Отвечая на ваш вопрос о вещах, меняющих ход научных исследований, замечу: многое зависит от технической оснащённости лабораторий. Еще 20 лет назад никто не помещал цветки в синхротрон, и мы знали бесконечно меньше об ископаемых объектах. В последние годы биологи широко используют это оборудование, позволяющее проводить томографию очень высокого разрешения. Важные зарубежные работы по ботанике и зоологии содержат данные, полученные с помощью синхротрона. Хотя отечественная физика внесла важный вклад в области создания ускорителей элементарных частиц, мы в МГУ не имеем возможности использовать синхротрон для нужд ботаники.

И тем не менее именно вам с коллегами удалось скорректировать модель, разработанную в рамках международного научного проекта eFLOWER. Вы упомянули о том, что планируете проанализировать причины предполагаемого эволюционного запрета на определенные черты морфологии цветка. Уже есть предположения относительно этих причин?

Я сомневаюсь, что запрет носит функциональный характер и связан со снижением приспособленности растения, которая могла бы наблюдаться в случае его нарушения. Скорее всего, это побочный результат процесса морфогенеза цветка. Но тема функциональной нагрузки морфологических признаков требует отдельного разговора. ■

Интервью подготовила кандидат биологических наук **Е.В. Сидорова**

Литература / References

1. *Sauquet H., von Balthazar M., Magallon S. et al.* The ancestral flower of angiosperms and its early diversification. *Nature Communications*. 2017; 8:16047. Doi:10.1038/ncomms16047.
2. *Sokoloff D.D., Remizowa M.V., Bateman R.M., Rudall P.J.* Was the ancestral angiosperm flower whorled throughout? *American Journal of Botany*. 2018; 105(1): 5–15. Doi:10.1002/ajb2.1003.
3. *Sauquet H., von Balthazar M., Doyle J.A. et al.* Challenges and questions in reconstructing the ancestral flower of angiosperms: A reply to Sokoloff et al. *American Journal of Botany* 2018; 105(2): 1–9. Doi:10.1002/ajb2.1023.
4. *Sauquet H., Magallon S.* Key questions and challenges in angiosperm macroevolution. *New Phytologist*. 2018; in press. Doi:10.1111/nph.15104.
5. *Антонов А.С.* Основы геносистематики высших растений. М., 2000. [*Antonov A. S.* Fundamentals of genosystematics of higher plants. М., 2000. (In Russ.)]
6. *Алешин В.В.* Филогения беспозвоночных в свете молекулярных данных: перспективы завершения филогенетики как науки. Труды Зоологического института РАН. 2013; 2: 9–38. [*Aleoshin V.V.* Phylogeny of invertebrates in the light of molecular data: prospects for the completion of phylogenetics as a science. *Proceedings of the Zoological Institute of RAS*. 2013; 2: 9–38. (In Russ.)]
7. *Christenbusz M.J.M., Byng J.W.* The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*. 2016; 261(3): 201–217. Doi:10.11646/phytotaxa.261.3.1.
8. *Rudall P.J., Sokoloff D.D., Remizowa M.V. et al.* Morphology of Hydatellaceae, an anomalous aquatic family recently recognized as an early-divergent angiosperm lineage. *American Journal of Botany*. 2007; 94(7): 1073–1092.
9. *Rudall P.J., Remizowa M.V., Prenner G. et al.* Nonflowers near the base of extant angiosperms? Spatiotemporal arrangement of organs in reproductive units of Hydatellaceae and its bearing on the origin of the flower. *American Journal of Botany*. 2009; 96(1): 67–82.
10. Новый виток в дискуссии о строении древнейшего цветка. *Природа*. 2018; 3: 84–85 [A new round in the debate about the structure of the ancestral flower. *Priroda*. 2018; 3: 84–85 (In Russ.)]
11. *Friis E.M., Skarby A.* Structurally preserved angiosperm flowers from the Upper Cretaceous of Sweden. *Nature*. 1981; 291(5851): 485–486.

Developmental Morphology of Flower and the Problem of Big Data

Interview with D.D.Sokoloff

Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

The beginning of 2018 was marked by a lively discussion about the evolution of reproductive organs of angiosperms (flowering plants). After the participants of the international project eFLOWER presented a three-dimensional model of the ancestral flower, drawn taking into account the results of the analysis of a large array of data on modern plants, Russian and British scientists analyzed the original data set and published their critical commentary. The authors of the reconstruction of the «ancestral flower» published their reply in March 2018. Dmitry Sokoloff, head of the Higher Plants Department of the Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, answered our questions on significance of the discussion for scientific researches.

Keywords: evolution, eFLOWER, angiosperms, flower, molecular phylogenetic tree, morphology, homology.

Первая находка углеродных нанотрубок в природе

М.Ю.Поваренных¹, Е.Н.Матвиенко², А.В.Павликов³, Т.Б.Шаталова³

¹Институт истории естествознания и техники имени С.И.Вавилова РАН (Москва, Россия)

²Минералогический музей имени А.Е.Ферсмана РАН (Москва, Россия)

³Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова (Москва, Россия)

В урочище Джаракудук (пустыня Кызылкум, Узбекистан), которое широко известно палеонтологическими находками, в шлакообразных горных породах, в интерстициях между зернами кварца и калиевого полевого шпата, обнаружены углеродные нанотрубки, фуллерены и фуллереноиды, образующие спутанно-волоконистые агрегаты индивидов размером несколько нанометров. Это первая находка в природе углеродных нанотрубок с наименьшим внутренним диаметром ~1 нм. Ранее они были синтезированы в высокотемпературных условиях с катализаторами в виде металлических или карбидных наночастиц. С помощью высокоразрешающей просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии определен диаметр углеродных фуллеренов (от 1–2 до 30–50 нм) и нанотрубок (от 1–3 до 40–60 нм). Углеродные нанотрубки длиной от 7–10 нм до нескольких сотен нанометров характеризуются многослойным строением (от двух-трех до 40 слоев).

Ключевые слова: Джаракудук, Кызылкум, многослойные углеродные нанотрубки, фуллерены, высокоразрешающая просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия.

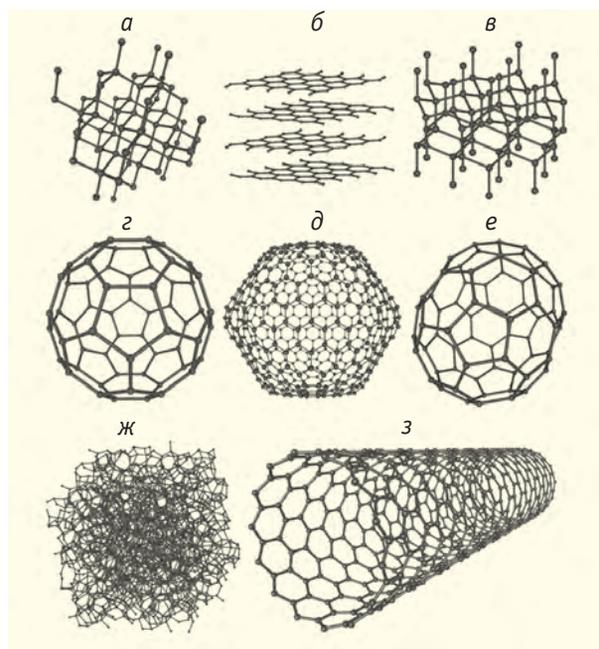
Фуллерены и нанотрубки структурно уникальны и, строго говоря, не относятся ни к какой из известных форм материи: твердой, кристаллической, поверхностной, молекулярной, кластерной и т.д.

Сумио Иижима, 1994

При минералого-петрографическом исследовании шлакообразных пузырчатых горных пород, найденных недавно Н.В.Лариным и В.А.Згонником в урочище Джаракудук (Кызылкум, Узбекистан), в цементе трубковидных построек мы обнаружили многослойные углеродные нанотрубки в составе спутанно-волоконистого агрегата углеродных наноминералов — фуллеренов, фуллереноидов, барелленов и др.

Из истории вопроса

Фуллерены были выделены из сажи в облаке, состоящем из атомов углерода, после проведенного в 1985 г. эксперимента по моделированию процессов, которые происходят во Вселенной при воздействии ударной волны от взрыва сверхновой. Не прошло и шести лет после открытия новой формы углерода, как в 1991 г. синтезировали углеродные нанотрубки. Количество публикаций, посвященных этим удивительным объектам, на сегодняшний день перевалило далеко за 100 тыс. Более сотни государственных и частных лабораторий во всем мире работают над проблемой синтеза углеродных фуллеренов и нанотрубок (а также их неуглеродных аналогов) с заранее задан-



Структуры аллотропных минеральных модификаций углерода: а — алмаза, б — графита, в — лонсдейлита, г–е — фуллеренов: г — C_{60} , д — C_{540} , е — C_{70} , ж — аморфного углерода, з — однослойной углеродной нанотрубки. Последние пять — рентгеноаморфные.



Михаил Юрьевич Поваренных, кандидат геолого-минералогических наук, докторант Института истории естествознания и техники имени С.И.Вавилова РАН. Область научных интересов — теория минералогии и петрографии.



Елена Николаевна Матвиенко, кандидат геолого-минералогических наук, ученый секретарь Минералогического музея имени А.Е.Ферсмана РАН. Специалист в области кристаллографии, кристаллохимии и онтогении минералов.



Александр Владимирович Павликов, кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов — спектроскопия комбинационного рассеяния.



Татьяна Борисовна Шаталова, кандидат химических наук, доцент химического факультета того же университета. Занимается термическим анализом вещества.

ными параметрами: диаметром, количеством слоёв, углами хиральности, типом проводимости, допированных различными химическими элементами и молекулами или покрытых ими (эндо- и экзофуллерены) [1–4].

Углерод — четвертый после водорода, гелия и кислорода по распространенности во Вселенной элемент. Но, в отличие от них, он имеет четыре валентные связи и потому способен образовывать пространственные постройки. Нахождение целостных трехмерных углеродных индиви-

дов как протоминералов мы предсказали еще в 1983 г., описав их возможные свойства: сферическую форму полых образований, состоящих из одной или нескольких первичных углеродных поверхностей; некристаллографичность и рентгеноаморфность [5–8].

А как обстоит дело с их нахождением в природе? Фуллерены обнаружили в земных условиях на территории США: в фульгуритах Колорадо, в продуктах лесных пожаров, вызванных падением метеорита Flaxborn River; в ударной брекчии астроблемы Садбери докембрийского возраста; в продуктах выбросов из ударного кратера микрометеорита из обшивки американского космического спутника; в глинистых морских отложениях — маркерах падения крупного метеорита на границе мела и палеогена. Нашли их и в России — в шунгитах Карелии. Во внеземных объектах фуллерены зафиксированы в веществе некоторых типов метеоритов и в межзвездных и межпланетных газопылевых частицах. Содержание углеродных фуллеренов во всех перечисленных случаях крайне невелико и изредка достигает нескольких сотых или десятых долей процента [9, 10]. Истинных углеродных нанотрубок, т.е. с внутренним диаметром ~10 Å (1 нм) ранее в природе не встречали. Имеются лишь сообщения о находке углеродных микро- и субмикротрубок в нефти действующей скважины, пробуренной в Мексиканском заливе [11], в природных графитовых глобулах из магматических Pt-Ni-сульфидных руд Тал-

наха [12] и в шунгитовом веществе Au-Pt-сульфидных руд месторождений Бақырчик, Васильевское и Кварцитовая Горка черносланцевой формации Казахстана [13].

В урочище Джаракудук содержание фуллеренов с внутренним диаметром ≈7.1 Å, углеродных микротрубок, микро- и нанохлопьев, а также аморфного углерода достигает нескольких процентов от общего объема породы (причем содержание углеродных микро- и нанотрубок не превышает трети их объема) [14].

Геологическая ситуация

Урочище Джаракудук расположено в западной части впадины Мингбулак в центре пустыни Кызылкум, на территории Навоийской обл. Узбекистана. Оно представляет собой совокупность неглубоких каньонов-ячеек общей площадью 30 км², сложенных обломочными позднемеловыми горными породами биссектинской свиты: пестроцветными переслаивающимися песками; гравелитами; конгломератами и глинами сеноманского яруса, которые отложились в речных палеоруслулах, межозерных палеопотоках и мелководных морских палеолагунах. На девяти участках урочища располагается так называемый каменный лес [15] из близкорасположенных друг к другу фрагментов шлакообразных пузырчатых горных пород, которые напоминают по форме древесные стволы высотой до 4 м. Поро-

ды слагают апикальные части небольших холмов с выступающими из них трубовидными, похожими на жерла фумарол постройкиками. Выходы подобных пород обнаружены в пустыне Израиля, в Индии, а в 2013 г. мы (Поваренных) нашли подобные горные породы в полупустыне Южной Австралии, во всемирно известном опалоносном районе вблизи поселка Кубер-Педи.

Поля распространения таких «фумарол» размером до 30–50 × 70–150 м в плане овалы. Сотни трубовидных тел различной степени выветрелости диаметром от нескольких сантиметров до полуметра и высотой от 10 см до 4 м имеют концентрически-зональное строение, по всей видимости, связанное с изменением условий минералообразования от центра к краю. В осевой части некоторых тел наблюдается полость («жерло»). Трубы состоят из кварца (70–75%), калиевого полевого шпата



Образцы каменных труб из Израиля (справа) и Джаракудука. Сбор В.Н. и Н.В.Лариных. 2016 г.

Фото Е.Н.Матвиенко



Высыпка шлакоподобных пузырчатых горных пород в полупустыне в окрестностях г.Кубер-Педи (Южная Австралия) и их образцы. 2013 г.

Фото М.Ю.Поваренных



Выход шлакообразных горных пород с «каменными трубами» в урочище Джаракудук, пустыня Кызылкум. 2016 г.

Фото Н.В.Ларина

(10–15%), биотита (1–2%). Минеральный состав цементирующей массы варьирует от зоны к зоне.

Минералого-петрографические исследования

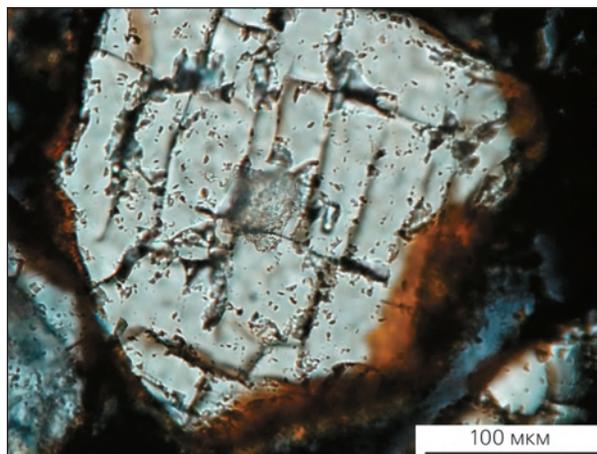
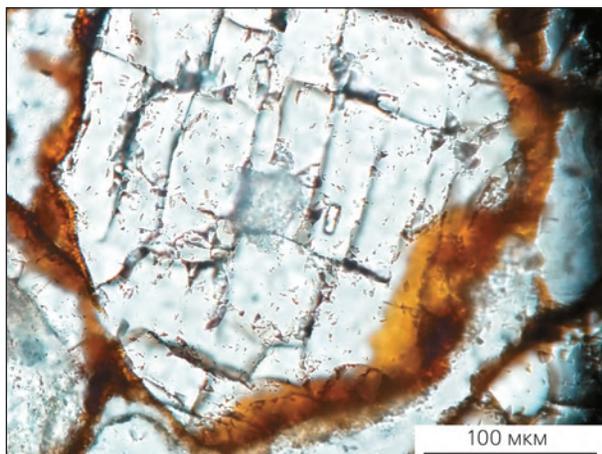
Из кусочка породы, взятого вблизи полости в трубе из Джаракудука, были приготовлены прозрачно-полированные шлифы и аншлифы. Минералого-петрографическое изучение проводилось в Минералогическом музее имени А.Е.Ферсмана РАН и на кафедрах минералогии и петрологии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (МГУ). Химический состав углеродистой матрицы и минеральных включений размером в несколько микрометров определялся с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO SUPRA 50VP (аналитик А.В.Кнотько, химический факультет МГУ).

Снимки углеродных наноминералов получены в просвечивающих электронных микроскопах высокого разрешения (ПЭМ JEM-1011 и JEM-2100F, при ускоряющем напряжении 100 и 200 кВ, аналитики А.Г.Богданов, биологический факультет МГУ,

А.В. и Т.Б.Егоровы, химический факультет МГУ). Исследования методом спектроскопии комбинационного рассеяния выполнили А.В.Павликов (физический факультет МГУ) и В.Д.Щербаков (кафедра петрологии геологического факультета МГУ) [16, 17].

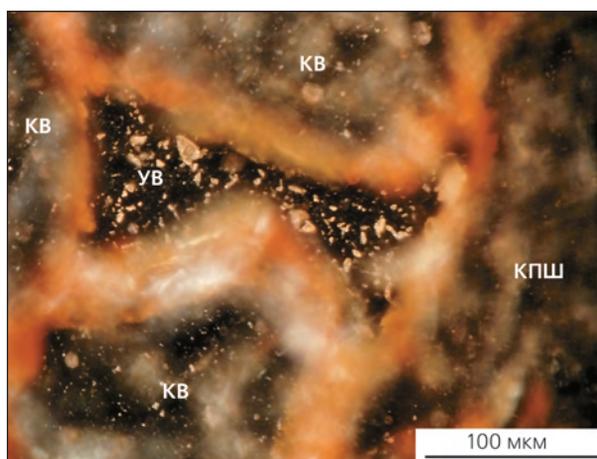
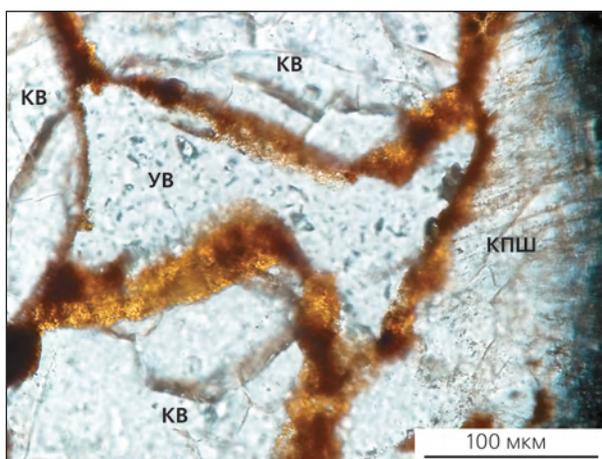
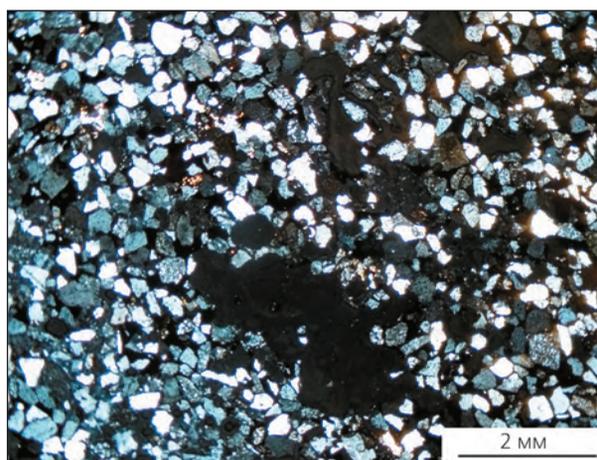
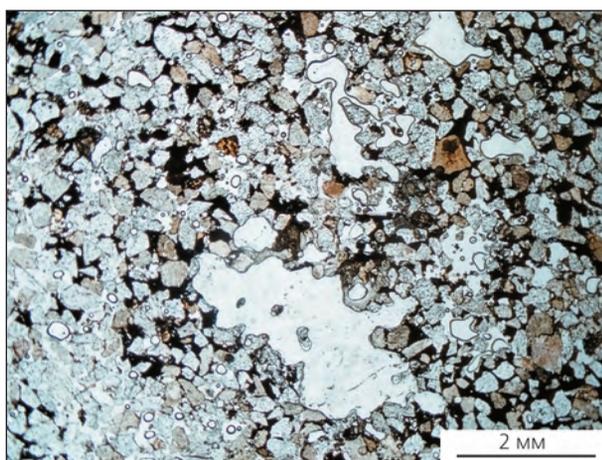
Прежде всего в шлифах обратил на себя внимание кварц, покрытый сетью правильно ориентированных субпараллельных трещин (в обычном магматическом, метаморфогенном или гидротермальном кварце такие структуры не встречаются) — как будто испытавший шоковые нагрузки. Были обнаружены и значительные количества нераскristализованного стекла. Кроме того, в образце, взятом вблизи «жерла» трубы, наблюдалась светло-серая матрица (впоследствии определенная как углеродистая), просвечивающая в проходящем свете и слабоанизотропная в поляризованном свете (в скрещенных николях). Ее содержание в породе составляет около 10%.

Изучение аншлифа с помощью электронного микронзонда показало, что интерстиционная матрица состоит на более чем 90% из углерода. В ней фиксируются включения размером несколько микрометров: карбидов железа, кремния, меди, алюминия, бария, самородных меди и цинка, а также

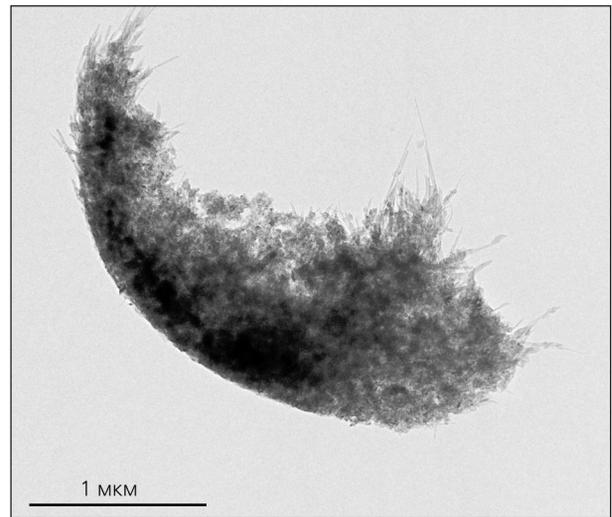
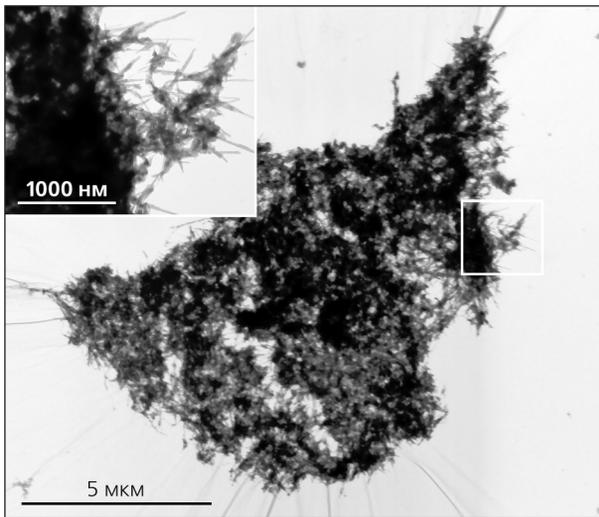


Зерна кварца с ориентированными трещинами, по-видимому, образованными в результате шоковых нагрузок (снизу, т.е. взрывного характера). Слева — в проходящем свете, справа — в поляризованном (в скрещенных николях).

Здесь и далее фото М.Ю.Поваренных



Микроскопические фотографии образцов шлакообразных пород. Вверху — нераскристаллизованное стекло (изотропное в скрещенных николях) в метаморфизованном песчанике, внизу — интерстиции между зернами кварца (КВ) и калиевого полевого шпата (КПШ) заполнены просвечивающей в проходящем свете и изотропной в скрещенных николях матрицей углеродистого вещества (УВ), «нафаршированной» включениями высокоотражающих минералов: карбидов железа, кремния, алюминия, самородных металлов и интерметаллидов. Слева — фото в проходящем свете, справа — в отраженном.



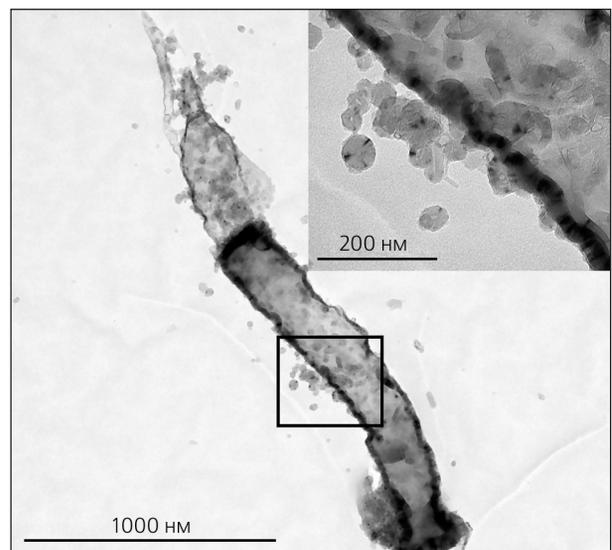
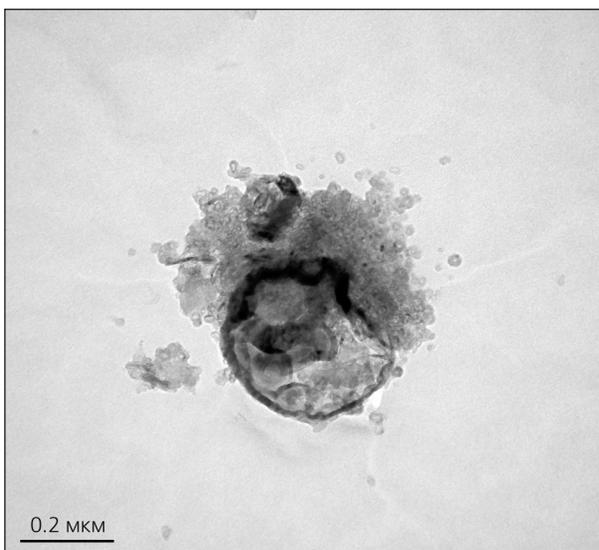
Микрофотографии спутанно-волоконистых агрегатов углеродных наноминералов.

их интерметаллидов. На электронных фотографиях с усиленным контрастом удалось заметить, что углеродистое вещество, которое заполняет интерстиции между зернами кварца и калиевого полевого шпата, сложено тесно прижатыми друг к другу глобулами слегка продолговатой грушевидной формы. Их линейный размер по длинной оси 5–7 мкм, а по короткой — 3–5 мкм. При ультразвуковой диспергации исходных образцов углеродистое вещество зачастую разбивалось на фрагменты, состоящие из нескольких или отдельных глобул, а также из их обломков. Глобулы отделяются друг от друга по границам, которые различаются степенью своего совершенства: от визуально гладких (нанометровошероховатых) до визуально негладких (микрометровошероховатых).

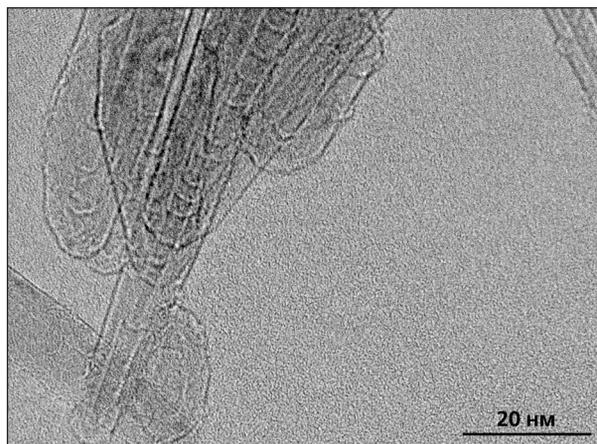
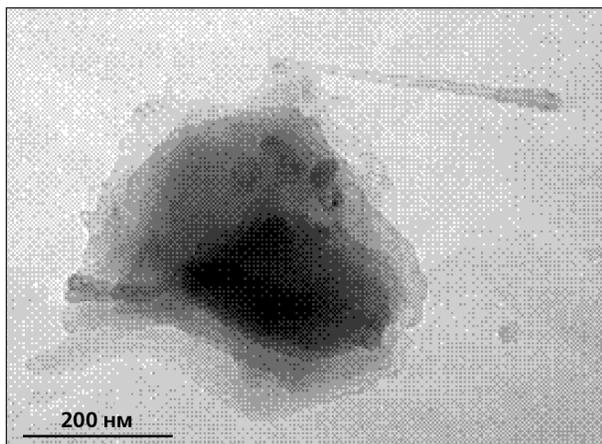
Скорее всего, внутреннее пространство подобных глобул заполнено спутанно-волоконистым агрегатом углеродных наноминералов неравномерно, и плотность такого заполнения нарастает к границе глобул.

Благодаря уникальной электронной прозрачности углеродных наноминералов в них можно наблюдать анатомию индивидов: зонально-секториальное внутреннее строение и эволюцию габитусов их внешних форм.

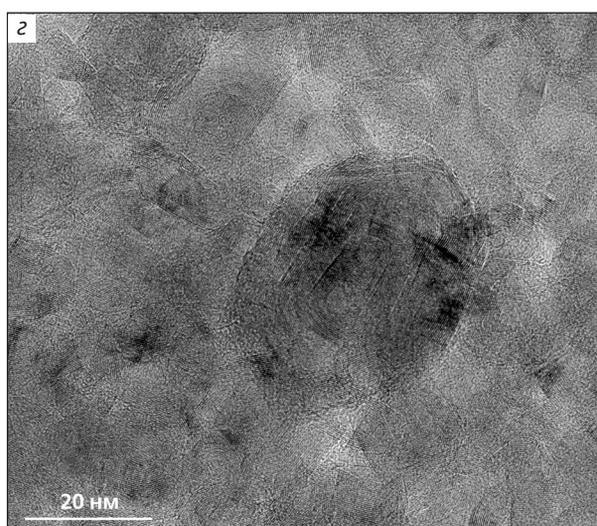
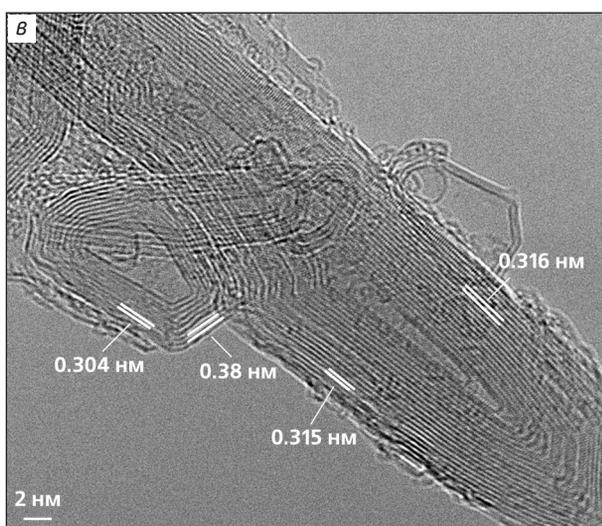
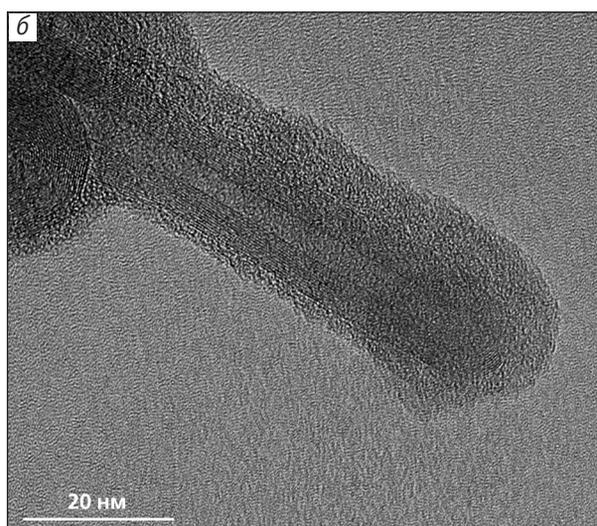
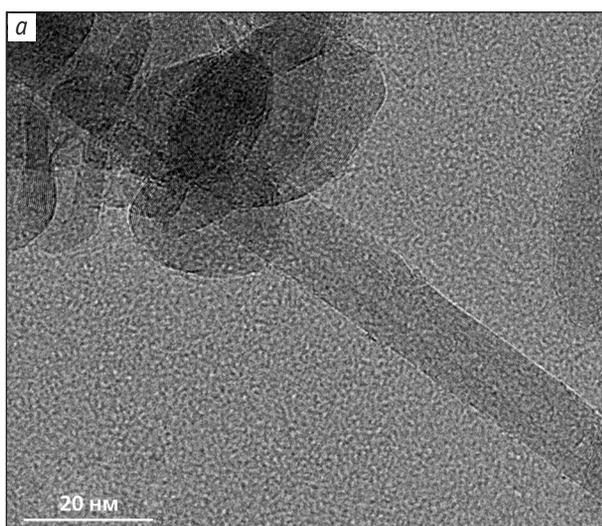
Обнаруженные фуллереновые наноминералы луковичной структуры (onion-like) имеют внешний диаметр от 1–2 до 30–50 нанометров, углеродные минералы нанотрубок и барелленов — от 1–3 до 40–60 нм. Их длина варьирует от 7–10 до нескольких сотен нанометров. Количество слоев



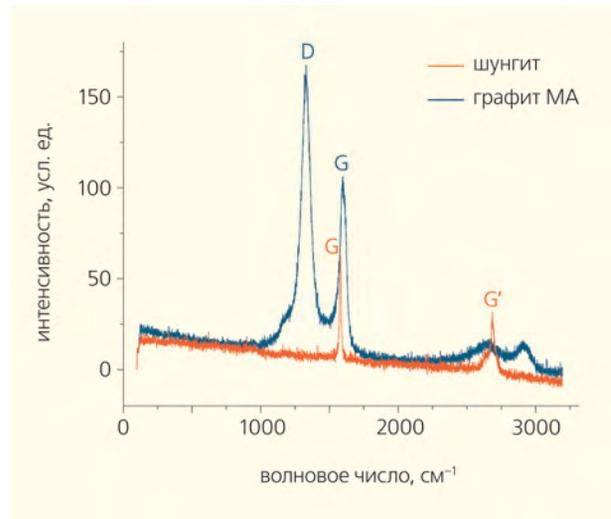
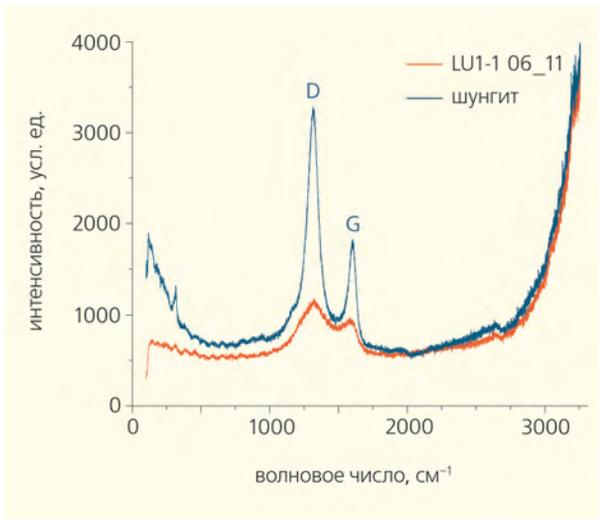
Агрегат «мелких» многослойных (5–7 слоев) углеродных фуллеренов и «крупных» микрохлопьев (слева) и микрофибрилла, содержащая углеродные наноминералы (многослойные углеродные фуллерены, бареллены, нанотрубки).



Углеродная нанотрубка диаметром от 1–5 до 10–20 нм в ассоциации с углеродными многослойными микрохлопьями (слева) и так называемая бамбуковая структура роста многослойных углеродных нанотрубок (справа).



Совместный и близодновременный рост углеродных наноминералов с образованием взаимных индукционных поверхностей между их индивидами (*а—в*), на самых крупных многослойных частицах углеродных наноминералов различаются формирующиеся грани (*г*).



Спектры комбинационного рассеяния шунгита (отбор Е.Н.Матвиенко, поселок Шуньга, Карелия, 2017 г.), частицы размером 25 мкм спутанно-волокнутого агрегата углеродных наноминералов (LU1-1 06_11, отбор Н.В.Ларина, Джаракудук, 2016 г.) и частицы метаморфогенного графита (отбор М.Д.Алексеева, Минас-Жераис, Бразилия, 2017 г.). Хорошо видны схожесть спектров шунгита и частицы наноминералов (слева) и сильные различия спектров шунгита и графита (справа). Пик *D* (~1340 см⁻¹) характеризует связи С-С *sp*³-гибридизованного углерода, пик *G* (~1600 см⁻¹) описывает связи С-С *sp*²-гибридизованного углерода.

в структуре изменяется от двух-трех до 40–45. Расстояние между «графитовыми» слоями в многослойных углеродных нанотрубках (МСУНТ) непостоянно и варьирует от 0.29 до 0.33 нм, что значительно отличается от такового в графите (т.е. не соответствует классическому «графитовому» межплоскостному расстоянию $d/n = 0.34$ нм). Углеродные нано- и микротрубки замкнуты с обеих сторон, а их внутреннее строение характеризуется непрерывающимися коаксиально (т.е. обладают совпадающими осями вращения) вложенными друг в друга углеродными поверхностями (типа матрешки). Поскольку внутри углеродных микротрубок мы обнаружили многослойные углеродные фуллерены (МСУФ) и многослойные углеродные баррелены (МСУБ), можно утверждать о наличии как минимум двух последовательных генераций углеродных наноминералов (МСУФ, МСУБ, МСУНТ) в спутанно-волокнутих агрегатах.

Соотношение интенсивностей пиков *D* (~1340 см⁻¹, характеризует связи С-С *sp*³-гибридизованного углерода) и *G* (~1600 см⁻¹, описывает связи С-С *sp*²-гибридизованного углерода) на спектрах комбинационного рассеяния свидетельст-

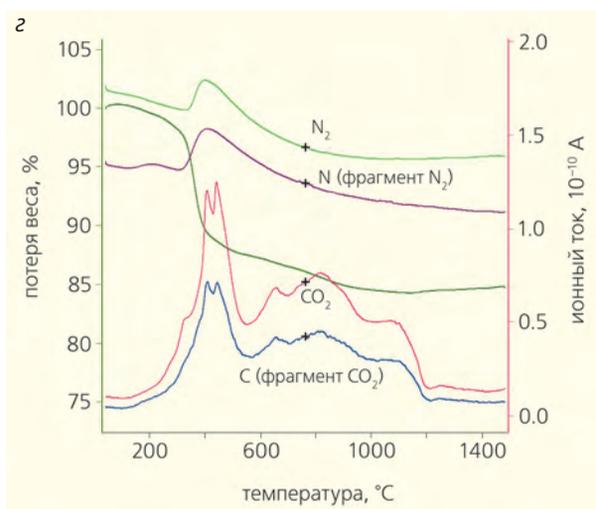
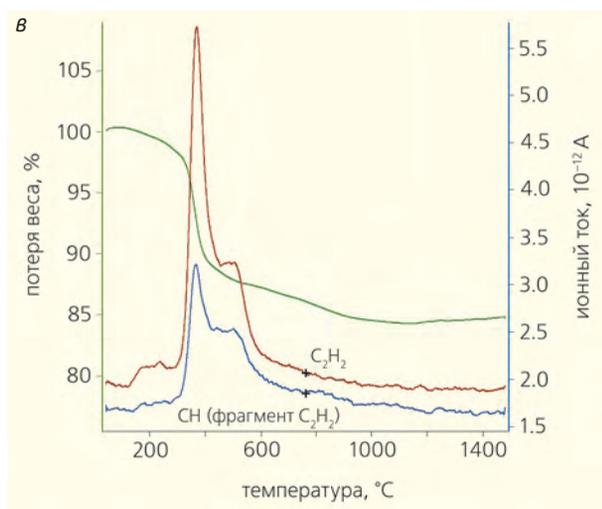
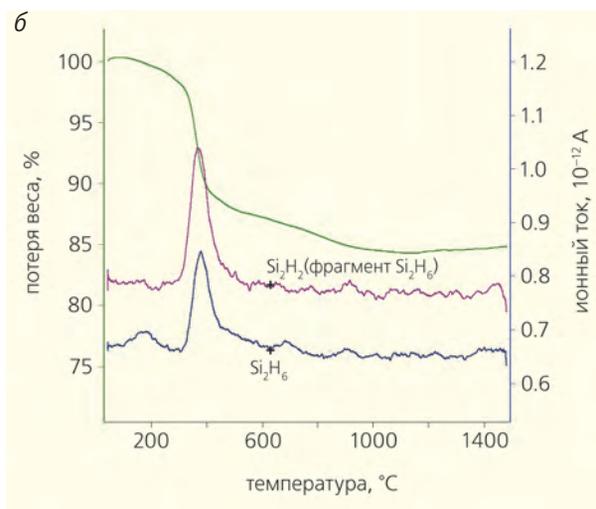
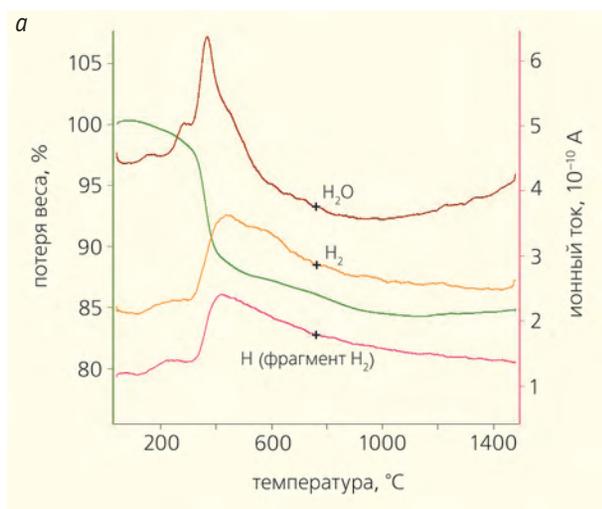
вует о том, что в составе изученной частицы спутанно-волокнутого агрегата углеродных наноминералов преобладают многослойные фуллерены и фуллереноиды, а не многослойные нанотрубки [18].

Анализ, проведенный на квадрупольном масс-спектрометре (QMS 403С Alolos NETZSCH, STA 409



Слой спекшегося песка толщиной 10–15 см (покровный «панцирь») в районе одного из выходов шлакообразных горных пород в урочище Джаракудук. На дальнем плане (в 30 м) — каменные трубы.

varandej.livejournal.com



Масс-спектры, отвечающие таким газообразным веществам, как водород H₂ и водяной пар H₂O (а), дисилан Si₂H₆ (б), ацетилен C₂H₂ (в) и азот N₂ (з).

РС Luxh), показал, что в углеродных микрочастицах наряду с водяным паром, углекислым газом, азотом и водородом заключены такие газообразные вещества, как непредельные углеводороды (ацетилен C₂H₂, этилен C₂H₄) и силаны (SiH₄, Si₂H₆).

В заключение еще раз подчеркнем, что в природе впервые найдены, а затем изучены многослойные углеродные нанотрубки с внутренним диаметром ~10 Å, до сих пор известные лишь как продукты синтеза. ■

Мы глубоко признательны В.Н.Ларину и Н.В.Ларину за предоставление образцов из Джаракудука; А.В.Кнотко, С.В.Савилову, А.В. и Т.Б.Егоровым и В.Д.Щербакову за помощь в проведении тонких инструментальных исследований углеродных наноминералов и их агрегатов.

Литература / References

1. Kroto H.W., Heath J.R., O'Brien S.C. et al. C₆₀ buckminsterfullerene. Nature. 1985; 318: 162–163.
2. Iijima S., Ichibashi T. Single-shell carbon nanotube of 1-nm diameter. Nature. 1993; 363: 603–605.
3. Ajayan P.M., Iijima S. Capillarity-induced filling of carbon nanotubes. Nature. 1993; 361: 333–334.
4. Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., Sugibara K. et al. Graphite Fibers and Filaments. Graphite and Related Materials. N.Y., 1988; 5: 188–202.
5. Поваренных М.Ю., Оноприенко В.И. О сущности минерала. Геологический журнал. 1986; 46(5): 53–57. [Povarennykh M.Yu., Onoprienko V.I. On the essence of the mineral. Geologicheskyy Journal. 1986; 46(5): 53–57. (In Russ.)]

6. Поваренных М.Ю. Значение понятия «поверхность» при рассмотрении основного объекта минералогии. Теория минералогии. Л., 1988: 20–22. [*Povarennykh M.Yu.* The significance of the notion «surface» while considering of the the main mineralogical object. Theory of Mineralogy. Leningrad, 1988: 20–22. (In Russ.)]
7. Buseck P.P. Geological fullerenes: review and analysis. *Earth and Planetary Science Letters*. 2002; 203(3–4): 781–792.
8. Velasco-Santos C., Martinez-Hernandez A.L., Consultchi A. et al. Naturally produced carbon nanotubes. *Chem. Phys. Letters*. 2003; 373: 273–276.
9. Рябов В.В., Пономарчук В.А., Титов А.Т., Семенова Д.В. SR-XRF-исследование природного микро- и наноструктурированного углерода из магматических пород. Известия РАН. Серия физическая. 2013; 77(2): 224–228. [*Ryabov V.V., Ponomarchuk V.A., Titov A.T., Semionova D.V.* SR XRF investigation of the natural micro- and nanostructured carbon from the magmatic rocks. *Izvestiya of the Russian Academy of Sciences. Seria Physics*. 2013; 77(2): 224–228. (In Russ.)]
10. Марченко Л.Г. Микро-наноминералогия золота и платиноидов в черных сланцах. Алматы, 2010. [*Marchenko L.G.* Micro- and nanomineralogy of gold and platinoids in black shists. Almaty, 2010. (In Russ.)]
11. *Povarennykh M.Yu.* Fullerenes as Protominerals. Fullerenes and Atomic Clusters (IWFAC 1997). Abstr. 1997: 341–342.
12. Поваренных М.Ю. Микро- и наноминералогия. Шаги на пути к протоминералу. Уральский геолог. журнал. 1999; 6(12): 3–12. [*Povarennykh M.Yu.* *Micro- and Nanomineralogy*. Steps on the Way to the Protomineral // *Ural'skuyu Geologicheskuyu Journal*. 1999; 6(12): 3–12. (In Russ.)]
13. Киселев Н.А., Захаров Д.Н. Электронная микроскопия углеродных нанотрубок. Кристаллография. 2001; 46(4): 641–650. [*Kiseliyov N.A., Zakharov D.N.* Electron microscopy of carbon nanotubes. *Crystallography*. 2001; 46(4): 641–650. (In Russ.)]
14. Веретенников Б.Г. Урочище Джаракудук — уникальный палеонтологический памятник в Кызылкумах. Горный вестник Узбекистана. 2004; (2): 90–92. [*Veretennikov B.G.* Djarakuduk valley — the unique paleontological monument of Kyzylkum desert. *Mining Vestnik Uzbrkistana*. 2004; (2): 90–92. (In Russ.)]
15. Поваренных М.Ю., Богданов А.Г., Матвиенко Е.Н. и др. Первая находка углеродных нанотрубок в природных парагенезисах. Доклады РАН. 2018; в печати. [*Povarennykh M.Yu., Bogdanov A.G., Matvienko E.N. et al.* The first discovery of carbon nanotubes in natural paragenetic associations. *Doklady Earth Sciences*. 2018; in press.]
16. Поваренных М.Ю., Ларин В.Н., Ларин Н.В. и др. Первые результаты исследования открытых в природных парагенезисах углеродных наноминералов — спутанно-волокнистого агрегата многослойных углеродных нанотрубок и фуллереноидов. Труды Юбилейного съезда Российского минералогического общества. СПб., 2017; 2: 303–306. [*Povarennykh M.Yu., Larin V.N., Larin N.V. et al.* The first results of investigation of carbon nanominerals discovered in natural parageneses in the form of matted-fibrous aggregate of multi-walled carbon nanotubes and fullerenoids. *Mat. Yubilee Meeting of the Russian Mineralogical Society*. Sankt-Petersburg, 2017; 2: 303–306. (In Russ.)]
17. *Povarennykh M.Yu.* The Discovery of Carbon Nanotubes in Nature as Representatives of a New Mineral Subkingdom — Nanominerals. Proc. 6-th Advances Functional Materials and Devices (AFMD–2017). Moscow, 2017: 46–47.
18. Kovalevski V.V., Rozbkova N.N., Zaidenberg A.Z., Yermolin A.N. Fullerene-like structures in shungites and their physical properties. *Mol. Mat.* 1994; 4: 77–80.

The First Findings of Carbon Nanotubes in Nature

M.Yu.Povarennykh¹, E.N.Matvienko², A.V.Pavlikov³, T.B.Shatalova³

¹*S.I.Vavilov Institute for the History of Science and Technology, RAS (Moscow Russia)*

²*Fersman Mineralogical Museum, RAS (Moscow, Russia)*

³*Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)*

In the Dzharakuduk field (Bissekty Formation, Kyzyl Kum desert, Uzbekistan) — world famous paleontological site — carbon nanotubes (with inner diameter ~10 Å), fullerenes, and fullerenoids in the form of matted-fibrous aggregates of nanometer-sized individuals were found in the interstitials between the quartz and potassium feldspar grains within the scoriaceous rocks. It is the first finding of carbon nanotubes in nature. Previously such objects have been synthesized in high temperature conditions with metallic or carbides nanoparticles as catalysts. As a result of using of high-resolution transmitting and scanning electron microscopy it was shown that the discovered carbon fullerenes varied in diameter from 1–2 up to 30–50 nm, carbon nanotubes differed in diameter from 1–3 up to 40–60 nm. Carbon nanotubes with length from 7–10 up to first hundreds of nm have multi-walled structure (from 2–3 to 40 walls).

Keywords: Dzharakuduk, Bissekty Formation, Kyzyl Kum, multi-walled carbon nanotubes, fullerenes, high-resolution transmitting and scanning electron microscopy.

Влияние птиц на среду обитания

Д.В.Кулаков^{1,2}, А.В.Крылов³

¹Санкт-Петербургское отделение
Института геоэкологии имени Е.М.Сергеева РАН
(Санкт-Петербург, Россия)

²Санкт-Петербургский государственный университет
(Санкт-Петербург, Россия)

³Институт биологии внутренних вод имени И.Д.Папанина РАН
(пос. Борок, Ярославская обл., Россия)



Колония больших бакланов. Литва, Юодкранте. 30 мая 2014 г.
Здесь и далее фото Д.В.Кулакова



В местах, где птицы длительное время гнездятся крупными скоплениями, образуются различные формы микрорельефа, особые орнитогенные почвы и специфичная орнитофильная растительность. Это сопряжено с угнетением естественного растительного покрова, в том числе с нарушением лесовозобновления и усыханием деревьев. Продукты жизнедеятельности птиц поступают не только в наземные экосистемы, но и в водные, вызывая изменения в гидробиоценозах. Для водоемов, используемых колониальными птицами, характерно повышенное содержание органических соединений углерода и азота, а также массовое развитие водных беспозвоночных, которые служат источником пищи для птиц. В пресноводных водоемах, расположенных вблизи колоний птиц, отмечено повышенное видовое богатство зоопланктона, снижение относительной численности и биомассы коловраток (Rotifera) и увеличение доли веслоногих ракообразных (Copepoda). Специфические изменения зоопланктона под действием водоплавающих птиц отличаются от модификаций при антропогенном эвтрофировании.

Ключевые слова: птицы, гнездовые колонии, средообразующая деятельность, виды-средообразователи, продукты жизнедеятельности птиц.



Дмитрий Владимирович Кулаков, кандидат биологических наук, главный специалист Санкт-Петербургского государственного университета, научный сотрудник Санкт-Петербургского отделения Института геоэкологии имени Е.М.Сергеева РАН. Область научных интересов — пресноводный зоопланктон, биоиндикация водных объектов, средообразующая деятельность животных, орнитофауна урбанизированных территорий.



Александр Витальевич Крылов, доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологии водных беспозвоночных Института биологии внутренних вод имени И.Д.Папанина РАН. Занимается изучением экологии малых рек, качества воды, зоопланктона водохранилищ, озер и малых рек, средообразующей деятельности водных и околоводных позвоночных животных, исследованием пограничных экосистем.

В научной литературе накоплено много сведений о влиянии на окружающую среду (в том числе на ее физико-химический и биологический режимы) самых разнообразных организмов. Однако в целом такие исследования так и не заняли должного места в ряду экологических работ, хотя начали проводиться со времен классической работы Дарвина о роли дождевых червей в формировании почвы [1]. Среди ученых, заложивших основы в понимание средообразующей деятельности живых организмов, были и отечественные ученые. Так, В.Н.Сукачев (1880–1967) по степени воздействия на окружающую среду подразделил виды сообщества на эдификаторы (от лат. aedificator — строитель) и ассектаторы (от лат. assectator — постоянный спутник) [2], а В.Н.Беклемишев (1890–1962) описал четыре



Гнезда серой цапли. Ярославская обл., Некоузский р-н, окрестности пос.Борок, о.Радовский. 14 мая 2009 г.

типа прямых биоценологических связей (топическая, трофическая, фабрическая и форическая) и соответствующие им четыре типа косвенных [3].

В наше время в англоязычной литературе наибольшую популярность приобрели две концепции средообразования — ключевых видов (key-stone species) [4] и экосистемных инженеров

(ecosystem engineers) [5–6]. Ключевые виды влияют на организацию сообщества гораздо сильнее, чем можно было бы предполагать, исходя из их численности (пример — влияние бобров, строящих плотины и хатки, роющих норы и каналы, на гидрологический режим водоемов). Экосистемные инженеры изменяют, поддерживают



Экскременты серой цапли на листьях крапивы под гнездами колонии. Ярославская обл., Некрасовский р-н, лес на берегу оз.Чистое. 19 июня 2008 г.



Почва, покрытая экскрементами серой цапли под гнездами колонии. Ярославская область, Некоузский р-н, окрестности пос.Борок, о.Радовский. 25 июня 2010 г.

или создают местообитания для других видов, прямо или опосредованно влияя на доступность ресурсов. Между обеими концепциями много общего, но в первом случае рассматривается результат «экосистемной работы» видов, а во втором больше внимания уделяется оценке роли вида в сообществе, анализируются вызванные им изменения среды и реакции на них других видов [6]. В русскоязычной литературе процессы модификации среды обычно описываются одним термином — «средообразующая деятельность» [7].

Средообразующая деятельность птиц наиболее существенно и заметно проявляется в местах их массовых скоплений [8]. Яркий тому пример — крупные гнездовые колонии топорков (*Lunda cirrhata*) и чаек (*Larus*) на морских побережьях [9]. Создавая норы, тропинки, «взлетные площадки» и т.д., птицы способствуют образованию особых форм микрорельефа [10, 11]. Их распределение и занимаемая площадь, конечно, сильно зависят от видового состава, плотности населения колонии и природных особенностей местности. Кроме того, крупные колонии играют важную роль в почвообразовании, привнося с продуктами жизнедеятельности (в основном гуано) большое количество органических веществ [12]. В местах скопления птиц формируются особые орнитогенные почвы, в которых концентрации фосфора и азота могут превышать соответствующие фоновые показатели в два раза, а цинка и калия — в полтора [13–15]. При воздействии атмосферных осадков происходит выщелачивание из помета легкорастворимых соединений фосфора, нитратов, сульфатов и хлоридов. Быстрое разрушение солей мочевой кислоты и образование щавелевой кислоты увеличивают агрессивность продуктов преобразования помета, что создает предпосылки для формирования кислой среды [9].

Птичьи базары являются центрами разнообразия почвенных организмов (ногохвосток, пауков, панцирных, гамазовых и краснотелковых клещей) [12] и формирования специфичной — орнитофильной (от греч. орνις — птица и φίλος — друг) и орнитоخورной (от греч. χωρεω — распространяться) — растительности. В таких местах в результате постоянного поступления помета преобладают виды, требовательные к насыщенным азотом почвам (нитрофилы) или устойчивые к его избытку (сорные, или рудеральные, растения) [16–20]. Повышение концентрации азота и фосфора в почве способствует более мощному развитию древесного подроста и травянистой растительности по



Грачи. Вологодская обл., Череповец. 28 марта 2005.

сравнению с прилегающими территориями, не заселенными птицами [21, 22]. Однако следствием бурного роста небольшого числа видов растений, вызванного избытком питательных веществ, становится чрезмерное накопление отмерших растительных остатков, в результате чего формируется мощная (до 20 см) подстилка, препятствующая прорастанию семян и нормальному возобновлению растений, в том числе древесных [23, 24]. Примером тому могут служить колониальные поселения серых цапель (*Ardea cinerea*), которые угнетают растительный покров и способствуют развитию рудеральных и нитрофильных видов. Длительное гнездование этих птиц на одних и тех же территориях приводит к деградации растительного покрова и усыханию деревьев в центре колонии [23, 25]. В массовых поселениях грачей (*Corvus frugilegus*) под деревьями помимо помета скапливаются обломившиеся ветки и упавшие на землю гнезда, в результате чего появляются участки, полностью лишенные растительности [26, 27].

Значительный вклад в изучение состава помета птиц внесла В.Н.Галкина, которая установила, что водорастворимая фракция составляет 17% от веса сухих экскрементов, причем 83% приходится на органические вещества (в основном азотосодержащие) и 17% — на минеральные соли (фосфаты, сульфаты, производные аммония и др.) [28]. Большую часть (65%) водорастворимых органических соединений составляют низкомолекулярные и способные к сорбции. Добавим, что содержащиеся во фракции органические фосфаты быстро (в среднем за неделю) минерализуются, в результате чего в почве образуются запасы потенциально доступных для растений минеральных форм.

Птицы — важные агенты переноса органического вещества между наземными и водными экосистемами. Одним из источников пополнения водоемов биогенными веществами и связующим звеном между наземными и водными биоценоза-



Колония озерной чайки. Ярославская обл., Некоузский р-н, окрестности пос.Борок, Рыбинское водохранилище. 23 мая 2011 г.

ми могут служить чайки [29]. Так, колония серебристых чаек (*Larus argentatus*), гнездящихся в заливе Сиваш (Азовское море), которая состоит из 15 тыс. особей, производит более 32 т экскрементов в неделю. Птицы, питающиеся в наземных биотопах, способны собрать около 7 т органического вещества с площади 230 км², большая часть этого

вещества поступает в водоем в виде продуктов жизнедеятельности.

Другое исследование выявило участие птиц в транспорте биогенных веществ из водных экосистем в наземные. Японские ученые проанализировали отдаленные последствия гнездования большого баклана (*Phalacrocorax carbo*) и его участие в круговороте азота [30]. Эти птицы питаются рыбой в пресных водоемах, а гнезда строят на деревьях в лесу. В местах гнездования деревья гибнут, а на территориях бывших поселений бакланов долгое время сохраняется повышенное содержание азота в подстилке, почве и растениях. Подобные картины наблюдаются во многих местах побережий разных морей.

Экскременты птиц, поступающие в воду, в ряде случаев влияют на динамику биогенных веществ столь значительно, что некоторые зарубежные коллеги стали использовать специальный термин — «гуанотрофикация» (guantrophication) [31–36]. На наш взгляд, введение такого



Гнезда чаек. Рязанская обл., Спасский р-н, болото Пыроногово. 18 мая 2010 г.



Колония японских бакланов. Остров Шикотан, мыс Край Света. 15 августа 2011 г.

термина оправданно, так как на современном уровне знаний деление эвтрофирования на антропогенное и естественное явно недостаточно. По крайней мере необходимо выделить в отдельную категорию процессы изменения среды, вызванные животными, — зоогенное эвтрофирование [37], которое, возможно, следует дробить на отдельные типы в случае специфических модификаций биоценозов под влиянием определенных видов или их групп.

Влияние птиц на изменение химического состава воды, по-видимому, более значительно, чем удается показать анализами. Несмотря на очевидное поступление продуктов жизнедеятельности птиц, трудно зафиксировать повышение содержания биогенных веществ в воде. Например, при экспериментальном изучении влияния экскрементов канадских казарок (*Branta canadensis*) не удалось выявить значимых изменений содержания общего азота и фосфора в воде [38]. В природных водоемах биогенные вещества быстро поступают в круговорот или осаждаются [39–41]. Однако при высокой плотности птиц их экскременты не могут не влиять на сообщества животных и растений, не отражаться на качестве воды. Так, при численности птиц 10,7 тыс. особей (6,5 тыс. — канадских казарок и 4,2 тыс. — крякв) в оз.Уинтергрин (шт. Нью-Йорк, США) площадью

15 га наблюдалось снижение качества воды, регистрируемое по содержанию фосфора, азота, по определению спектральной прозрачности и концентрации хлорофилла *a* [42].

Большая заслуга в изучении влияния морских птиц на химический и биологический режим прибрежных участков в районах птичьих базаров Восточного Мурмана (побережье Баренцева моря) принадлежит А.Н.Головкину с коллегами [43–46]. Они показали, что за счет высокой интенсивности внесения морскими рыбающими птицами продуктов жизнедеятельности в прилегающую к колонии акваторию повышается содержание биогенов в прибрежных водах. В результате этого увеличивается продуктивность диатомовых и перидиниевых водорослей, мелких жгутиковых и других групп, составляющих основу питания зоопланктона. Вблизи колоний отмечаются anomalно высокие показатели биомассы некоторых видов зообентоса и рыб.

Мы изучили влияние продуктов жизнедеятельности птиц на пресноводный зоопланктон в водоемах разного трофического типа (оз.Севан в Армении, Рыбинское водохранилище и оз.Чистое в Ярославской обл.) [39, 47–50]. Выяснилось, что в местах массового гнездования птиц повышено видовое богатство зоопланктона, снижена относительная численность и биомасса коловраток

(Rotifera) и увеличена доля веслоногих ракообразных (Copepoda). Наиболее ярко изменения зоопланктона проявились на участках водоемов, зарастающих высшей водной растительностью, а на открытых участках численность и биомасса зоопланктона не отличалась от фоновых величин из-за волнового перемешивания. Отмечались специфические изменения зоопланктона под действием водоплавающих птиц, отличающиеся от изменений при антропогенном эвтрофировании. Наиболее вероятные причины специфической реакции зоопланктона на продукты жизнедеятельности птиц — ограничение времени воздействия сроками гнездования и изменение соотношения азота и фосфора в воде именно в этот период.

Ряд важных работ посвящен изучению трофических условий водоемов, определяющих пути миграций птиц, места их гнездования или зимовок. В частности, выяснилось, что среди естественных водоемов на северо-западе арктической зоны Канады водоплавающие птицы выбирают те, которые отличаются изобилием беспозвоночных животных. Например, выводки малой морской чернети (*Aythya affinis*) предпочитают водоемы со значительно более высокой удельной массой амфипод, служащих им пищей [51]. Кроме того, в этих водоемах отмечено высокое содержание органических соединений углерода и азота. В натриевых озерах Венгрии численность и биомасса водных ракообразных выше в тех водоемах, на которых останавливаются перелетные водоплавающие птицы, питающиеся этими беспозвоночными. Пик численности веслоногих рачков *Arctodia-*

ptomus spinosus был отмечен в мае, после миграционного сезона основной части птиц [52].

На заболоченных территориях в штате Мэн (США) в затопленных бобрами землях высокое содержание биогенных веществ способствовало развитию зарослей макрофитов и большой биомассы крупных водных беспозвоночных, служащих кормом для выводков уток, численность которых здесь была самой высокой (88.3% от всех выводков) [53].

В последние десятилетия значительно возросло количество гусей, гнездящихся на Шпицбергене [54, 55], что связывают с увеличением доступности пищевых ресурсов и потеплением климата. Массовое гнездование этих птиц уже привело к обогащению питательными веществами (возросли концентрации фосфора и азота) тундровых олиготрофных водоемов архипелага [56]. Отдаленные последствия их эвтрофирования пока неясны, однако важно помнить о хрупкости арктических пресноводных экосистем.

В заключение приведем слова известного орнитолога Б.К.Штегмана (1889–1975), который еще на заре исследований водохранилищ писал: «Изучение... зависимостей и изменчивостей в населенности различных водоемов должно привести к установлению закономерностей, определяющих роль птиц в биоценозах этих водоемов. Установив данные закономерности, можно с известной долей вероятности определить по птицам особенности тех биоценозов, к которым они относятся, и таким образом включить птиц в группу индикаторов типологии водоемов» [57]. ■

Литература / References

1. Darwin Cb. The Formation of Vegetable Mould, through the Action of Worms, with Observations on their Habits. L., 1881.
2. Сукачев В.Н. Растительные сообщества: Введение в фитосоциологию. Л.; М., 1928. [Sukachev V.N. Plant Communities: Introduction to Phytosociology. Leningrad; Moscow, 1928. (In Russ.)]
3. Беклемишев В.Н. О классификации биоценологических (симфизиологических) связей. Бюлл. МОИП. Отд. Биол. 1951; 56(5): 3–30. [Beklemishev V.N. On the classification of biocenological (symphysiological) relations. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series. 1951; 56(5): 3–30. (In Russ.)]
4. Power M.E., Tilman D., Estes J.A. et al. Challenges in quest for keystones. BioScience. 1996; 45(8): 609–620. Doi:10.2307/1312990.
5. Jones C.G., Lawton J.H., Shachak M. Organisms as ecosystem engineers. Oikos. 1994; 69: 373–386. Doi:10.2307/3545850.
6. Wright J.P., Jones C.G. Predicting effects of ecosystem engineers on patch-scale species richness from primary productivity. Ecology. 2004; 85(8): 2071–2081. Doi:10.1890/02-8018.
7. Завьялов Н.А. Бобры — ключевые виды и экосистемные инженеры. Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Ярославль, 2008; 4–24. [Zavyalov N.A. Beavers are keystone species and ecosystem engineers. Ecosystems of the small rivers: Biodiversity, ecology, protection. Ecosystems of small rivers: biodiversity, ecology, protection. Yaroslavl, 2008; 4–24. (In Russ.)]
8. Рахилин В.К. О средообразующей роли птиц фауны СССР. Средообразующая деятельность животных. М., 1970; 15–18. [Rakhilin V.K. On the environment-forming role of birds of the USSR fauna. Mediating activity of animals. Moscow, 1970; 15–18. (In Russ.)]
9. Иванов А.Н. Скопления морских колониальных птиц как ландшафтообразующий фактор (на примере острова Матыкиль, Ямской архипелаг). Биология и охрана птиц Камчатки. М., 2008; 8: 3–11. [Ivanov A.N. Colonial seabirds accumulation as landscape formative factor (by the example of Matykil Island, Jamskoj Archipelago). The biology and conservation of the birds of Kamchatka. Moscow, 2008; 8: 3–11. (In Russ.)]

10. Иванов А.Н. Орнитогенные геосистемы малых островов Северной Пацифики. Вест. Моск. ун-та. Сер. геогр. 2006; 3: 58–62. [Ivanov A.N. Ornithogenic geosystems of the small islands of Northern Pacifica. Moscow University Bulletin. Ser. Geography. 2006; 3: 58–62. (In Russ.)]
11. Иванов А.Н. Орнитогенные геосистемы Ямских островов (Охотское море). Изв. Рус. геогр. общ. 2007; 139(5): 66–71. [Ivanov A.N. Ornithogenic geosystems of Yam Islands (Sea of Okhotsk). Proceedings of the Russian Geographical Society. 2007; 139(5): 66–71 (In Russ.)]
12. Лебедева Н.В. Роль морских птиц в формировании флоры и фауны островов Арктики. Методы и теоретические аспекты исследования морских птиц. Ростов-на-Дону, 2007; 153–170. [Lebedeva N.V. Role of seabirds in formation of flora and fauna of the Arctic islands. Methods and theoretical aspects of seabird studies. 2007; 153–170. (In Russ.)]
13. Плезченко С.В. Некоторые особенности почвообразования в местах массовых поселений морских колониальных птиц на острове Талан. Прибрежные экосистемы северного Охотоморья: Остров Талан. Магадан, 1992; 109–115. [Pleshchenko S.V. Some peculiarity of soil formation in places of mass settlements of marine colonial birds on the Talan island. Coastal ecosystems of the northern Sea of Okhotsk: Talan Island. Magadan, 1992; 109–115. (In Russ.)]
14. Елпатьевский П.В. Орнитологические почвы. Тезисы докладов III Дальневосточной конференции по заповедному делу. Ред. А.В.Жирмунский. Владивосток, 1997; 44. [Elpat'evskij P.V. Ornithological soils. Proceedings of the IIIth Far Eastern Conference on Nature Reserve. Zhirmunsky A.V. (ed.) Vladivostok, 1997; 44. (In Russ.)]
15. Захаренко К.А., Романов В.В. О влиянии колониального поселения озерных чаек на особенности химического состава почв в условиях Владимирского ополя. Вестник ОГУ. 2009; 6(112): 147–152. [Zabarenko K.A., Romanov V.V. About the influence of the nesting colonies of the black-headed gulls on the special aspects of the chemical composition of ground under the conditions of the Vladimir high plains. Orenburg State University Vestnik. 2009; 6(112): 147–152. (In Russ.)]
16. Тихомиров Б.А. Взаимосвязи животного мира и растительного покрова тундры. М.; Л., 1959. [Tibomirov B.A. Interaction between animals and plant cover in the tundra. Moscow; Leningrad, 1959. (In Russ.)]
17. Бреслина И.П. Растения и водоплавающие птицы морских островов Кольской субарктики. Л., 1987. [Breslina I.P. Plants and waterfowl of the sea islands of the Kola Subarctic region. Leningrad, 1987. (In Russ.)]
18. Лысенков Е.В., Втюрина Т.П. Средообразующая деятельность врановых птиц. Актуальные проблемы изучения и охраны птиц Восточной Европы и Северной Азии: Материалы XI Международной орнитологической конференции. Казань, 2001; 385–386. [Lysenkov E.V., Vtyurina T.P. Environment-forming activity of corvids. Actual problems of studying and protecting birds of Eastern Europe and North Asia: Proceedings of the XIth International Ornithological Conference. Kazan, 2001; 385–386. (In Russ.)]
19. Втюрина Т.П. Изменение химического состава почвы в колониях грачей и поливидовых ночевках врановых. Врановые птицы: экология, поведение, фольклор. Саранск, 2002; 11–19. [Vtyurina T.P. Change in the chemical composition of ground in the colonies of rooks and polyspecies roosting time corvids. Corvids birds: ecology, behavior, folklore. Saransk, 2002; 11–19. (In Russ.)]
20. Лысенков Е.В. Средообразующая роль врановых в антропогенных ландшафтах. Экология врановых птиц в антропогенных ландшафтах. Саранск, 2002; 25–29. [Lysenkov E.V. Environment-forming role of corvids in anthropogenic landscapes. Ecology of corvids birds in anthropogenic landscapes. Saransk, 2002; 25–29. (In Russ.)]
21. Семаго Л.Л. К вопросу о средообразующей деятельности колониальных и стайных птиц. Проблемы изучения и охраны ландшафтов. Воронеж, 1975; 45–47. [Semago L.L. The Question of the environment-forming activity of colonial and congregatory birds. Problems of studying and protecting landscapes. Voronezh, 1975; 45–47. (In Russ.)]
22. Творогова А.С., Луговой А.Е. Влияние зимних скоплений врановых птиц на микрофлору почвы в местах ночевки. Тез. докл. VII Всес. орнитолог. конф. Киев, 1977; 1: 328–329. [Tvorogova A.S., Lugovoj A.E. Influence of winter flocks of corvids birds on microflora of ground in places of roosting time. Scientific conference abstracts of All-Russian Ornithological Conference. Kiev, 1977; 1: 328–329. (In Russ.)]
23. Недосекин А.А. Изменения в распределении растительного покрова под гнездами в колонии серых цапель в Тульских Засаках. Актуальные проблемы изучения и охраны птиц Восточной Европы и Северной Азии. Казань, 2001; 467–468. [Nedosekin A.A. Changes in the distribution of vegetation under the nests in the colony of gray herons in the Tula Zaseki. Actual problems of studying and protecting birds in Eastern Europe and North Asia. Kazan, 2001; 467–468. (In Russ.)]
24. Чугай С. Роль колоний серой цапли в функционировании экосистем пойменных черноольшанников. Птицы бассейна Северского Донца. Донецк, 1993; 50–52. [Chugaj S. The role of the gray heron colonies in the functioning of the ecosystems of floodplain black alder thickets. Birds of the Seversky Donets basin. Донецк, 1993; 50–52. (In Russ.)]
25. Недосекин А.А. Изменение химического состава почвы под влиянием колонии серых цапель. Актуальные проблемы экологии и природопользования. М., 2003. 3: 90–93. [Nedosekin A.A. Change in the chemical

- composition of the ground under the influence of the gray heron colony. Actual problems of ecology and nature management. Moscow, 2003. 3: 90–93. (In Russ.)]
26. *Бызова Ю.Б., Уварова А.В., Губина В.Г.* Влияние жизнедеятельности птиц на растительность островов. Почвенные беспозвоночные Беломорских островов Кandalakшского заповедника. М., 1986; 17–19. [*Byzova YU.B., Uvarova A.V., Gubina V.G.* Influence of the vital activity of birds on the vegetation of islands. Soil invertebrates of the White Sea islands of the Kandalaksha Reserve. Moscow, 1986; 17–19. (In Russ.)]
 27. *Тараненко Л.И.* Влияние колониального гнездования грачей на окружающую среду. Роль животных в функционировании экосистем. М., 1975; 104–106. [*Taranenko L.I.* Influence of colonial nesting of rooks on the environment. The role of animals in the functioning of ecosystems. Moscow, 1975; 104–106. (In Russ.)]
 28. *Галкина В.Н.* О химическом составе растворимых веществ экскрементов морских рыбающих птиц. Экология. 1974; 5: 23–27. [*Galkina V.N.* About the chemical composition of soluble substances excreta of marine fish-eating birds. Ecology. 1974; 5: 23–27. (In Russ.)]
 29. *Сиохин В.Д.* Трофические связи чайковых птиц в наземных и водных экосистемах Пришивашья. Эколого-морфологические особенности животных и среда их обитания. Киев, 1981; 61–63. [*Siokhin V.D.* Trophic connections of Laridae in Terrestrial and Aquatic Ecosystems in the Sivash area. Ecological Features of Animals and their Habitat. Kiev, 1981; 61–63. (In Russ.)]
 30. *Kameda K., Koba K., Hobara S. et al.* Pattern of natural ¹⁵N abundance in lakeside forest ecosystem affected by cormorant-derived nitrogen. *Hydrobiologia*. 2006; 567(1): 69–86. Doi:10.1007/s10750-006-0052-0.
 31. *Leentvaar P.* Observations in guantrophic environments. *Hydrobiologia*. 1967; 29(3–4): 441–489. Doi:10.1007/BF00189906.
 32. *Brandvold D.K., Popp C.J., Brierley J.A.* Waterfowl refuge effect on water quality: chemical and physical parameters. *Journal (Water Pollution Control Federation)*. 1976; 48(4): 680–687.
 33. *Moss B., Leab R.T.* Changes in the ecosystem of a guantrophic and brackish shallow lake in eastern England: potential problems in its restoration. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 1982; 67: 625–659.
 34. *Bales M., Moss B., Pbillips G. et al.* The changing ecosystem of a shallow, brackish lake, Hickling Broad, Norfolk, UK. II Long-term trends in water chemistry and ecology and their implications for restoration of the lake. *Freshwater Biology*. 1993; 29: 141–165. Doi:10.1111/j.1365-2427.1993.tb00751.x.
 35. *Don G.L., Donovan W.F.* First Order Estimation of the Nutrient and Bacterial Input from Aquatic Birds to Twelve Rotorua Lakes. Auckland, 2002.
 36. *Chaichana R., Leab R., Moss B.* Birds as eutrophication agents: a nutrient budget for a small lake in a protected area. *Hydrobiologia*. 2010; 646: 111–121. Doi:10.1007/s10750-010-0166-2.
 37. *Крылов А.В.* Зоопланктон равнинных малых рек. М., 2005. [*Krylov A.V.* Zooplankton of lowland small rivers. Moscow, 2005. (In Russ.)]
 38. *Unckless R.L., Makarewicz J.C.* The impact of nutrient loading from Canada Geese (*Branta canadensis*) on water quality, a mesocosm approach. *Hydrobiologia*. 2007; 586: 393–401. Doi:10.1007/s10750-007-0712-8.
 39. *Крылов А.В., Кулаков Д.В., Чалова И.В., Папченков В.Г.* Зоопланктон пресных водоемов в условиях влияния гидрофильных птиц. Ред. А.И.Копылов. Ижевск, 2012. [*Krylov A.V., Kulakov D.V., Chalova I.V., Papchenkov V.G.* Zooplankton of fresh water reservoirs under the influence of hydrophilic birds. Ed. A.I. Kopylov. Izhevsk, 2012. (In Russ.)]
 40. *Gwiazda R.* Contribution of water birds to nutrient loading to the ecosystem of mesotrophic reservoir. *Ecologia polska*. 1996; 44(3–4): 289–297.
 41. *Pettigrew C.T., Hahn B.J., Goldsborough L.G.* Waterfowl feces as a source of nutrients to a prairie wetland: responses of microinvertebrates to experimental additions. *Hydrobiologia*. 1998; 362(1–3): 55–66. Doi:10.1023/A:1003167219199.
 42. *Manny B.A., Johnson W.C., Wetzel R.G.* Nutrient additions by waterfowl to lakes and reservoirs: predicting their effects on productivity and water quality. *Hydrobiologia*. 1994; 279/280(1): 121–132. Doi:10.1007/BF00027847.
 43. *Головкин А.Н.* Влияние морских колониальных птиц на развитие фитопланктона. Океанология. 1967; 4(4): 272–282. [*Golovkin A.N.* Influence of marine colonial birds on the development of phytoplankton. Oceanology. Moscow, 1967; 4(4): 272–282. (In Russ.)]
 44. *Головкин А.Н.* Роль птиц в морских экосистемах. Итоги науки и техники. Сер. зоол. позвон. М., 1982; 11: 97–157. [*Golovkin A.N.* The role of birds in marine ecosystems. The results of science and technology. Series of zoology of vertebrates. Moscow, 1982; 11: 97–157. (In Russ.)]
 45. *Головкин А.Н., Гаркавая Г.П.* Удобрение вод побережья Мурмана различными типами колоний морских птиц. Биология моря. 1975; 5: 49–57. [*Golovkin A.N., Garkavaya G.P.* Fertilization of the Murman coastal waters by various types of seabird colonies. Biology of the sea. *Biologiya Morya (Marine Biology)*. 1975; 5: 49–57. (In Russ.)]
 46. *Головкин А.Н., Позднякова Л.Е.* Влияние морских колониальных птиц на режим биогенных солей в прибрежных водах Мурмана. Рыбающие птицы и их значение в народном хозяйстве. М., 1966; 210–230. [*Golovkin A.N., Pozdnyakova L.E.* Influence of marine colonial birds on the regime of biogenic salts in the coastal waters of Murman. Fish-eating birds and their importance in the national economy. Moscow, 1966; 210–230. (In Russ.)]

47. Крылов А.В., Кулаков Д.В., Касьянов Н.А. и др. Влияние колониального поселения птиц на зоопланктон защищенного зарастающего мелководья Рыбинского водохранилища. Биол. внутр. вод. 2009; 2: 56–61. [Krylov A.V., Kulakov D.V., Kasyanov N.A., Tselmovich O.L., Papchenkov V.G. The influence of bird colonies on the zooplankton in the Rybinsk Reservoir overgrown shallows. Inland Water Biology. 2009; 2: 56–61. (In Russ.)] Doi:10.1134/S1995082909020084.
48. Крылов А.В., Кулаков Д.В., Папченков В.Г. Влияние поселений гидрофильных птиц на зоопланктон литоральной зоны разнотипных водоемов. Экология. 2011; 6: 467–473. [Krylov A.V., Kulakov D.V., Papchenkov V.G. Effect of water-loving bird colonies on zooplankton in littoral zones of water bodies of different types. Russian Journal of Ecology. 2011; 6: 467–473. (In Russ.)] Doi:10.1134/S1067413611060087.
49. Кулаков Д.В., Косолапов Д.Б., Крылов А.В. и др. Планктон высокотрофного озера в условиях влияния продуктов жизнедеятельности колонии серой цапли (*Ardea cinerea* L.). Поволжский экологический журнал. 2010; 3: 274–282. [Kulakov D.V., Kosolapov D.B., Krylov A.V., Korneva L.G., Malin M.I., Pavlov D.D. Plankton of a highly-eutrophic lake under the influence of the vital activity products of a grey heron (*Ardea cinerea* L.) colony. Povolzhskiy Journal of Ecology. 2010; 3: 274–282. (In Russ.)]
50. Кулаков Д.В., Крылов А.В., Гуланян В.Г. Влияние колонии армянской чайки (*Larus armeniacus* Buturlin) на зоопланктон литоральной зоны озера Севан (Армения). Биол. внутр. вод. 2012; 1: 67–74. [Kulakov D.V., Krylov A.V., Gulanyan V.G. The effects of a colony of the Armenian gull (*Larus armeniacus* Buturlin) on zooplankton in the Lake Sevan littoral zone (Armenia). Inland Water Biology. 2012; 1: 67–74. (In Russ.)] Doi:10.1134/S1995082911040122.
51. Walsb K.A., Halliwell D.R., Hines J.E. et al. Effects of water quality on habitat use by lesser scaup (*Aythya affinis*) broods in the boreal Northwest Territories, Canada. Hydrobiologia. 2006; 567(1): 101–111. Doi:10.1007/s10750-006-0102-7.
52. Boros E., Banfi S., Forro L. Anostracans and microcrustaceans as potential food sources of waterbirds on sodic pans of the Hungarian plain. Hydrobiologia. 2006; 567(1): 341–349. Doi:10.1007/s10750-006-0054-y.
53. Longcore J.R., Mc Auley D.G., Pendelton G.W. et al. Macroinvertebrate abundance, water chemistry, and wetland characteristics affect use of wetlands by avian species in Maine. Hydrobiologia. 2006; 567(1): 143–167. Doi:10.1007/s10750-006-0055-x.
54. Madsen J., Tombre I., Eide N.E. Effects of disturbance on geese in Svalbard: implications for regulating increasing tourism. Polar Research. 2009; 28(3): 376–389. Doi:10.1111/j.1751-8369.2009.00120.x.
55. Moe B., Stempniewicz L., Jakubas D. et al. Climate change and phenological responses of two seabird species breeding in the high-Arctic. Marine Ecology Progress Series. 2009; 393: 235–246. Doi:10.3354/meps08222.
56. Van Geest G.J., Hessen D.O., Spierenburg P. et al. Goose-mediated nutrient enrichment and planktonic grazer control in Arctic freshwater ponds. Oecologia. 2007; 153(3): 653–662. Doi:10.1007/s00442-007-0770-7.
57. Штегман Б.К. Птицы как индикаторы биологических особенностей водоемов. Тр. VI совещания по проблемам биологии внутренних вод. М.; Л., 1959; 610–614. [Shtegman B.K. Birds as indicators of biological features of water bodies. Proceedings of the VIth meeting on the problems of the biology of inland waters. Moscow; Leningrad, 1959; 610–614. (In Russ.)]

Environmental Role of Birds

D.V.Kulakov^{1,2}, A.V.Krylov³

¹Saint Petersburg Division of Sergeev Institute of Environmental Geoscience, RAS (Saint Petersburg, Russia)

²Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia)

³Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS (Borok, Yaroslavskaaya oblast, Russia)

The life activity of large nesting colonies of birds contributes to the formation of various forms of microrelief, the formation of specific ornithogenic soils, and specific ornithophilous vegetation. In addition the activity of colonial birds can lead to oppression of vegetation, violation of reforestation, and drying up of trees. Colonially nesting birds were also able to act as important agents for transferring organic matter from terrestrial ecosystems to aquatic ecosystems, and causing changes in the hydrobiocenosis. Water reservoirs actively used by birds are usually characterized by high content of organic compounds of carbon and nitrogen, and also by high development of aquatic invertebrates which attract birds as a source of food. An increase in the species variety of zooplankton, a decrease of the relative abundance and biomass of Rotifera, and an increase in the proportion of Copepoda are observed in the freshwater reservoirs in vicinity of breeding colonies of birds. Specific changes in zooplankton caused by swimming birds differ from the changes of anthropogenic eutrophication.

Keywords: birds, breeding colony, environment-forming activity, edicator species, vital activity products of birds.

Эволюционная история китообразных: морское путешествие продолжительностью 55 миллионов лет

академик А.В.Лопатин

Палеонтологический институт имени А.А.Борисяка РАН (Москва, Россия)

Благодаря палеонтологическим и молекулярно-генетическим открытиям последнего времени китообразные стали одной из немногих групп млекопитающих с хорошо реконструированной эволюционной историей, в которой четко фиксируются переходы от наземных форм к полуводным, от полуводных к прибрежно-морским и от прибрежно-морских к океаническим.

Ключевые слова: китообразные, происхождение, эволюция, адаптации.

Покорив 375 млн лет назад сушу, позвоночные неоднократно возвращались в море, осваивая неисчерпаемые запасы рыбы и других морских организмов. Некоторые из них, например морские черепахи и ластоногие, сохранили связь с сушей, другие же полностью перешли к водному образу жизни. Хорошо известны мезозойские морские ящеры — плезиозавры, плиозавры и мозазавры. Самые большие из них достигали почти 20 м в длину. По-видимому, они охотились на своих более мелких собратьев. Хищниками были и мезозойские морские крокодилы — искусные пловцы, имевшие плавники. Но самыми успешными подводными охотниками стали ихтиозавры и китообразные, которые независимо друг от друга в совершенстве приспособились к обитанию в открытых морских водах, уподобившись рыбам формой тела и научившись размножаться без выхода на сушу.

Переход к жизни в воде сопровождался сходными преобразованиями в строении тела. Его форма становилась либо обтекаемой, либо змеевидной, уплощенной с боков. Если основным органом движения становился хвост, он приобретал вид лопасти, а задние конечности сильно уменьшались или исчезали. Передние конечности превращались в ласты или плавники, служащие весла-



Алексей Владимирович Лопатин, академик РАН, доктор биологических наук, директор Палеонтологического института имени А.А.Борисяка РАН, профессор кафедры палеонтологии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов — морфология, филогения и эволюция позвоночных животных, биостратиграфия, палеобиогеография, палеоэкология.

ми, рулями глубины, средствами поворота и торможения. Зубные ряды составляли двойной острый частокол, способный удерживать и раздирать скользкую добычу...

После вымирания гигантских водных рептилий мезозоя ниша морских суперхищников долго оставалась свободной и лишь частично осваивалась большими акулами, крокодилами и морскими змеями. Но около 55 млн лет назад появилась группа млекопитающих, со временем достигшая господства в морях кайнозойской эры, — китообразные...

Родственные узлы

Китообразные — потомки наземных млекопитающих, и наследие их сухопутного прошлого проявляется в дыхании атмосферным воздухом, наличии плаценты, вскармливании детенышей моло-

ком, а также в деталях строения скелета. В отличие от рыб, у которых при плавании позвоночник изгибается в горизонтальной плоскости, у китообразных он движется в плоскости вертикальной. Современные киты и дельфины не могут жить на суше и выглядят очень необычно по сравнению с наземными млекопитающими. Вопрос о том, каким образом наземные звери превратились в морских чудовищ, долгое время оставался без ответа, так как в палеонтологической летописи отсутствовали соответствующие связующие звенья. В настоящее время картина в значительной мере прояснилась.

Предками китообразных до 2000-х годов считались мезонихии, родственные парнокопытным вымершие хищники, обликом отдаленно напоминавшие массивных собак с копытцами вместо когтей. Мезонихии были величиной от ласки до медведя, среди них известны и полуводные рыбацкие формы, такие как гапалодекты (*Hapalodectes*). Однако большинство мезонихий были наземными хищниками и падальщиками. Строение черепа и зубов этих древних млекопитающих (они жили 63–33 млн лет назад) долгое время давало основание полагать, что китообразные произошли непосредственно от мезонихий.

С этой гипотезой вступили в противоречие молекулярно-генетические данные, показывающие, что китообразные должны рассматриваться в пределах группы парнокопытных в качестве ближайших родственников бегемотов. На этом основании парнокопытные и китообразные иногда объединяются в группу «китопарнокопытных» (Cetartiodactyla) [1].

Открытие полного скелета наземного китообразного пакицета (*Pakicetus attockii*) поддержало молекулярно-генетические данные, показав, что китообразные отделились от древних парнокопытных уже после того, как те разошлись с мезонихиями [2]. Иными словами, предками китов были примитивные парнокопытные, сохранившие признаки их общего с мезонихиями происхождения (например, в строении зубов), которые современные парнокопытные давно утратили. Это были всеядные и плотоядные животные. Парнокопытные позже перешли к питанию растительным кормом, но некоторые из них (например, свиньи)

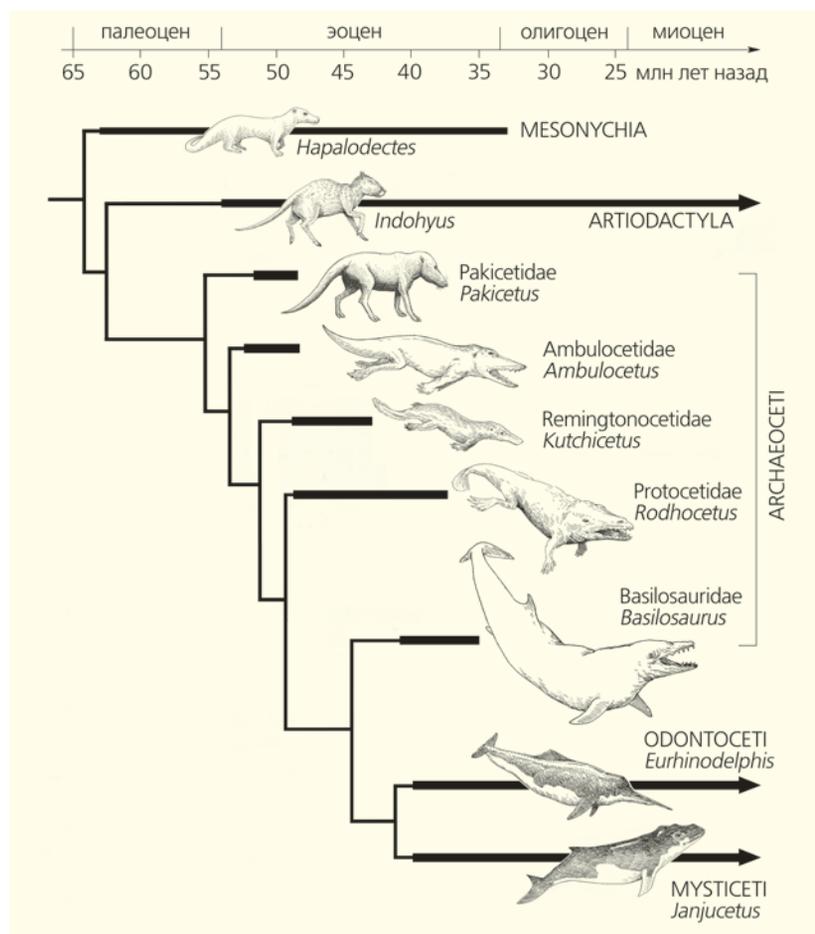


Схема эволюции китообразных.

Схема А.В.Лопатина, рисунки животных К.К.Тарасенко

и ныне в значительном объеме потребляют животную пищу. Киты — водные теплокровные, нуждающиеся в высококалорийной пище, поэтому они сохранили и развили животоядный характер питания своих предков.

В пользу этой гипотезы может свидетельствовать строение скелета индохиуса (*Indohyus*), который был найден в Кашмире (Индия) в отложениях возрастом около 48 млн лет [3]. Это животное относится к отряду парнокопытных, к вымершему семейству раоэллид. Телосложением и величиной оно напоминало вовсе не китов, а современных оленей семейства трагулид, живущих в Западной Африке и Юго-Восточной Азии в густых лесах, кустарниковых и мангровых зарослях, умеющих хорошо плавать и нырять. Но по строению слуховой области черепа (это очень важный признак для выяснения родства среди млекопитающих) индохиус сближается лишь с одними древнейшими китами семейства пакицетид. Индохиус жил на несколько миллионов лет позже пакицетид и не может быть их предком — но он вполне может быть потомком одной из линий, родственной предкам династии морских великанов.

Основатели династии

Древние китообразные эволюционировали быстро, и переход от полуназемных форм к постоянноводным занял приблизительно 8 млн лет. Примитивных эоценовых китообразных, называемых археоцетами (древними китами), разделяют на пять семейств — это пакицетиды, амбулоцетиды, ремингтоноцетиды, протоцетиды и базилозавриды. В 2001 г. стали известны первые анатомически полные скелеты археоцетов, позволившие в деталях выяснить процесс перехода китообразных к жизни в море [2].

Пакицетиды жили в раннем эоцене (около 52 млн лет назад) на северном побережье субтропического внутриконтинентального моря Тетис, в те времена пересекавшего Евразию в широтном направлении. Это были большеголовые и длинномордые звери с копытцами на пальцах и длинными хвостами, пакицет и налацет (*Nalacetus ratimitus*) размерами соответствовали волку, а ихтиолест (*Ichthyolestes pinfoldi*) — лисице. Судя по строению скелета, пакицетиды хорошо плавали, используя волнообразные движения тела и гребки конечностями. По строению слуховой области черепа они сближаются с китами. Однако уши пакицетид были приспособлены к восприятию звуков в воздушной, а не в водной среде. Следовательно, эти животные жили на суше, добывая пищу в мелководных пресных водоемах и поблизости от них, подобно современному тапирам. Скелеты пакицетид были найдены в Пакистане и Северо-Западной Индии, в речных отложениях. Видимо, именно эти места были центром происхождения китообразных.

Данные по эволюции системы полукружных каналов внутреннего уха, участвующих в регуляции равновесия и положения тела в пространстве и ответственных за контроль локомоции, свидетельствуют, что пакицетиды в этом отношении еще были близки наземным млекопитающим [4].

Киты-амфибии

Одной из самых значимых находок древних китообразных, «недостающим звеном» в их эволюции, стал амбулоцет (*Ambulocetus natans*). Его название, означающее «плавающий ходячий кит», говорит само за себя. Почти полный скелет этого животного найден на севере Пакистана в отложениях возрастом около 49 млн лет назад [5]. Обликом трехметровый амбулоцет напоминал большеголового кроко-

дила. При плавании его тело изгибалось в вертикальной плоскости, как у современных китов, тюленей и выдр. Предполагают, что амбулоцеты охотились подобно крокодилам, подстерегая своих жертв на мелководье (активно передвигаться по суше они не могли). Амбулоцеты имели мощные челюсти и зубы и были способны умертвить достаточно крупную добычу. Строение носа позволяло «киту-амфибии» глотать пищу прямо в воде. Глаза давали только боковой обзор. Ушные раковины амбулоцет, судя по всему, утратил, но хорошо слышал в воде. Движение своей добычи по суше он отслеживал, прижимая голову к грунту и улавливая колебания субстрата. Химический анализ зубов показал, что зверь мог охотиться как в солоноводных, так и в пресных водоемах. К семейству амбулоцетид относятся еще два рода: гандаказия (*Gandakasia*) и гималайцет (*Himalayacetus*). Последний примечателен своей древностью, наибольшей среди китообразных — 53,5 млн лет.

Более мелкими родичами амбулоцетид были ремингтоноцетиды, известные из Индии и Пакистана, из отложений возрастом 49–43 млн лет назад. Эти животные обладали сильно вытянутыми челюстями и были несколько лучше приспособлены к подводному плаванию, чем амбулоцетиды. Они тоже имели хорошо развитые конечности, но отличались маленькими глазами, тонкими челюстями и расширенным основанием черепа. Если сравнивать «земноводных китов» по общему облику с крокодилами, то среди них амбулоцетиды больше напоминали аллигаторов, а ремингтоноцетиды — гавиалов. Строение слуховой области в сочетании с маленькими глазами показывает, что для обнаружения добычи ремингтоноцетиды пользовались в основном слухом. Известно шесть родов ремингтоноцетид. Их размеры были невелики: например, качхецет



Реконструкция внешнего вида амбулоцета.

Рисунок К.К.Тарасенко

(*Kutchicetus minimus*) не превосходил величиной речную выдру. Для эндрюсифия (*Andrewsiphium sloani*) установлено наличие мощного уплощенного хвоста, служившего основным органом движения в водной среде [6]. Райанист (*Rayanistes afer*), найденный в среднем эоцене Египта [7], демонстрирует, что ремингтоноцетиды достигли южного побережья Тетиса.

Киты дальнего плавания

Первыми с мелководья на настоящую глубину отправились протоцетиды, жившие 49–37 млн лет назад. Их главным эволюционным приобретением был удлиненный мощный хвост (поначалу без хвостовой лопасти), который обеспечивал быстрое плавание [8]. При этом протоцетиды сохраняли развитые задние конечности. Вероятнее всего, по образу жизни их можно сопоставить с современными крупными ластоногими. У некоторых протоцетид зубы были уменьшены, это свидетельствует, что добычу — мелких морских животных — они заглатывали целиком. Такими были первые китообразные, которые сумели распространиться за пределы моря Тетис — их остатки найдены в мелководно-морских отложениях в Африке, Европе и Северной Америке. Самые крупные из них достигали длины более 3 м и весили до 400–500 кг. Вероятно, от протоцетид произошли все более поздние китообразные, включая современные группы. Описано около 20 родов протоцетид, из них наиболее известны протоцет (*Protocetus*) и родхоцет (*Rodhocetus*). Своеобразно выглядел макарацет (*Makaracetus bidens*), у которого (судя по строению передней части черепа) был короткий хоботок [9] или мясистая верхняя губа, которые могли служить для сбора со дна моллюсков и других животных.

Важные сведения о биологии протоцетид были получены на основе изучения майяцета (*Maiacetus inuus*). В Пакистане, в отложениях возрастом 47.5 млн лет, был обнаружен скелет самки, внутри которого сохранились череп и часть скелета эмбриона [10]. Его положение (вперед головой, а не хвостом, т.е. так, как у наземных млекопитающих) свидетельствует, что протоцетиды рождали детенышей на суше, а не в воде. Самцы майяцетов были крупнее самок и имели более мощные клыки. Такой половой диморфизм характерен для многих современных ластоногих, в частности моржей и морских львов. Возможно, он отражает сходный, «гаремный», тип социальной организации у древних китообразных.

Властелины древних морей

Первые действительно гигантские киты — базилозавриды — жили в позднем эоцене, приблизительно 41–35 млн лет назад. Их ископаемые остатки в основном происходят с востока США и из Египта, но, скорее всего, эти животные были распространены по всему свету [11]. Известно около 15 родов этих археоцетов. Представители подсемейства базилозаврин были огромны: их змеевидное тело массой до 6 т достигало в длину 15–20 м. У них имелся хвостовой плавник, но был ли он их основным органом движения — неизвестно. Как и для прочих древних китов, для базилозаврин были характерны зазубренные коренные зубы и конические предкоренные. Дорудонтины внешне походили на дельфинов (хотя имели заметную шею), при весе в 1.5 т достигали в длину до 6 м. Все базилозавриды имели вполне оформленные задние конечности с подвижным коленным суставом и несколькими пальцами. Однако эти конечности были совсем маленькими и явно не функционировали как органы движения. Возможно, самцы использовали их при спаривании для захватывания самок, как делают своими рудиментарными задними конечностями удавы. Несмотря на внешнее сходство с современными китообразными, базилозавриды не были способны к ультразвуковой эхолокации и акустической коммуникации. Относительно маленький мозг указывает на отсутствие у них сложного социального поведения, характерного для современных китов и дельфинов. В то же время явно выраженная асимметрия черепа базилозаврида была частью комплекса приспособлений, связанного с развитием у них направленного слуха для различения высокочастотных звуков, которые производили рыбы.

Самый крупный археоцет (и самое крупное млекопитающее своего времени) — это базилозавр (*Basilosaurus cetoides*). Он был описан еще в 1839 г. из Алабамы (США). Другие виды найдены в Египте и Пакистане. Строение позвоночника базилозавра позволяет предполагать, что при плава-



Слепок черепа *Basilosaurus cetoides*, вид снизу. Экспонат Палеонтологического музея имени Ю.А.Орлова, Палеонтологический институт имени А.А.Борисяка РАН.

Фото А.А.Ермакова



Реконструкция внешнего вида базилозавра.

Рисунок В.Д.Калганова

нии он мог змеевидно извиваться. Скорее всего, базилозавр не был способен к длительному плаванию и глубокому нырянию. Не мог и выходить на сушу. Вероятно, он охотился на крупную добычу (например, акулу, а также дорудонтин) у водной поверхности недалеко от побережья. В 2015 г. в Египте нашли полный скелет 18-метрового базилозавра с остатками другого кита внутри.

Между зубом и усом

У современных китов задние конечности рудиментарны — они скрыты внутри тела и служат для крепления мышц половых органов и лишь поэтому не исчезли полностью. Иногда рождаются киты с атавистическими миниатюрными задними конечностями. Вместо ноздрей современные киты имеют дыхало специфичного строения, смещенное на макушку. Строение ушной системы обеспечивает способность к акустической коммуникации. Современные группы китообразных — зубатые (Odontoceti) и усатые (Mysticeti) киты — появились в позднем эоцене, около 40 млн лет назад. К раннему олигоцену они стали обычны, а в позднем олигоцене (27–23 млн лет назад) дали мощную вспышку разнообразия, которая привела к возникновению большинства современных семейств. Резкое увеличение головного мозга у зубатых китов отмечается дважды: первоначально у самых ранних форм 40 млн лет назад и затем у дельфинов 15 млн лет назад [12].

Подотряд зубатых китов включает дельфинов, нарвалов, морских свиней и кашалотов. Большинство из них живут в океане (хотя есть речные

дельфины), известны прибрежные и океанические виды, полярные и тропические. Все они активные хищники, добывают рыбу и кальмаров или, как косатки, охотятся на других китообразных, а также на пингвинов и ластоногих. В отличие от современных усатых китов, зубатые имеют зубы и способны к эхолокации. Каждое из современных семейств подотряда обладает собственной специализацией. Не менее разнообразны были и вымершие группы.

Современные усатые киты утратили зубы, но зато приобрели китовый ус, служащий им для фильтрации больших объемов мелкой добычи. Среди усатых китов — крупнейшее создание мира животных за всю его историю — синий кит.

Некоторые необычные представители как зубатых, так и усатых китов, в прошлом населявшие моря нашей планеты, заслуживают более близкого знакомства.

Мечерылые, акулзубые, моржеголовые...

Самые ранние черепные признаки, связанные с обладанием эхолокацией, обнаружены у олигоценового зубатого кита котилокары (*Cotylocara tacei*) из вымершего семейства ксенорофид, который жил у побережья Южной Каролины (США) 28 млн лет назад [13]. Для позднего олигодена и миоцена характерно высокое разнообразие архаичных групп зубатых китов, имевших пальчатые зубы, скорее похожие на археоцетовые, чем на более простые конические одонтоцетовые. У эвринодельфиса (*Eurbinodelphis*) из семейства эвринодельфинид беззубый конец верхней челюсти



Реконструкция внешнего вида сквалодона.

Рисунок И.С.Сергеенковой

превратился в длинный отросток, служивший смертоносным оружием, как у меч-рыбы. Этот «мечерылый дельфин» был небольшим (около 2 м), но родственник ему макродельфин (*Macrodelphinus kelloggi*) достигал размеров косатки (6–8 м). Представители рода сквалодонов (*Squalodon*) из семейства акулорыльных дельфинов (Squalodontidae) имели длинные узкие челюсти. Многочисленные виды семейства кентриодонтид (около 20 родов) внешним видом весьма напоминали современных дельфинов (Delphinidae), появившихся около 15 млн лет назад.

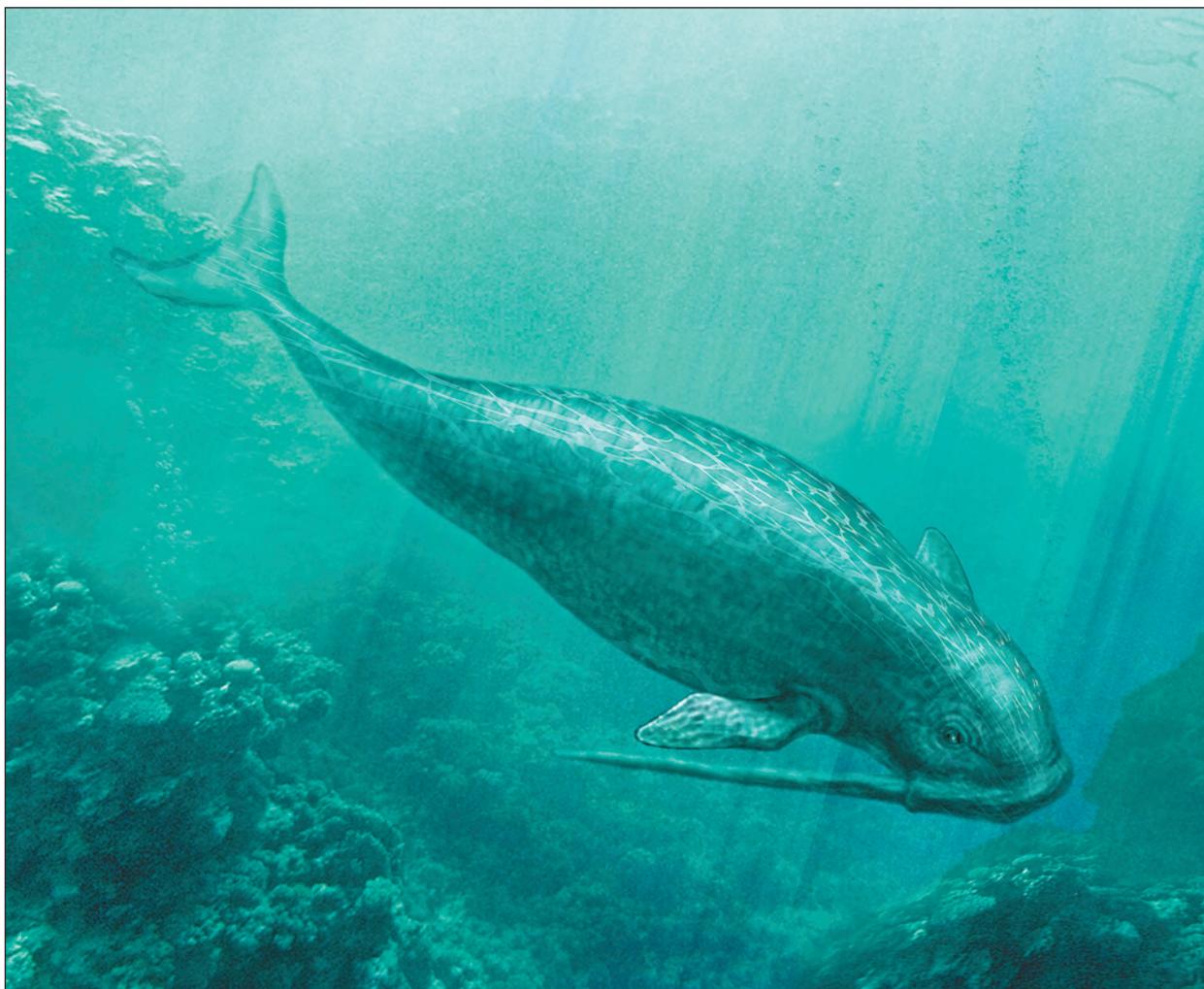
Симоцет (*Simocetus rayi*) из верхнего олигоцена Орегона (США), выделенный в самостоятельное семейство симоцетид, получил прозвание «курносый дельфин». Его короткие челюсти были заметно загнуты вниз, а редко расположенные зубы служили скорее для просеивания пищи, чем для ее разрывания. Вероятно, симоцет добывал донных беспозвоночных, процеживая осадок [14].

У двухметровой морской свиньи семиростра (*Semirostrum ceruttii*), жившей 3 млн лет назад

у берегов южной Калифорнии (США), нижняя челюсть была вдвое длиннее верхней. Эта часть челюсти формировала покрытый кожей выступ-подбородок, который использовался как специальный чувствительный орган для поиска пищи «на ощупь» в мутной воде у самого дна [15].

История группы речных дельфинов (Platanistoidea) прослеживается с позднего олигоцена, когда ее представители еще обитали в морских бассейнах. При этом оказывается, что они вовсе не близкородственны друг другу. Слепой гангский дельфин (*Platanista*) принадлежит линии архаичных зубатых китов, родственной сквалодонтидам, тогда как другие — амазонский (*Inia*), лаплатский (*Pontoporia*) и озерный (*Lipotes*) — скорее всего, происходят от различных вымерших групп [16].

Самый необычный облик среди вымерших зубатых китов имел одобеноцетопс из плиоцена Перу (возраст 4–3 млн лет назад), названный так за внешнее сходство с современным моржом (*Odobenocetops* можно перевести как «моржеголо-



Реконструкция внешнего вида одобеноцетопса.

Рисунок И.С.Сергеенковой

вый кит»). Это небольшой дельфин, выделенный в собственное семейство одобеноцетопсид, родственник нарвалов и морских свиной. В противоположность большинству дельфинов, у одобеноцетопса не было удлинённого рыла, ноздри сместились вперед, а глаза — к передне-верхней стороне черепа, обеспечивая бинокулярное зрение. В верхней челюсти имелись два бивня, у самок — очень маленькие, а у самцов разные — левый почти как у самок (длина 5 см), а правый длинный, копьевидный, выступал наружу больше чем на 1 м (при том, что тело животного было чуть более 2 м). При плавании голова животного опускалась вниз, а бивень располагался почти параллельно телу и своим концом был направлен назад. Предполагается, что, подобно моржу, одобеноцетопс питался донными беспозвоночными, собирая их большой мясистой верхней губой с чувствительными вибриссами. Бивни, скорее всего, не использовались для добывания пищи, а служили самцам брачным оружием [17].

Кашалоты-убийцы и сам Левиафан

В раннем миоцене, около 20 млн лет назад, появились кашалоты (Physeteroidea). Ныне это специализированные охотники на кальмаров. Однако некоторые неогеновые кашалоты были китами-убийцами своего времени, занимая экологическую нишу косаток до их появления около 3 млн лет назад. Наименование «кашалота-убийцы» в научной литературе получил зигофизетер (*Zygophyseter varolai*) из позднего миоцена Италии, возрастом 10–7 млн лет назад [18]. Этот кит был длиной 6–7 м, с мощным черепом и многочисленными большими зубами в верхней и нижней челюстях. Грозными хищниками были и другие кашалоты-убийцы: семиметровый бригмофизетер (*Brygmophyseter shigensis*) из Японии (возраст 15–14 млн лет назад) и представители рода акрофизетеров (*Acrophyseter*) из Перу (9–6 млн лет), достигавшие в длину лишь 4 м, но также занимавшие нишу активных морских охотников [19].

Остатки намного более крупного морского хищника были также обнаружены в Перу, их возраст 10–9 млн лет назад [19, 20]. В длину гигантский кашалот-убийца достигал 18 м, а весил он около 40 т (примерно как самцы современного кашалота). Длина его черепа около 3 м, а зубы имеют диаметр около 12 см и длину до 36 см. Пожалуй, это самые крупные зубы в животном мире, не считая гипертрофированных клыков и бивней. Колосс получил название «мелвиллов левиафан» (*Livyatan melvillei*), в честь библейского чудовища Левиафана и американского писателя Германа Мелвилла, автора романа «Моби Дик, или Белый кит». Можно предполагать, что появление таких крупных хищников было связано с развитием гигантизма среди их потенциальных жертв — усатых китов.

Киты-леопарды и беззубые великаны

Усатые киты произошли от археоцетов, по-видимому, в высоких широтах. Известны олигоценовые группы, которые имели широко расставлен-

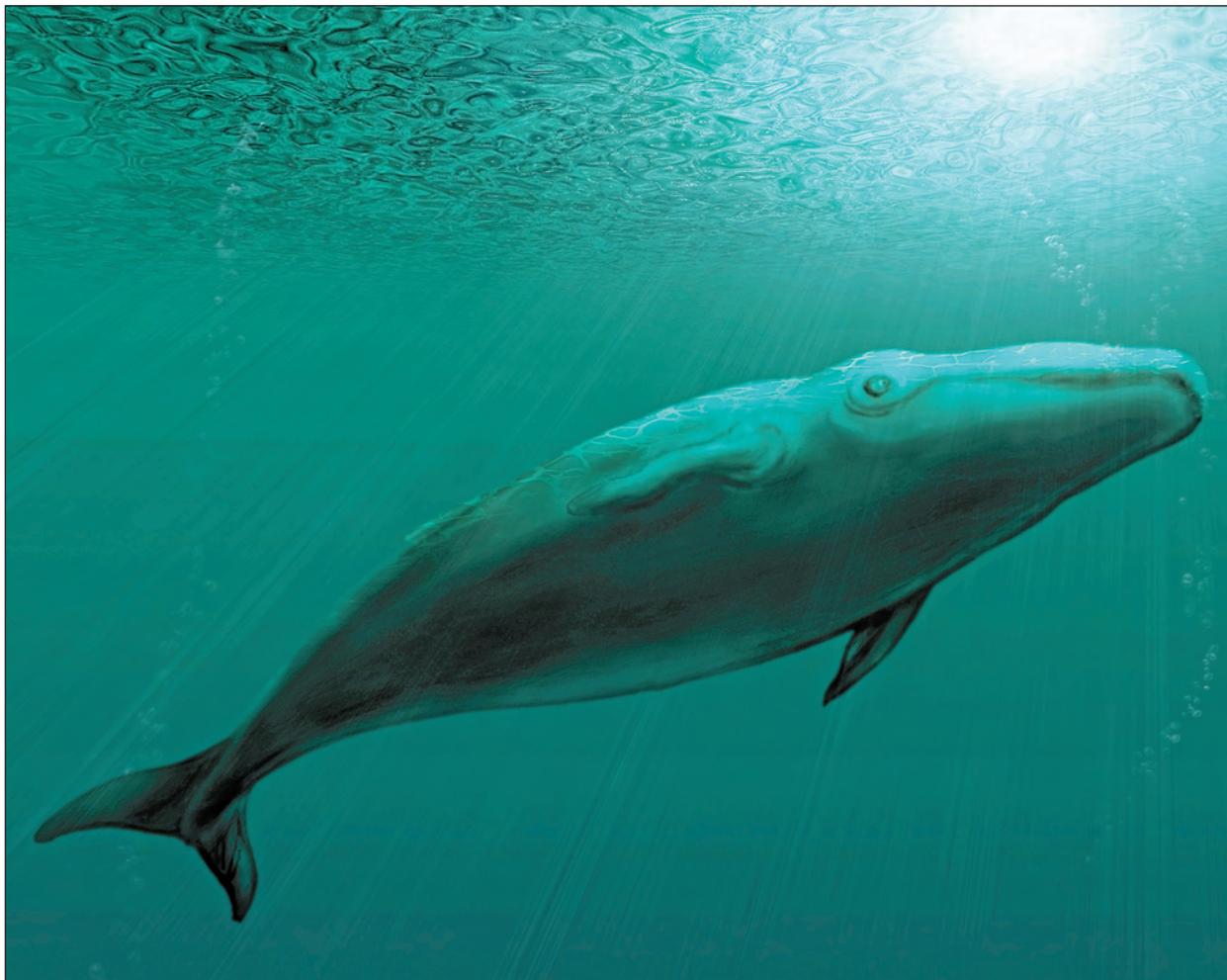
ные зубы, а в строении черепа совмещали черты, свойственные археоцетам и усатым китам. Очень необычен зубастый янджуцет (*Janjucetus bunderi*) из позднего олигоцена Австралии, длиной около 3,5 м, имевший исключительно большие глаза и укороченную морду. Предполагается, что он был активным хищником, охотившимся на крупную рыбу, включая акул, и экологически напоминал морского леопарда — современного хищного тюленя [21]. Янджуцет относится к семейству маммалодонтид. Другие представители этой вымершей группы, маммалодоны (*Mammalodon*) из олигоцена Австралии и Новой Зеландии, имели редко посаженные зубы. Вероятно, они питались донными беспозвоночными, процеживая ил [22]. Их открытие подтвердило догадку Чарльза Дарвина, который предположил в «Происхождении видов», что фильтрующие усатые киты произошли именно от таких форм — Дарвин называл их «просеивателями».

В середине олигоцена, около 30 млн лет назад, появились фильтрующие усатые киты. У представителей вымершего семейства эомистицетид



Реконструкция внешнего вида янджуцета.

Рисунок И.С.Сергеенковой



Реконструкция внешнего вида цетотерия.

Рисунок И.С.Сергеенковой

(*Eomysticetus*, *Wabaroa* и др.), сравнительно некрупных (до 8 м) китов стройного сложения, китовый ус занимал только заднюю часть неба, на переднем конце челюсти имелось несколько зубов, а дыхало располагалось на значительном расстоянии спереди от глаз. Древнейшие находки гладких китов (*Balaenidae*) имеют возраст 23 млн лет. Полосатиковые (*Balaenopteridae*), к которым относится гигантский синий кит, появились в Северной Атлантике около 12 млн лет назад. Судя по ископаемым остаткам, современному синему киту по размерам не уступали некоторые киты-полосатики плиоцена и плейстоцена, например *Balaenoptera sibbaldina* из раннего плиоцена Бельгии [23]. Однако самыми широко распространенными усатыми китами неогена были цетотерии (*Cetotheriidae*) — очень разнообразная (более 50 видов и около 20 родов) группа сравнительно небольших форм (около 3–4 м) без признаков специализации современных семейств. Судя по всему, в основном на них и охотились кашалоты-убийцы, а также гигантские акулы мегалодоны. Остатки цетотериев

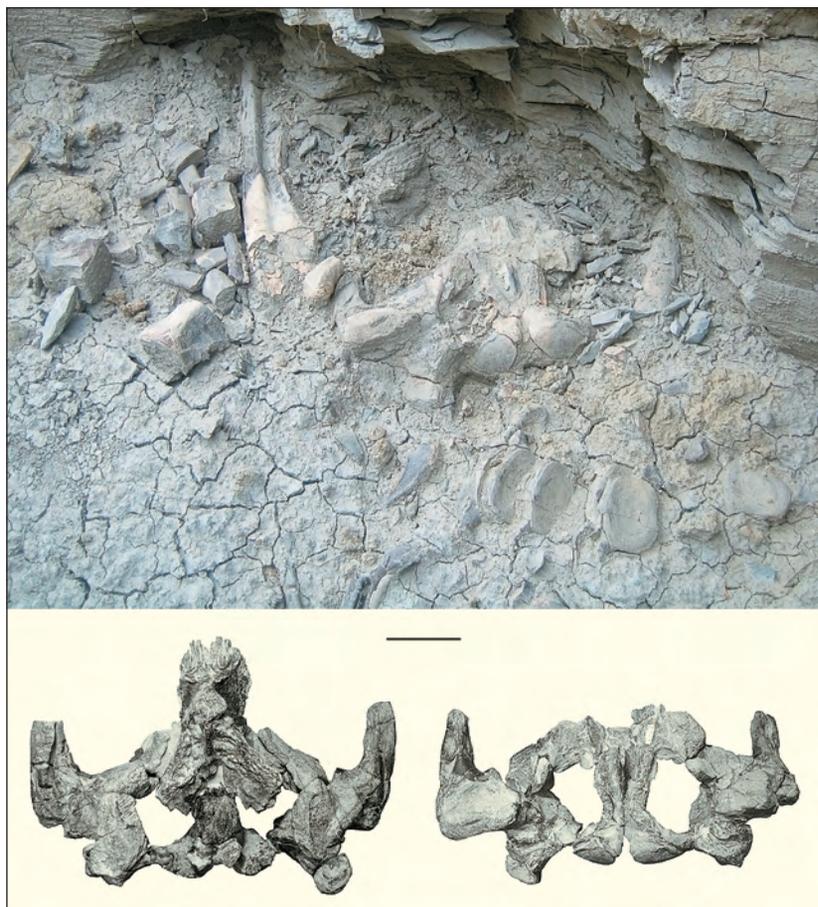
известны из Европы, Северной и Южной Америки, Японии, Австралии и Новой Зеландии.

* * *

Итак, появившись почти 55 млн лет назад в прибрежных водах Индо-Пакистанской области, китообразные постепенно освоили Мировой океан, породив огромное множество форм весьма разнообразного облика и величины.

Благодаря палеонтологическим открытиям последнего времени китообразные стали одной из немногих групп млекопитающих с хорошо реконструированной эволюционной историей. Очень важно, что палеонтологические данные хорошо согласуются с молекулярно-генетическими*, дополняя друг друга и независимо фиксируя последовательность и время возникновения соответствующих ключевых анатомических, физиологических и биохимических адаптаций и магистральных

* См. подробный обзор: Гельфанд М.С. Молекулярная эволюция: как киты уходили под воду // Природа. 2016. №10. С.39–50.



Скелет *Vampalus sayasanicus*. Вверху — процесс раскопок (видны части черепа, нижней челюсти, позвонки), внизу — фрагмент черепа: вид сверху (слева) и снизу. Длина масштабной линейки 10 см.

Фото Х.А.Абдулмежидова (верхнее)
и К.К.Тарасенко (нижние)

эволюционных событий при переходе от наземных форм к полуводным, от полуводных к прибрежно-морским и от прибрежно-морских — к океаническим. Несомненно, новые исследования ископаемых и современных видов в ближайшее время существенно дополнят и детализируют складывающуюся картину.

Ископаемая летопись китообразных постоянно пополняется яркими находками, сулящими дальнейшие открытия. В России остатки вымерших китов встречаются довольно редко, в основном в отложениях миоцена (Ставрополье, Дагестан, Таманский п-ов, Сахалин). В Ростовской обл. обнаружены фрагментарные остатки среднеэоценовых археоцетов [24]. На Северном Кавказе находят цетотериев. Недавно оттуда были описаны несколько новых родов этих китов. Важную находку передал в Палеонтологический институт имени А.А.Борисяка РАН житель Чеченской республики Х.А.Абдулмежидов, раскопавший в Ножай-Юртовском р-не почти полный скелет кита. Этот новый кит из группы цетотериев получил название «вмпал» (*Vampalus sayasanicus*), по имени великана из чеченской мифологии [25]. ■

Литература / References

1. Grauer D., Higgins D. Molecular evidence for the inclusion of cetaceans within the order Artiodactyla. *Molecular Biology and Evolution*. 1994; 11(3): 357–364.
2. Thewissen J.G.M., Williams E.M., Roe L.J., Hussain S.T. Skeletons of terrestrial cetaceans and the relationship of whales to artiodactyls. *Nature*. 2001; 413: 277–281.
3. Thewissen J.G.M., Copper L.N., Clementz M.T. et al. Whales originated from aquatic artiodactyls in the Eocene epoch of India. *Nature*. 2007; 450(7173): 1190–1194.
4. Spoor F., Bajpai S., Hussain S.T. et al. Vestibular evidence for the evolution of aquatic behaviour in early cetaceans. *Nature*. 2002; 417(6885): 163–166.
5. Williams E.M. Synopsis of the earliest cetaceans: Pakicetidae, Ambulocetidae, Remingtonocetidae, and Protocetidae. The emergence of whales. *Evolutionary patterns in the origin of Cetacea*. N.Y., 1998: 1–28.
6. Thewissen J.G.M., Bajpai S. New skeletal material of *Andrewsiphius* and *Kutchicetus*, two Eocene cetaceans from India. *Journal of Paleontology*. 2009; 83(3): 635–663.
7. Bebej R.M., Zalmout I.S., Abed El-Aziz A.A. et al. First remingtonocetid archaeocete (Mammalia, Cetacea) from the middle Eocene of Egypt with implications for biogeography and locomotion in early cetacean evolution. *Journal of Paleontology*. 2016; 89(5): 882–893.
8. Bajpai S., Thewissen J.G.M., Sabni A. The origin and early evolution of whales: macroevolution documented on the Indian Subcontinent. *Journal of Biosciences*. 2009; 34(5): 673–686.
9. Gingerich P.D., Zalmout I.S., Ul-Haq M., Bhatti M.A. *Makaracetus bidens*, a new protocetid archaeocete (Mammalia, Cetacea) from the Early Middle Eocene of Balochistan (Pakistan). *Contributions from the Museum of Paleontology, University of Michigan*. 2005; 31(9): 197–210.

10. *Gingerich P.D., Ul-Haq M., Koenigswald W. von et al.* New protocetid whale from the Middle Eocene of Pakistan: birth on land, precocial development, and sexual dimorphism. *PLoS ONE*. 2009; 4(2): e4366: 1–20.
11. *Thewis J.G.M., Williams E.M.* The early radiation of Cetacea (Mammalia): evolutionary pattern and developmental correlation. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 2002; 33: 73–90.
12. *Marino L., McShea D.W., Uhen M.D.* Origin and evolution of large brains in toothed whales. *Anatomical Record*. Pt A. 2004; 281A: 1247–1255.
13. *Geisler J.H., Colbert M.W., Carew J.L.* A new fossil species supports an early origin for toothed whale echolocation. *Nature*. 2014; 508(7496): 383–386.
14. *Fordyce R.E.* *Simocetus rayi* (Odontoceti: Simocetidae) (new species, new genus, new family), a bizarre archaic Oligocene dolphin from the eastern North Pacific. *Smithsonian Contributions to Paleobiology*. 2002; 93: 185–222.
15. *Racicot R.A., Deméré T.A., Beatty B.L., Boessenecker R.W.* Unique feeding morphology in a new prognathous extinct porpoise from the Pliocene of California. *Current Biology*. 2014; 24(7): 774–779.
16. *Hamilton H., Caballero S., Collins A.G., Brownell R.L.* Evolution of river dolphins. *Proceedings of the Royal Society of London. Ser.B*. 2001; 268: 549–556.
17. *Muizon C. de.* Walrus-like feeding adaptation in a new cetacean from the Pliocene of Peru. *Nature*. 1993; 365(6448): 745–748.
18. *Bianucci G., Landini W.* Killer sperm whale: a new basal physeteroid (Mammalia, Cetacea) from the Late Miocene of Italy. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 2006; 148: 103–131.
19. *Lambert O., Bianucci G., Muizon C. de.* Macroraptorial sperm whales (Cetacea, Odontoceti, Physeteroidea) from the Miocene of Peru. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 2017; 179: 404–474.
20. *Lambert O., Bianucci G., Post K. et al.* The giant bite of a new raptorial sperm whale from the Miocene epoch of Peru. *Nature*. 2010; 466(7302): 105–108.
21. *Fitzgerald E.M.G.* A bizarre new toothed mysticete (Cetacea) from Australia and the early evolution of baleen whales. *Proceedings of the Royal Society of London. Ser.B*. 2006. 273(1604): 2955–2963.
22. *Fordyce R.E., Marx F.G.* Mysticetes baring their teeth: a new fossil whale, *Mammalodon bakataramea*, from the Southwest Pacific. *Memoirs of Museum Victoria*. 2016; 74: 107–116.
23. *Deméré T.A., Berta A., McGowen M.R.* The taxonomic and evolutionary history of fossil and modern baleen whale mysticetes. *Journal of Mammalian Evolution*. 2005; 12(1/2): 99–143.
24. *Тесаков А.С., Александрова Г.Н., Тарасенко К.К. и др.* Палинологическая характеристика палеогеновых отложений и находка древнего кита на юго-западном побережье Цимлянского водохранилища (Ростовская область). Бюллетень Региональной межведомственной стратиграфической комиссии по центру и югу Русской платформы. Вып.5. М., 2012: 138–143. [*Tesakov A.S., Aleksandrova G.N., Tarasenko K.K. et al.* The palynological characteristic of the Paleogenic deposits and a find of an ancient whale on the southwest coast of the Tsimlyansk Reservoir (Rostov region). *Bulletin of the Regional interdepartmental stratigraphic commission on the Center and South of the Russian platform*. Issue 5. Moscow, 2012: 138–143. (In Russ.)]
25. *Тарасенко К.К., Лопатин А.В.* Новые роды усатых китов (Cetacea, Mammalia) из миоцена Северного Кавказа и Предкавказья. 2: *Vampalus* gen. nov. (средний—поздний миоцен, Чечня и Краснодарский край). Палеонтол. журн. 2012; 6: 72–81. [*Tarasenko K.K., Lopatin A.V.* New baleen whale genera (Cetacea, Mammalia) from the Miocene of the Northern Caucasus and Ciscaucasia: 2: *Vampalus* gen. nov. from the Middle — Late Miocene of Chechnya and Krasnodar Region. *Paleontological Journal*. 2012; 46(6): 620–629. (In Russ.)]

Evolutionary History of Cetaceans: a Sea Voyage lasting 55 Million Years

A.V.Lopatin

Borissiak Paleontological Institute, RAS (Moscow, Russia)

Thanks to the recent paleontological and molecular discoveries, the cetaceans have become one of the few groups among mammals with a well-reconstructed evolutionary history, in which the transition from terrestrial animals to semiaquatic ones, from semiaquatic to coastal-marine, and from coastal-marine to pelagic forms are clearly recorded.

Keywords: cetaceans, origin, evolution, adaptations.

Культуры Ното: узловые сюжеты миллионлетней истории Голоцен: фейерверк культур и их парадоксы

Е.Н. Черных

Институт археологии РАН (Москва, Россия)

Относительно голоцена дискуссия продолжается — считать ли эту эпоху новой, уже постплейстоценовой, или же это лишь интергляциал плейстоцена? Тем не менее, потепление климата на планете вызвало весьма заметный подъем уровня океанских вод. Эти перемены, в свою очередь, привели к изоляции основных материков и оккупировавших их культур *Ното*. Основное внимание в статье уделено крупным блокам голоценовых постпалеолитических культур Евразии, поскольку, в конечном итоге, именно те играли центральную роль в становлении цивилизаций на Земле. На фоне более ранних культур эпохи палеолита биосоциальные формирования голоцена поражают изобилием и разнообразием форм. Разнообразие порождает существенные различия в уровнях технологического развития каждого из культурных блоков. Возникает модель так называемой производящей экономики, активно способствующей этим различиям. Особое значение приобретает начало горно-металлургического производства. В 5-м тысячелетии до н.э. наступает эпоха раннего металла, связанная с широким распространением медных и бронзовых изделий. В Евразии возникают системы огромных и даже гигантских металлургических провинций. Статья обращает внимание на две наиболее ранние, знаковые системы такого рода — Балкано-Карпатскую и Циркумпонтийскую. Анализ их деятельности показывает, что пути восхождения к высотам прогресса не были плавными, а характеризовались рваным и неровным ритмом. При этом технологические взлеты нередко сменялись глубокими провалами.

Ключевые слова: голоцен, изоляция материков, анклав постпалеолитических культур, зарождение горно-металлургического производства.

В ряду первостепенных событий эпохи раннего голоцена, по всей вероятности, следует особо выделить обособление материков. По сути, именно с момента изоляции гигантских платформ суши друг от друга резонно вести отсчет тысячелетий финальной эпохи человеческой истории.



Евгений Николаевич Черных, доктор исторических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заведующий лабораторией естественно-научных методов Института археологии РАН. Область научных интересов — история технологий и структура древних культур и общностей Евразии.

Изоляция материков и их культур

Слом палеоклимата в голоцене оказал довольно значимое влияние на процессы в мировом историческом развитии, ведь климатические события привели также и к изоляции континентальных

культур человека. Вспомним о результатах так называемой пятой Великой (межматериковой) миграции евразийских *Homo sapiens*: ее первая волна примерно 60–40 тыс. лет назад охватила Австралию, а вторая, более поздняя, около 20–15 тыс. лет назад через студеную Берингию прорвалась

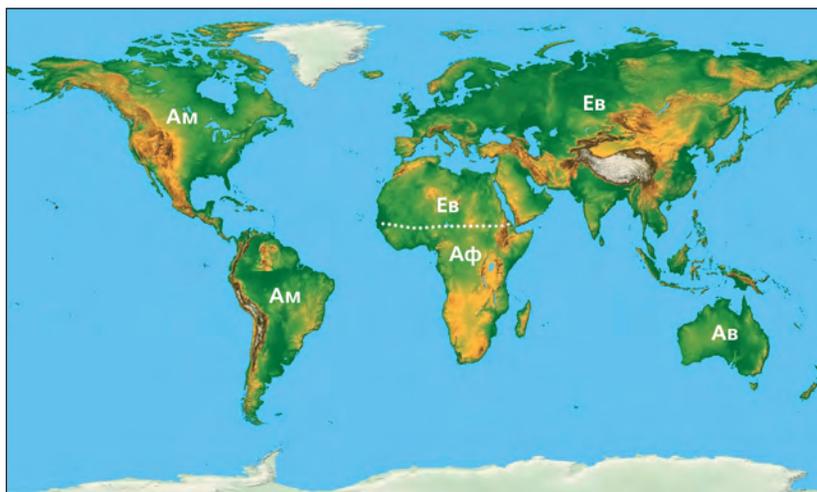
© Черных Е.Н., 2018

в Америку и стремительно распространилась по всей территории материка от Аляски до Огненной Земли. По существу, пятая миграция обозначила финал плейстоцена, и об этом уже кратко упоминалось в первой статье нашего цикла*. Климатический слом в голоцене «заставил» таявшие ледниковые пласты вернуть Мировому океану некогда изъятые у него многие миллионы кубических километров воды. Уровень океана поднялся на 100–150 м, поглотил сухопутную Берингию и сильно изменил ландшафт усеянного бесчисленными островками Торресова пролива между Австралией и о.Новая Гвинея.

В результате на земном шаре возникли четыре изолированных друг от друга анклава, где обитали различные группы *H.sapiens*. Океаны Восточного полушария омывали три анклава. Самый крупный из них — Евразийский — охватывал в совокупности до 63 млн км² (54 млн — собственно Евразия и около 9 млн — присредиземноморская часть Северной Африки). Второй анклав — Южная Африка (т.е. регионы южнее Сахары) — занимал примерно 21 млн км². Наконец, третий — Австралия — был представлен самой небольшой территорией в 7.7 млн км². В Западном полушарии на 12 тыс. км протянулась полоса Американского континента, покрывающего площадь свыше 42 млн км². Скорее всего, на нем легко различимы два субанклава — Северный и Южный, однако обсуждение этого сюжета уже выходит за рамки нашей статьи.

И если в случае с путями на восток и на юг ситуация с обособлением Америки и Австралии объясняется значительным повышением уровня океанских вод, то понять и объяснить изоляцию Южной Африки, отделенной от севера Сахарой, много

* Черных Е.Н. Культуры *Ното*: узловые сюжеты миллионлетней истории. От архантропа до человека разумного // Природа. 2018. №3. С.37–52.



Материковые анклавы: Австралия (Ав), Америка (Ам), Восточная и Южная Африка (Аф), Евразия (Ев).

сложнее. На юге материка даже во времена изоляции неплохо сохранялись разнообразные следы той «колыбели человечества», из которой на север последовали четыре волны первопроходцев — от архантропов до людей современного антропологического облика. Как же можно осмыслить неожиданную обособленность очевидных пенатов *Ното*? Вопрос этот кажется в чем-то даже коварным, и решение его может обратиться особой проблемой.

Между тем привлекает внимание еще одна весьма любопытная ситуация. Инициированная природой изоляция материков представляла собой весьма специфический и для археологов чрезвычайно важный эксперимент. Он порождает вопрос: каковыми предстанут результаты независимого технологического и социального развития социумов *H.sapiens*, считающихся однородными в антропологическом плане, через *энное количество лет* на полностью изолированных друг от друга территориях? В конечном итоге число лет оказалось приблизительно равным 11 тыс., а финал этого хронологического отрезка совпал с началом Нового времени, которое мы обозначаем знаковой датой 1500**.

Голоцен и постпалеолитические культуры

Ледниковый плейстоцен и его палеолитические культуры служили колыбелью или истоками для постпалеолитических социумов голоцена. Однако стремительное развитие голоценовых биосоциальных формирований показало, что новые социумы кардинально отличались от исходных. Культурам финального периода истории Земли был отведен, по существу, крайне ничтожный отрезок времени на генеральной хронологической шкале истории *Ното* — всего *менее половины процента*. Однако именно на этом отрезке протекали, пожа-

луй, наиболее яркие процессы и случались самые удивительные парадоксы. В их перечне особенно поражала исследователей выразительная серия вроде бы неожиданных, но весьма значимых и впечатляющих инноваций. Они представляли собой истинный фейерверк технологических и социальных «прорывов» — например, переход к экономике производящего типа, бурное начало горно-металлургического

** Подробнее см.: Черных Е.Н. Археология и история: хронологическо-методологический диссонанс родственных наук // Природа. 2017. №3. С.57–64; №4. С.48–57. Вся иная затронутая в данной статье проблематика подробно рассматривалась в некоторых книгах автора [1–3].

производства, металлургии — сначала меди и бронзы, а затем железа... Помимо этого, «взрывы» зачастую следовали едва ли не вплотную один за другим. Внешне неторопливое — в 2.5 млн лет — технологическое развитие предшествующих палеолитических формирований служило отличным фоном для впечатляющего контраста с картинами культур голоцена.

Подмеченный феномен, разумеется, требовал объяснений. Наиболее правдоподобными и аргументированными казались уже упоминавшиеся гипотезы, согласно которым зародыши большинства этих взрывных потенциалов таились еще в культурах плейстоцена/палеолита. Однако на поверхность они вырвались в голоцене, в среде постпалеолитических социумов. Подобные гипотезы порождали в свою очередь и ответы вполне определенного характера. Так, почти не подлежало сомнению, что взрыв инноваций был вызван благоприятными переменами в глобальной геоэкологической ситуации: исчезали ледниковые массивы, климат приближался к современному. Тем не менее уверенности в безусловной справедливости этих предположений не было. Конечно, перемены климата сыграли свою роль, но только ли они?

Начнем обсуждение данной проблемы с утверждения, что едва ли не все впечатляющие социотехнологические «взрывы» протекали по существу лишь на Евразийском континенте. На фоне Восточной и Южной Африки — колыбели всех евразийских палеолитических культур — палеоклимат Евразии отличался чертами много худшими, к благодатным переменам не располагавшими. Судя по всему, ритмичное чередование гляциалов и интергляциалов в Северном полушарии отражалось и на африканском климате, но реальные воздействия, конечно же, были несопоставимы с теми, что терзали культуры Евразии, в особенности ее западных областей.

Но ведь именно на необозримых евразийских пространствах прежде всего и отработывалась шаг за шагом сложная, зачастую неповторимая в важнейших деталях стратегия жизнеобеспечения палеолитических культур. И создавалась эта стратегия именно в ходе постоянных сломов ледникового климата — т.е. в условиях, весьма трудных и малопредсказуемых для существования культур. Кажется, что сколько-нибудь сходных климатических кризисов совершенно не ведали культуры Африки. Поэтому резонным может выглядеть вопрос: не в таких ли взлетах и падениях евразийского палеоклимата и не в той ли постоянно возникающей у населения необходимости приспособления к не самым легким условиям жизнеобеспечения и коренным впечатляющий результат выразительных скачков и яркой динамики разносторонних инноваций? И происходило все это уже в среде именно евразийских постпалеолитических культур...

И вот еще один вопрос. «Штурм» и освоение неведомых пространств обыкновенно приходится на

долю наиболее продвинутых групп обитателей, которые ныне зачастую определяют термином «креативные». Действительно, отважные группы «креативных» мигрантов четырех Великих переселений с Востока и Юга Африки в приледниковую Евразию континент этот преобразили. Но переселенцы передовой Евразии в Америку и тем паче в Австралию ничего — по возможности — ожидаемого не достигли. Параллельно по какой-то причине также сникли в своем развитии исходные и древнейшие африканские культуры. Вполне возможно, что эта загадка — одна из самых любопытных в истории различных народов нашей планеты, причем совсем необязательно древнейших. Позднее постараемся хотя бы вскользь коснуться и этой темы.

«Калейдоскоп» и дробность евразийских культур

Глобальной изоляции материков в голоцене соответствовал параллельный и резкий рост дробности/атомарности культур, что находило яркое отражение на безбрежных пространствах Евразии. Для демонстрации этого феномена прибегнем к материалам, кажущимся наиболее выразительными при дешифровке кардинальных этапов мировой истории. Речь идет о тех континентальных экологических сдвигах, которые последовали за уходом в прошлое ледникового периода. Наступление голоцена привело к тому, что шаг за шагом генеральная геоэкологическая картина Евразии стала приобретать черты уже вполне современной.

Частично эту тему мы затрагивали в комментариях к опубликованной в предыдущей статье карте*, где, например, разделение Евразии на северную и южную половины объяснялось рассекающим континент многотысячекилометровым Альпийско-Гималайским складчатым поясом. При этом можно полагать, что предлагаемые рамки членения материка вряд ли вызовут серьезные возражения. Уже в раннем голоцене культуры южной половины Евразии — а их ныне выделено уже изрядное множество, — бесспорно, отличались от северных. В свою очередь, северные формирования также распадались на обширные и многообразные группы социумов, целиком связанных с какой-то основной экологической зоной Евразии — например, степной (в пределах Степного пояса), а также лесной и, наконец, лесотундровой и тундровой. Ареалы культурных группировок были вытянуты в широтном направлении: их полосы протягивались с запада на восток на многие тысячи километров.

Базой евразийских разделов была не только геоэкология. Членение континента на гигантские блоки Запада и Востока отражал и антропологиче-

* Черных Е.Н. Культуры Ното: узловые сюжеты миллиллетней истории. В ледовых тисках плейстоцена // Природа. 2018. №4. С.57.

ский фактор. Так, на западной половине Евразии доминировали разнообразные европеоидные/кавказоидные группы *Ното*. Восток материка оккупировали культуры с населением монголоидного облика. Линия раздела между этими блоками достаточно жестко разрешила по вертикали все ориентированные на экологию ареалы широтного распространения. Членение это в своей принципиальной основе сохранилось и по сей день, хотя линия раздела уже не может выглядеть столь определенно жесткой, как в раннем голоцене.

Таковыми, разумеется в самых общих чертах, можно представить основные результаты фантастического фейерверка постпалеолитических культур эпохи голоцена. Внешне, на фоне широких и кажущихся спокойными в своем миллионлетнем развитии палеолитических картин, голоценовый взрыв биосоциальных формирований производит впечатление неуравновешенного, бессистемного и даже хаотичного калейдоскопа культур. При этом уже с начала голоцена фактор принципиально новых — зачастую даже революционных — технологических взрывов начал свое жесткое давление на формирование структур и генеральных схем различного рода межкультурных взаимосвязей и взаимозависимостей.

Модели жизнеобеспечения: присваивающая экономика и «принцип домино»

В ряду технологических взлетов с самого начала обратим внимание на модели обеспечения людей необходимой для их жизни пищей. Ведь именно с этого начинаются и поддерживаются все формы физиологического существования живых организмов, притом не только человека. Обычно различают две основные модели жизнеобеспечения или же экономики: *присваивающая* и *производящая*. При таком относительно беглом подходе различить их несложно. В первом случае в пищу идет все — растительное или животное, — в производстве чего человек участия не принимает. Второй вариант подразумевает, что главную роль в создании различной продукции может играть или же в реальности играет деятельность людей.

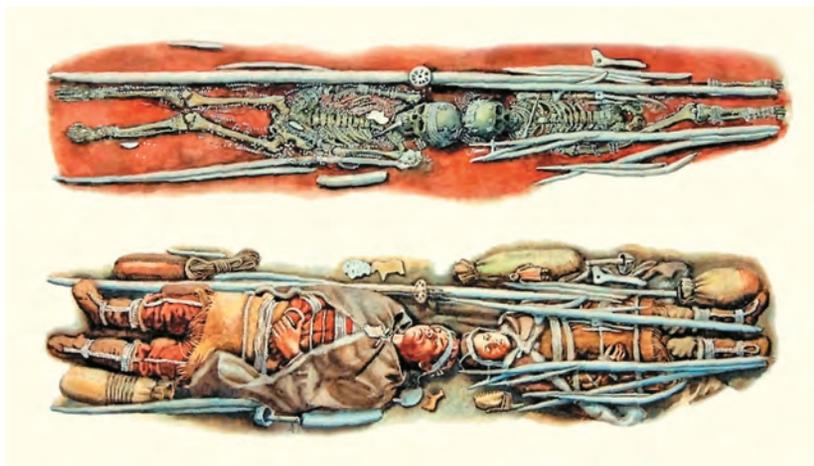
Присваивающая экономика по сути представляет собой присущий всему миру млекопитающих сугубо биологический феномен. Этот мир может функционировать без заметных крити-

ческих сломов лишь в случае достаточно строго выдержанного баланса на конкретном участке земной поверхности между: а) массой пригодной в пищу растительной продукции; б) числом особей травоядных животных, питающихся этой растительностью; в) числом особей хищных животных, питающихся плотью травоядных.

Если почва малоплодородная — скажем, тундра/лесотундра или пустыня/полупустыня, — то на ней обычно произрастает крайне ограниченный «ассортимент» пригодных в пищу растений. В таком случае последует отчетливо выраженный естественный лимит на численность голов того стада травоядных, которых будет в состоянии прокормить конкретный участок земли в конкретное время. В свою очередь «травоядный» лимит будет диктовать (и притом достаточно жестко) хищникам их численный лимит, который обеспечит их нормальным пропитанием за счет задранных ими травоядных животных.

Модель присваивающей экономики полностью доминировала среди палеолитических культур плейстоценовой эпохи. Да и в голоцене от нее удавалось отречься далеко не всем социумам. Более того, в качестве специфического раритета она доживала до Нового времени, причем даже в периферийных регионах передового в технологическом плане Евразийского анклава.

При обсуждении такой модели перед нами возникает четкая ассоциация с «принципом домино». Ведь *Ното* в рамках этой модели ничего не производит, — он обитает лишь за счет природных ресурсов. Человек тоже хищник, но всеядный, и его ближайшими «сородичами» в плане всеядности числятся медведь и свинья (кабан). *Ното* столь же неотлучно зависим от «даров при-



Палеолитическое захоронение брата и сестры юного возраста (12–14 и 9–10 лет соответственно) в слое поселения Сунгирь близ Владимира (нижняя иллюстрация — реконструкция могилы). Одежда была украшена массой мелких бусин, выточенных из мамонтовой кости. Погребенных сопровождали выточенные из костей мамонта колья, самое длинное из которых достигало 2.4 м.

Здесь и далее фотографии предоставлены автором

роды», как и другие хищники, и вполне естественно, что те его воспринимали как врага и конкурента на полях добычи пищи. Правда, группа *Homo* была мощнее — ведь их руки уже сжимали смертоносное оружие, в том числе метательное. Но при всем том, даже в ликовании по случаю побед над своими хищными врагами-сородичами, человек был не в состоянии вырваться из жестких рамок «принципа домино». Суммарная численность персон *Homo* даже при победном финале не могла превысить некий — весьма досадный — жесткий лимит. Преодолеть его становилось возможным лишь в случае перехода на новую модель жизнеобеспечения — к экономике производящего типа. Однако такие революционные сдвиги свершались уже не в плейстоцене-палеолите, а в голоцене.

Модели жизнеобеспечения: производящая экономика

Изначально отметим, пожалуй, некую условность в содержании широко распространенного словосочетания «производящая экономика». В рамках этой модели человек словно вступает в некую специфическую договоренность с природой с целью хотя бы частичного ее «приручения». Полностью оторваться от природного фундамента *Homo* ни в коем случае не мог. Он был в состоянии лишь приспособиться к условиям среды и получать от природы хотя бы необходимый минимум для своего биологического бытия. Мы же — наблюдатели с высот нынешних отдаленных тысячелетий — отличаем производящий тип экономики от присваивающего на материалах ископаемых культур с помощью ряда не столь уж сложных методов. Однако эта внешняя простота в определениях моделей не должна заслонить те великие усилия, которые тратили древние культуры при смене ведущих типов экономики, причем усилия непростые и протяженные во времени. Необходимо было, как принято говорить ныне, приобрести опыт в *культивации* тех растительных видов, что люди использовали в предшествующей экономической модели. Опять-таки требовалось, в согласии с современной научной номинацией, провести *одомашнивание*, или же, проще говоря, *приручить* те виды животных, что могли служить не только источником пищи, но и в качестве тягловых. Для достижения в подобных деяниях истинно профессионального уровня требовался, конечно, опыт едва ли не десятков поколений. Именно по этой причине переходный период от присваивающей формы экономики к производящей потребовал немалого времени. В разных регионах Евразии эти процессы отличались как своими особенностями, так и хронологической протяженностью. Поэтому в дальнейшем изложении мы будем обращаться к примерам тех формирований, где мо-

дель производящей экономики представляла уже четко выраженной.

В безбрежной среде евразийских культур можно различать два — внешне как бы полярных — варианта модели производящей экономики. Первый — оседлый и совокупный, т.е. земледельческий плюс скотоводческий. Второй — мобильный, кочевой/полукошачевой, скотоводческий. Причастные к первому варианту социумы были распространены преимущественно в южной половине Евразии. Локализация скотоводческих культур второго варианта была связана главным образом со Степным поясом материка.

В земледельческо-скотоводческом варианте модели производящей экономики земледелец должен был обладать определенным умением и навыками. Требовалось освоить участок и засеять его отобранным для этого зерном, после чего постоянно охранять: сначала от птиц, стремящихся склевать зерна, а после появления всходов — уже от диких травоядных, способных в набеge их уничтожить. В конечном итоге нужно было умение определять готовность урожая к жатве и к последующей обработке зерна. Оседлый пастух формировал стадо и его состав, выявлял пригодные для животных ближние выпасы, обихаживал скотину, наблюдая за ее состоянием и здоровьем, охранял стадо от нападений «конкурентов-хищников». Наконец, для приверженцев земледельческо-скотоводческого варианта оказалась весьма существенным обладать также навыками выбора соответствующих мест обитания близ водоемов. На этих местах должны были обязательно сооружаться постоянные жилища, ведь засеянные поля длительных отлучек не прощали, и их хозяева оказывались, по сути, привязанными к одному месту.

Структуры формирований мобильного скотоводческого варианта в рамках модели производящей экономики кажутся менее сложными. В них отсутствует, например, необходимость соблюдения баланса (правда, естественным образом регулируемого) внутри каждого социума между занятиями земледелием и скотоводством. Основное внимание носителей культур этого типа было обращено исключительно на животных. В принципе требования — опять-таки естественного порядка — к кочевым/полукошачевым пастухам отвечали тем, о которых говорилось в предыдущем варианте. Однако в данном случае неперемнная и повышенная мобильность приручаемых животных налагала особые требования к составу стада, равно как и к характеру необходимых пастбищ. Последние своей обширностью и разнообразием растительности, без сомнения, должны были превосходить те, что были характерны для пастушества в оседлых культурах. Кроме того, семейства кочевых скотоводов никогда не сооружали себе постоянных жилищ, обходясь легкими шатрами (вроде юрт).

Эффект от смены экономических моделей

Итак, что же произошло с культурами *Ното* после перехода от присваивающей к производящей экономике? Назовем, пожалуй, главное: в руках человека оказалось производство животных и растительных продуктов, позволявшее ему обеспечивать прокорм существенно — и даже многократно — большего числа особей, нежели при наличии жестких фильтров «принципа домино» в модели присваивающей экономики. Это вовсе не означало полной свободы от природных пут, за рамки которых культуры *Ното* никогда полностью выйти не могли и не выходили вплоть до Нового времени. Никуда не исчезали засухи, наводнения, жестокие морозы, эпидемии и эпизоотии... Но результаты революционного прорыва стали достаточно очевидными: человеческим культурам удалось сильно понизить удручающую их высоту того барьера, что препятствовал им хотя бы частично освободиться от природной зависимости.

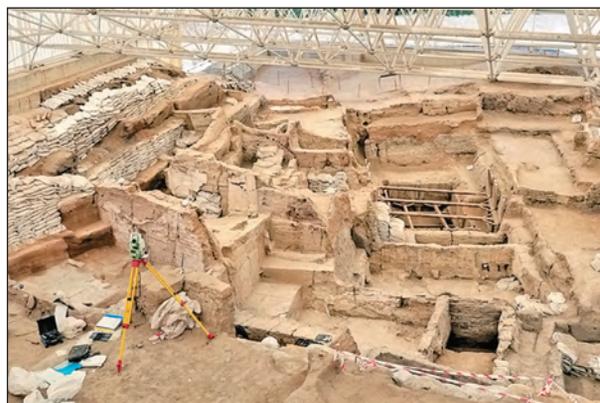
Результат проявился достаточно быстро и выразился в стимулированном моделью производящей экономики демографическом взрыве. Теперь превосходство культур *Ното* — не только технологичное, но и численное — над его извечными хищными соперниками шаг за шагом возрастало и становилось все более и более очевидным. Предшествующая модель экономики по сути требовала от человека затрат львиной доли энергии преимущественно на *гон* за мясной пищей. И только уже овладевая новыми приемами, культуры *Ното* приобретали существенно бóльшую свободу в поисках потенциала ранее неведомых путей собственного развития, равно как и понимания окружающего их мира.

Наиболее впечатляющие результаты смены моделей отразились на археологических культурах южной половины евразийского Запада. Именно в этом ареале имели место, пожалуй, самые яркие примеры переломных сдвигов в экономических моделях. Особенно это выразилось в появлении

огромных, структурно сложных поселений, которые порой можно причислять даже к рангу городов. Отличия особенно бросаются в глаза при непосредственном сопоставлении их с поселками, относящимися к культурам предшествующей модели присваивающей экономики. Примеров таких «городов» достаточно много, но в статье ограничимся единичным упоминанием знаменитого поселения Чатал-хюйюк, существовавшего на юге Анатолии 9–8 тыс. лет назад и относящегося к периоду так называемого докерамического неолита. Жилой холм охватывал 13 га при мощности культурных напластований до 19 м. Слои содержали множество ярких следов жилых построек и весьма разнообразных святилищ*.

Контрастом жилому холму Чатал-хюйюк, правда уже из весьма отдаленной северной области, может послужить небольшое и типичное для финального палеолита селище Юдиново возрастом около 15 тыс. лет, расположенное в бассейне Десны—Судости. Поселение стало известным благодаря паре округлых жилищ, контуры которых были выложены крупными костями мамонтов — преимущественно обломками черепов. Различия между обоими памятниками не могут не впечатлять. По существу мы вынуждены сопоставлять два абсолютно неравнозначных объекта: с одной стороны, крупный, сложный по структуре и потому едва ли не древнейший «город» планеты; а с другой, пусть весьма оригинальный, но в реальности типичный крохотный поселок древнекаменного века. Подобного рода яркие контрасты насыщали картины ряда евразийских регионов, они отража-

* Такие памятники, как Чатал-хюйюк, соблазнительно сопоставлять со многими ранними древнерусскими городами 9–10-го столетий, ведь норманны называли Русь *Гардарикой*, т.е. «страной городов». Многие древнерусские города в те начальные века российской истории уступали анатолийскому холму даже по площади, а уж по насыщенности культурных слоев — тем более [4]. Так почему бы Чатал-хюйюку также не числиться городом?



Жилой холм Чатал-хюйюк времен докерамического неолита на юге Анатолии (слева) и процесс раскопок его жилых и сакральных помещений.

ли результаты воистину революционных сдвигов при смене моделей экономики. Именно поэтому кажется, что пространственные комментарии здесь будут излишними.

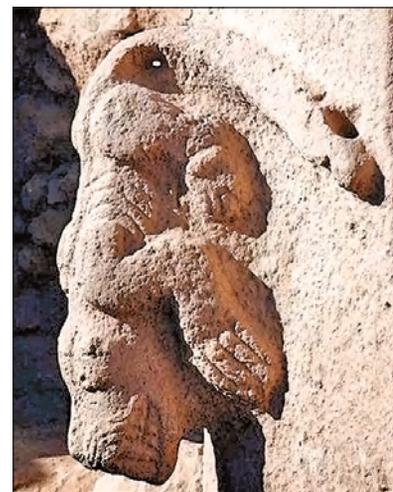
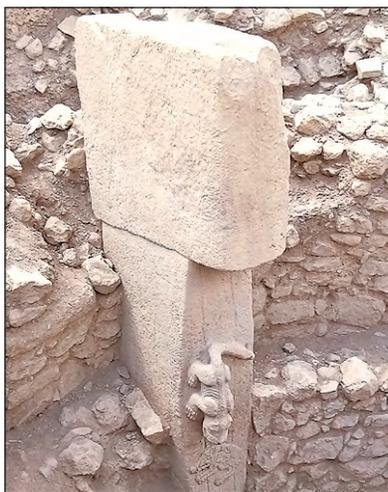
Другим результатом смены экономических моделей стала начавшая сразу же проявляться неравномерность развития культур в различных регионах Евразии. В этом отношении первый план непременно занимал регион, издавна именуемый археологами и историками как Передний или Ближний Восток. Правда, с позиции реального членения Евразии на Восток и Запад данный термин удачным не назовешь, ведь этот ареал, охватывающий верховья Двуречья (Тигра—Евфрата), Восточную Анатолию, Левант и Месопотамию, целиком относится к южной половине евразийского Запада. Именно здесь были сосредоточены знаменательные памятники 10–6-го тысячелетий до н.э., постоянно удивляющие археологов не только богатством, но и своей неповторимостью. Объем статьи позволяет лишь упомянуть некоторые из числа подвергавшихся широкому раскопкам: поселения Чайюню-тепеси, Невали-чори, а также Телль-Халула, где захороненные черепа людей были покрыты глиняными масками, воспроизводившими прижизненный облик персоны. К подобным выдающимся памятникам относится и только что представленный — хотя также очень кратко — город-поселение Чатал-хюйюк. В этом ряду, разумеется, имеет свое место и уникальный храм-святилище Гёбекли-тепе с его фантастическими каменными стелами*...

На фоне древностей Ближнего Востока практически все синхронные памятники северных зон кажутся чрезвычайно

* Памятникам данного региона была посвящена достаточно подробная, с большим числом иллюстраций статья автора «Структура Евразийского мира на фоне геоэкологии после открытия металлов. Север—Юг» (Природа. 2011. №7. С.3–13).



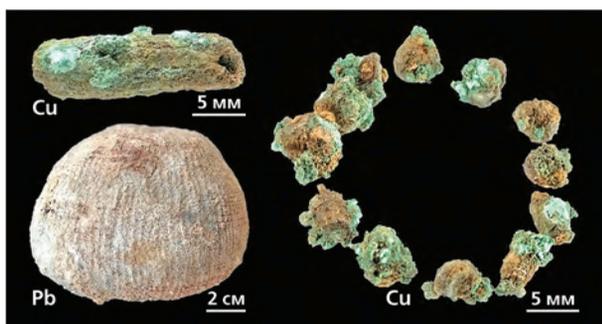
Следы обложенного обломками черепов мамонта палеолитического жилища на стоянке Юдиново (бассейн Десны).



Древнейший храм Гёбекли-тепе в Восточной Анатолии: вид сверху, а также отдельные украшения, высеченные на громадных каменных стелах.



Поселение Тель-Халула в Северной Сирии. Человеческие черепа захоронены с глиняными масками (докерамический неолит).



Медные и свинцовые предметы из слоев поселений эпохи протометалла.

скромными и бледными — примерно такими, какими были даже впечатляющие своими контурами жилища Юдинова в сравнении с Чатал-хююком.

И еще об одном важном признаке древнейших культур этого ареала. В слоях ряда памятников уже встречен металл — медь и даже свинец. Все изученные образцы этого времени — а их около трехсот — относятся к самородкам, а не к продукции металлургического передела минералов. Из этих кусочков металла люди могли выковывать простенькие украшения — бусины, подвески либо нехитрые по форме мелкие орудия вроде шильев. Так прозвучал первый звонок к началу новой эпохи раннего металла. Однако автор склонен помещать блок таких памятников в период протометалла [1].

Эпоха раннего металла и металлургические провинции Евразии

Неизбывная и все возрастающая от эпохи к эпохе роль металла в истории человечества, а также попытки подразделять историю развития культур *Ното* в согласии с кардинальными и восходящими от простого к сложному технологическими ступенями — темы неисчислимых сочинений ав-

торов самых разных стран и столетий. В последние десятилетия медный и бронзовый века в археологической науке стали считать базовой основой для *эпохи раннего металла*. Не только в древности, но и сегодня металлы в жизни человеческих культур составляют костяк, на котором крепится облегающая его плоть и котормым плоть эта формируется.

Особая роль в эпохе раннего металла принадлежала металлургическим провинциям. Это обширная, охватывающая до нескольких миллионов квадратных километров система металлургических и металлообрабатывающих очагов, тесно взаимосвязанных между собой в течение ряда столетий. Обыкновенной задачей кланов каждого металлургического очага была реализация совокупного комплекса горно-металлургического производства: от добычи медной (либо не только медной) руды, последующей выплавки из нее металла вплоть до изготовления металлических (медных, бронзовых) изделий. Как правило, продукция любого очага отличалась от иных — соседних или отдаленных — большим или меньшим своеобразием производимого. Отчетливее всего их специфика отражалась в типологии изделий, хотя нередко своеобразие могло касаться также и технологической сферы. Производство в рамках металлообрабатывающих очагов было возможным лишь за счет получения местного металла. Металлургическая же провинция отражала некую совокупность близких между собой по комплексу признаков металлургических и металлообрабатывающих очагов. Близость очагов внутри каждой из совокупностей определялась, во-первых, типами производимых в них металлических изделий, а во-вторых, ведущими и практикуемыми в этих очагах технологическими приемами.

Вполне очевидно, что центральными в любой провинции были очаги металлургические, а очаги металлообрабатывающие — лишь вторичными, зависимыми. Стабильная взаимосвязь между ними могла осуществляться лишь при наличии взаимного интереса, когда металл или изделия меняли на товары (очень часто на скот), — и яркие примеры этого хорошо известны в археологической практике*. Однако совсем нередким мог быть «подневольный обмен» на базе даннической зависимости оседлых племен от мобильных скотоводов-всадников. В последнем случае предполагалось, что над подчиненными племенами/кланами победители раскрывали специфический *зонтик-оберег* охраны от их коварного окружения, за что и полагалось расплачиваться металлом. Подобного рода контакты могли длиться весьма протяженное время.

На всех пространствах Евразии пока что удалось выделить ровно 10 металлургических провин-

* Подробнее см.: Черных Е.Н. Археология и история: хронологическо-методологический диссонанс родственных наук // Природа. 2017. №4. С.48–57.

ций, формирующих эпоху раннего металла и датируемых в широких пределах — от 5-го вплоть до рубежа 2-го и 1-го тысячелетий до н.э. Замечу также, что как структуры, так и история каждой из провинций способны преподнести исследователям чрезвычайно любопытные и трудноразгадываемые парадоксальные сюрпризы. Распределение металлургических провинций по хронологическим ступеням эпохи раннего металла выглядит весьма неоднозначным: если к 5-му, а также к 4–3-му тысячелетиям до н.э. относятся лишь две самые ранние провинции, то в рамках 2-го тысячелетия до н.э. оказались сразу восемь.

Балкано-Карпатская металлургическая провинция

5-е тысячелетие до н.э. преподнесло археологам первый впечатляющий парадокс-сюрприз. Яркий и стремительный взлет древнейшей на планете металлургии в виде целостного комплекса горно-металлургического производства проявился совсем не там, где истоки евразийской металлургии, казалось, были просто «обязаны» явить себя миру — то есть совсем не в ближневосточной колыбели значимых технологических революций. Металлургические очаги вспыхнули на достаточном удалении от нее — на севере Балканского п-ова и в горном массиве Карпат. То был реальный металлургический «взрыв», и случился он фактически на пустом месте, когда в «сакральной» колыбели об истинном металлургическом производстве еще не ведали. Взрыв породил феномен древнейшей в Евразии *Балкано-Карпатской металлургической провинции*.

Система относилась к медно-мужу веку (сплавов на медной основе здесь тогда еще не знали) и охватывала до 1,5 млн км² — от Адриатики до Среднего и Нижнего Поволжья*. Ведущие металлургические очаги Балкано-Карпатской провинции локализовались в горных рудноносных областях Балкан и Карпат. Основу продукции составляли крупные, тяжелые рубящие медные орудия. Кроме меди наибольшее внимание в металле основных центров провинции обращают обычно *многочисленные золотые украшения* — их насчитывают ныне уже до 4 тыс.

* Подробнее см.: Черных Е.Н. Структура Евразийского мира на фоне геоэкологии после открытия металлов. Север–Юг // Природа. 2011. №7. С.3–13.

Металлообрабатывающие очаги располагались много восточнее, в степной и лесостепной безрудной зоне Северного Причерноморья и Поволжья, преимущественно в ареале господства кочевых/полукочевых скотоводческих племен западного фланга Степного пояса. Медь, обнаруженная в могильниках поволжских скотоводов, продельвала от балканских рудных источников путь протяженностью не менее 1,5–1,7 тыс. км по прямой линии, а по реальному и, разумеется, совсем не прямому пути — наверняка 2 тыс. км и даже более. В степных коллекциях медные орудия крайне немногочисленны. Здесь решительно преобладают относительно мелкие медные украшения — бусины, пронизки, подвески, но их суммарное число не может не впечатлять: более 5,5 тысяч! Однако по общему весу и значимости эта мелочь, конечно же, сильно уступала исходным западным собраниям металла с их тяжелыми изделиями. Обмен балкано-карпатского золота находился, видимо, под запретом, отчего до степняков драгоценный желтый металл не доходил. Факт этот мы отметим особо, поскольку провинция, сменившая Балкано-Карпатскую, покажет нам контраст весьма впечатляющий.

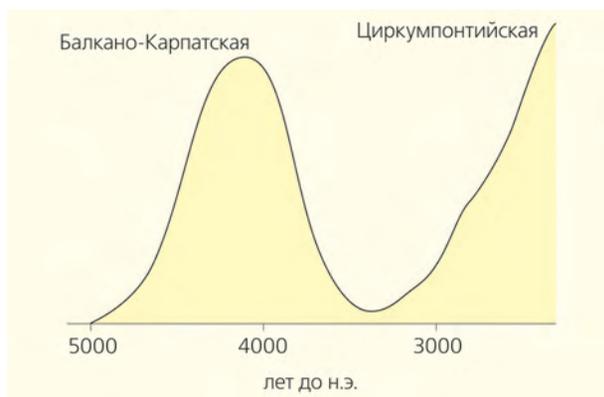
Кажется вероятным, что в случае с Балкано-Карпатской металлургической провинцией впервые в мировой истории отчетливо проявил себя *принцип международного разделения труда*. А ведь именно он вплоть до нынешнего дня остается чрезвычайно важным и по существу во многом определяющим элементом в практике взаимоотношений между самыми разнообразными социумами. Безусловным и парадоксальным сюрпризом стал взрывной характер зарождения Балкано-Карпатской провинции, но к парадоксам от-



Балкано-Карпатская металлургическая провинция: А — зона ведущих металлургических очагов; В — зона металлообрабатывающих очагов в земледельческо-скотоводческих культурах; С — зона металлообрабатывающих очагов в кочевых и полукочевых скотоводческих культурах.



Медные массивные втульчатые орудия и шилья из погребений Варненского могильника Балкано-Карпатской провинции.



Балкано-Карпатский регион: диаграмма пульсации производства в металлургических очагах Балкано-Карпатской и Циркумпонтийской провинций. Очевиден резкий провал в производственной активности провинций между 4-м и 3-м тысячелетиями до н.э.

носится также и ее финал. Эта мощная и выразительная система внезапно полностью распалась, та же участь постигла и многие ее достижения. В Балкано-Карпатье пришли новые производственные очаги, объединяемые в систему провинции Циркумпонтийской. Однако свершилось это далеко не сразу, а едва ли не *через тысячелетие* (!), да и перемены здесь протекали порой весьма странно и неожиданно.

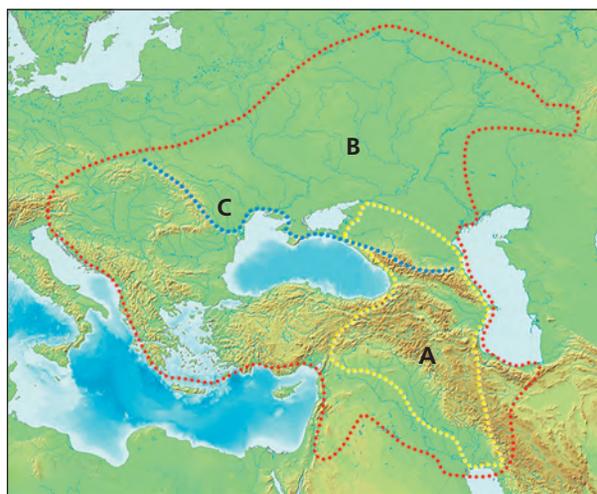
Циркумпонтийская металлургическая провинция

Первичной оценкой зарождения Циркумпонтийской металлургической провинции могло, к примеру, стать следующее: наконец-то «сакральная ближневосточная колыбель» возвращает нам свой давний, а по сути, многотысячелетний долг — еще

со времен протометалла. Действительно, начало деятельности самых ранних металлургических очагов провинции оказалось связано с горнорудными регионами Восточной Анатолии, с истоками Тигра и Евфрата. Здесь, а также в недалеких горных массивах Южного Кавказа начались разработки медных и полиметаллических рудников и стартовала выплавка меди и отливка орудий из сплавов, которые показались бы современным металлургам весьма необычными — меди с мышьяком. Свое название Циркумпонтийская провинция получила в связи с тем, что ее очагами в определенное время был полностью окружен *Понт Эвксинский* — так именовали когда-то древние греки Черное море.

В рамках провинции четко выявляются два хронологических этапа. Ранняя стадия именуется Прото-Циркумпонтийской; ее ассоциируют с раннебронзовым веком и датируют в пределах 4-го тысячелетия до н.э.* В тот период и металлургические, и металлообрабатывающие очаги тесно примыкали к Понту, но лишь с востока и юго-востока, отчего и было решено наименование этого этапа усложнить префиксом «Прото». Общий пространственный охват различных памятников был равен тогда примерно 1.7–1.9 млн км². Металлообраба-

* Подробнее см.: *Черных Е.Н.* Кочевой мир Евразии: номады Запада на заре эпохи металлов // *Природа*. 2015. №1. С.28–41.



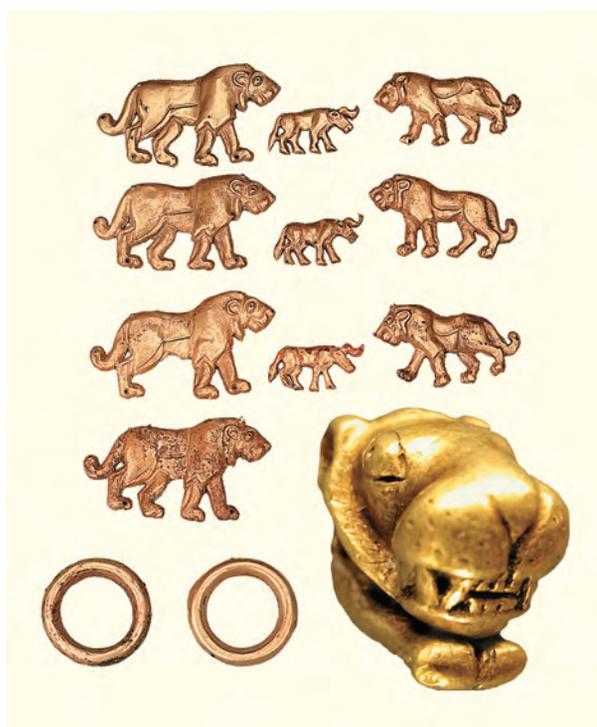
Циркумпонтийская металлургическая провинция: А — ареал Прото-Циркумпонтийской провинции; В — ареал Циркумпонтийской провинции; С — граница между зонами металлургических и металлообрабатывающих очагов (Юг и Север провинции).

тывающие очаги Прото-Циркумпонтийской провинции, возможно, охватывали лишенную рудных залежей Месопотамию.

На Северном Кавказе, где господствовали мобильные скотоводческие племена, никаких сколько-нибудь явных следов металлургии и даже металлообработки в памятниках того времени не известно. И вновь перед нами возникает впечатляющий парадокс: металлы — медь, золото, серебро — добывают на Юге, там же отливают и отковывают из них бесконечные тысячи разнообразных изделий. Однако археологи извлекают до 95% (!) этих предметов главным образом из богатых подкурганых погребений *Севера, а не Юга*. Северокавказские курганы объединяются в хорошо известную — причем не только исследователям — майкопскую культуру. База данных содержит подробные сведения о 9,5 тыс. металлических изделий Прото-Циркумпонтийской провинции. На самом деле ныне их стало заметно больше, хотя пропорциональное соотношение долей металла Севера и Юга остается неизменным.

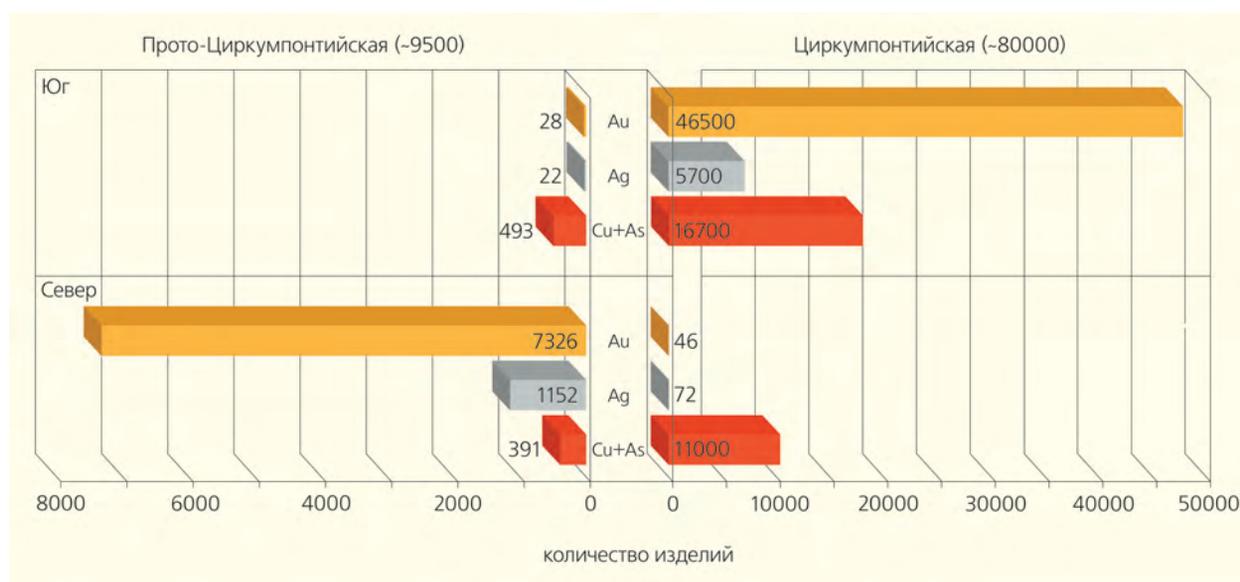
Позволю себе заметить в скобках, что постоянное обращение к парадоксам и их упоминание — это не авторский *façon de parler**. В виртуальном формате картина технологического развития обыкновенно представляется плавно восходящей линией. В реальности же это ломаная зигзагообразная кривая, представленная взлетами и падениями. Взлеты, впрочем, преобладают, что и обеспечивает доминанту генерального восхождения. К парадоксам относятся наиболее яркие «зигзаги» не только взлетов, но и падений...

* Манера говорить (фр.).



Период Прото-Циркумпонтийской металлургической провинции: золотые украшения из погребения в кургане г. Майкопа на Северном Кавказе.

Возвратимся теперь к нашим реалиям и постараемся объяснить загадочную ситуацию. Явных признаков меновой торговли здесь не установлено. Вместе с тем известен случай сокрушительного разорения Арслан-тепе (Львиного холма) — одного из весьма заметных и высоких многослой-



Пропорциональное соотношение между количеством изделий из золота, серебра и меди/бронзы (Cu+As) в памятниках Юга и Севера для периодов Прото-Циркумпонтийской и Циркумпонтийской провинций.

ных жилых холмов в Восточной Анатолии. Завершался погром сооружением на вершине этого холма могилы вождя нападавших, а также его свиты. В таком странном для Анатолии устройстве погребального комплекса усматривается своеобразная имитация подкурганых северокавказских (майкопских) погребений знати. Именно с того времени угадываются ранние признаки военного превосходства степных стремительных всадников над оседлыми обитателями селищ, поскольку степняки к тому времени, скорее всего, уже освоили верховую езду. Вполне возможно, что перед нами открылась наиболее ранняя страница предыстории победоносных конных отрядов гуннов, тюрков и монголов, которые тремя-четырьмя тысячелетиями позже пронесутся сокрушительным для чуждых им культур катком по неохватным евразийским просторам.

Второй этап Циркумпонтийской провинции относится уже целиком к 3-му тысячелетию до н.э., но бесспорным представляется исходный базовый фундамент металлопроизводства, сопряженный с предшествующей фазой. Главным достижением этого этапа стало резкое — более чем в 2.5 раза — расширение генерального ареала провинции (наименование которой отвечало уже реальному Циркумпонтийскому, поскольку Понт Эвксинский оказался в самом центре) до значительного безусловно впечатляющих: 4.5–4.7 млн км².

Отныне под господством очагов Циркумпонтийской металлургической провинции полностью оказались абсолютно все регионы канувшей в вечность Балкано-Карпатской провинции. Другой — вслед за западной — «победной экспансией» циркумпонтийских воздействий оказалось направление северное — в степную и лесостепную зоны от Урала до Восточных Карпат. Именно там и рассредоточились основные металлообрабатывающие очаги, функционировавшие за счет импортного металла как из Закавказья, так и из Балкано-Карпатья.

Если взглянуть на «водораздел» между зонами распространения важнейших очагов Циркумпонтийской провинции — металлургических и металлообрабатывающих, — наше внимание вновь привлечет пропорциональное соотношение долей трех металлов (золота, серебра и меди/бронзы) в коллекциях *металлургического Юга* и *металлообрабатывающего Севера*. На позднем этапе резко — до 80 тыс., почти девятикратно в сравнении с предшествующим этапом — возросло число зафиксированных в базе данных металлических изделий. Полученную картину мы можем вновь отнести к разряду парадоксальных, ведь пропорции в рамках раннего этапа провинции оказываются диаметрально противоположными в сравнении с Прото-Циркумпонтийской стадией. Теперь уже на Севере сосредоточено не 95% металлических предметов, а лишь менее 14%, причем там фактически исчезают золото и серебро. Однако если

в предыдущем случае нас удивлял парадокс, *почему металл Юга, прежде всего драгоценный, обнаружен на Севере*, то в Циркумпонтийской провинции как будто все нормализовалось: *все металлы южного производства в южных памятниках и сосредоточены*. Стало быть, все в порядке? Но нет — уже назрел следующий вопрос: чем можно объяснить скачки столь резких, диаметрально противоположных перемен?

Пожалуй, ясно лишь то, что не сами степняки вдруг отказались от драгоценных металлов. Им в этом, конечно же, отказали, и мы наблюдаем своеобразный возврат к практике давно минувшей Балкано-Карпатской провинции, когда балканское золото степнякам не доставалось. Похоже, что общины Юга Циркумпонтийской провинции стали более консолидированными и устойчивыми к нападению северян. Вероятно, у них появилась и конница. Об этом нам говорят изображения взнузданных животных лошадиной породы на костяных пластинах из южных храмов. Однако, судя по всему, важнейшей причиной, обусловившей консолидацию южан и рост их военной мощи, была свершившаяся в 3-м тысячелетии до н.э. идеологическая революция, ведь во время собственно Циркумпонтийской провинции (ее поздней фазы) все сколько-нибудь значимые изделия — прежде всего, золотые и серебряные — археологи извлекают уже из храмово-погребальных комплексов. Но в предшествующий период картина была абсолютно противоположной: все полученное с Юга золото и серебро загружалось в подкурганые княжеские погребения скотоводов, но на Севере.

И что же? Выходит опять нечто странное: победу одержала исходная в обширном циркумпонтийском ареале идеология степных скотоводов, согласно которой вечная жизнь начинается с земной кончины? А ведь именно такой путь требовал обеспечивать персону — прежде всего, знатную — самым ценным и вечным из имеющегося. Во всяком случае, эти вопросы — а это, конечно же, вопросы весьма непростые — кажутся особо привлекательными и требуют специального внимания.

Циркумпонтийская провинция в двух этапах ее развития была, безусловно, центральной и наиболее выразительной системой в Евразии 4–3-го тысячелетий до н.э. Однако в конце 3-го тысячелетия распад сокрушил и ее, и генеральное полотно карты всех основных евразийских культур изменилось до чрезвычайности. Конец провинции обозначил переход евразийских культур в финальную фазу эпохи раннего металла — в поздний бронзовый век. Сама трансформация растянулась на три-четыре столетия — от конца 3-го до начала 2-го тысячелетия до н.э. Именно в этот отрезок времени Евразию сотрясал воистину фантастический по пространственному охвату «взрыв», отражавший по сути синхронное формирование новой цепи металлургических провинций.

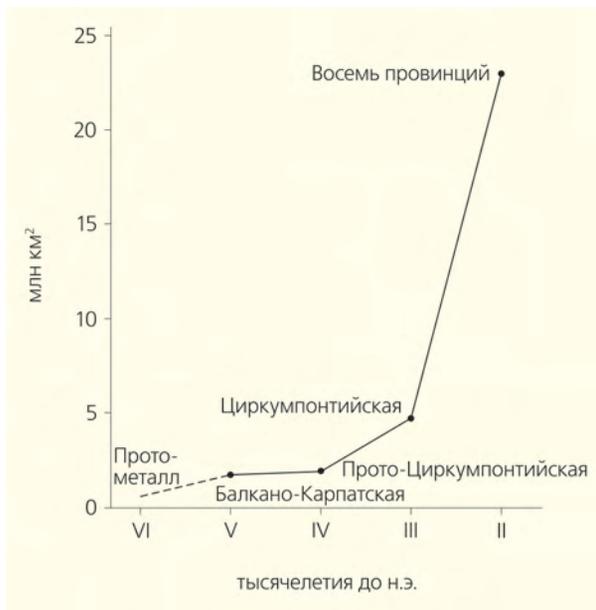
Феномен восьми металлургических провинций

Новоявленная цепь была представлена восемью различными металлургическими провинциями. К сожалению, формат статьи не позволяет с прежней долей детальности рассматривать все эти позднебронзовые формирования. Однако их структуры в большинстве случаев принципиально дублировали то, что удавалось выявлять в ранних системах*.

Протяженная цепь крайне неравнозначных и несходных по важнейшим признакам металлургических провинций покрыла своими производственными очагами гигантские (до 24 млн км²) пространства от Атлантики до Тихого океана. Эффект «взрыва» выглядит гораздо внушительнее при сопоставлении его с ареалом Циркумпонтийской провинции: случился более чем четырехкратный рост.

Территориально самой крупной из восьми провинций стала Западноазиатская — от 6 до 7 млн км². Ее очаги покрывали всю западную половину Степного пояса, а также южные области примыкающей к нему лесной зоны евразийского Запада. На Урале, в Казахстане и на Саяно-Алтае находились мощные металлургические очаги. Металлообработка сосредотачивалась преимущественно в бассейнах Волги и Дона. Меньшей по охвату, хотя и достаточно обширной была Восточноазиатская провинция, раскинувшаяся на площади от 4 до 4,5 млн км². Здесь также доминировали культуры Степного пояса, но только восточной его половины вкупе с частью соседних, северных, связанных

* С более детальной информацией о материалах этого периода можно познакомиться в статье: *Черных Е.Н.* Кочевой мир Евразии: номады Запада в конце бронзового века // Природа. 2015. №2. С.43–55.



Соотношение территориальных охватов металлургических провинций Евразии в эпоху раннего металла.

с лесной зоной. К сожалению, производственные очаги этой провинции на сегодняшний день изучены намного слабее, нежели Западноазиатской. Богатейшие очаги следующей провинции — Европейской — были сосредоточены в основном на пространствах обширного *Европейского полуострова*** , а также на юге Скандинавии, охватывая от 4 до 4,5 млн км². В районе Копетдага к Западноазиатской провинции с юга примыкала Ирано-Анатолийская, оккупировавшая примерно 2,6–2,8 млн км².

** Подробнее см. вторую статью цикла: *Черных Е.Н.* Культуры *Ното*: узловые сюжеты миллионлетней истории. В ледовых тисках плейстоцена // Природа. 2018. №4. С.47–62.



Распространение металлургических провинций в Евразии.

Самыми незначительными по территории, но чрезвычайно яркими по характеру производства были южные — Эгейская и Кавказская — металлургические провинции, покрывавшие до 0.5 млн км² каждая. И наконец, две наиболее восточные — Древнекитайская (Шан-Инь) и Индокитайская — совокупно занимали от 4.5 до 5 млн км².

За рамками металлургических провинций остались весьма обширные пространства лесного севера Евразии вкупе с малозаселенными зонами лесотундры и тундры. Последнее, впрочем, не должно удивлять — эти области почти всегда представляли собой явно выраженную периферию. Гораздо больше вопросов вызывает кажущаяся изолированной от окружающих провинций позиция п-ова Индостан. Правда, вполне возможно, что металл этого во многом загадочного для нас региона изучен пока что недостаточно детально.

Обязательно обратим внимание на еще один весьма важный сюжет: появление моделей западных металлургических провинций — первоначально Циркумпонтийской — в Синьцзяне, т.е. восточнее знакового разделительного рубежа Ев-

разии. Позднее этот же маршрут повторили металлурги Западноазиатской провинции, проникнув уже на территорию Восточноазиатской. Однако ответ носителей ее канонов, широко известный в археологической науке в образе сейминско-турбинского феномена, оказался, пожалуй, существенно более ярким и впечатляющим. Их чрезвычайно своеобразные памятники распространились протяженной (более 5 тыс. км!) цепью от Северного Китая вплоть до бассейна Камы и Верхнего Поволжья, а отдельные металлические орудия находят даже близ побережья Ботнического залива Балтийского моря*.

Итак, все финальные провинции эпохи раннего металла как на Западе, так и на Востоке Евразии активно функционировали в течение всего 2-го и даже ранних столетий 1-го тысячелетия до н.э., когда подошло время перехода к новому переломному этапу в истории евразийских культур — к *веку железа*. ■

* См. также: *Черных Е.Н.* Кочевой мир Евразии: номады Запада в конце бронзового века // *Природа*. 2015. №2. С.43–55.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-06-00037).

Литература / References

1. *Черных Е.Н.* Степной пояс Евразии: феномен кочевых культур. М., 2009. [*Chernykh E.N.* Steppe belt of Eurasia: the phenomenon of nomadic cultures. Moscow, 2009. (In Russ.)]
2. *Черных Е.Н.* Культуры кочевников в мегаструктуре Евразийского мира. М., 2013. [*Chernykh E.N.* Nomadic Cultures in the Mega Structure of the Eurasian World. Moscow, 2013. (In Russ.)]
3. *Chernykh E.N.* Nomadic Cultures in the Mega Structure of the Eurasian World. Brighton, 2017.
4. *Тихомиров М.Н.* Древнерусские города. М., 1956. [*Tikhomirov M.N.* Ancient Russian cities. M., 1956. (In Russ.)]

Homo Cultures: the nodal questions of the million'years history Holocene: the fireworks of cultures and their paradoxes

E.N.Chernykh
Institute of Archaeology, RAS (Moscow, Russia)

The long discussion for Holocene continues: should the Holocene be considered as a new post-Pleistocene epoch, or it is merely the Pleistocene's interglacial? Nevertheless, the warming of the Earth's climate has led to a very noticeable rise in the level of ocean waters. These changes, in turn, led to the full isolation of the main continents and the *Homo* cultures that occupied them. The main attention in this article is given to the large blocks of the Holocene Eurasian post-Palaeolithic culture, because, ultimately, they played the central role in the civilization development on Earth. Against the background of earlier cultures of the Paleolithic epoch, the biosocial formations of the Holocene are striking in abundance and variety of forms. Diversity generates significant differences in the levels of technological development of each of the cultural blocks. The model of so-called producing-economy appeared and actively contributed to these differences. The beginning of mining-metallurgical production was of particular importance. The Early Metal Age comes in the V mill. BC. It was associated with the widespread using of copper/bronzes implements. The systems of huge and even giant metallurgical provinces arose in Eurasia. This article refers to the two earliest and most significant systems of this kind — the Balkan-Carpathian and the Circumpontic. The analysis of their creative activity shows that the paths to the heights of technological progress were not smooth and gradual, but, as a rule, it characterized by a ragged and uneven rhythm. At the same time, technological ups were often replaced by deep failures.

Keywords: Holocene, continental isolation, enclaves of post-Paleolithic cultures, the origin of mining-metallurgical production.

Ширванская плотва — закавказский реликт?

кандидаты биологических наук О.Н.Артаев¹, Б.А.Лёвин¹, Н.Дж.Мустафаев²,
Е.П.СИМОНОВ¹

¹Институт биологии внутренних вод имени И.Д.Папанина РАН
(пос. Борок, Ярославская обл., Россия)

²Институт зоологии НАН Азербайджана (Баку, Азербайджан)

Описана история открытия локально распространенного закавказского эндемика — ширванской плотвы *Pseudophoxinus atropatenus*, находящейся на грани исчезновения. Этот вид относится к эволюционной линии псевдогольянов, распространенных преимущественно в бассейне Средиземного моря. Единственный вид рода, обитающий в Закавказье, рассматривается как миоцено-плиоценовый реликт в свете имеющихся исторических и палентологических данных. В 2017 г. обнаружены новые местообитания ширванской плотвы, несколько расширен ее ареал. Распространение вида ограничено родниковыми озерами в Алазань-Агричайской долине на севере Азербайджана, максимальное расстояние между крайними находками — 44 км. Основные угрозы существования вида — мелиорация, нарушение местообитаний, сток удобрений и пестицидов, заселение чужеродными видами и объектами рыбоводства.

Ключевые слова: *Pseudophoxinus atropatenus*, ширванская плотва, Кавказ, реликт.

В 1934 г. во время рыбоводного обследования притоков р.Куры на севере Азербайджана известный советский ихтиолог А.Н.Державин (1878–1963) отловил в бассейне р.Туриан-чай три десятка рыбок неизвестного ранее вида. Подробно изучив их строение, он отнес находку к новому виду рода плотвы (*Rutilus*), а видовое название — *atropatenus* — выбрал в честь древнего государства Атропатены, существовавшего на месте северо-западной области Ирана и части Азербайджана.

Обнаружение нового вида рыб — не такое уж удивительное событие для Кавказа, раскинувшегося между Черным и Каспийским морями и отличающегося повышенным биоразнообразием. Большая расчлененность рельефа благоприятствует изолированности местообитаний, что положительно сказывается на разнообразии наземной и водной биоты. Последнее оледенение пощадило Кавказ, оставив два крупных рефугиума — Колхидский (Грузия, Россия и Турция) и Гирканский (Азербайджан и Иран) [1]. Сегодня флора и фауна Кавказа нуждаются во внимании и защите, это одна из 25 «горячих точек» биоразнообразия на Земле [2].



Ширванская плотва.

Здесь и далее фото О.Н.Артаева

Хотя Державин отнес свою находку к роду *Rutilus* [3], видимо, он понимал, что рыбы эти несколько особенные, отличные от других видов рода. Поэтому для ширванской плотвы появился подрод — *Orthroleucos*. Однако современные морфологические исследования, проведенные ихтиологами [4], показали, что ширванская плотва относится к другому роду — *Pseudophoxinus*. По-русски его представителей можно назвать псевдогольянами. Находка в Закавказье ширванской плотвы, относимой к *Pseudophoxinus*, примечательна в биогеографическом отношении. Род включает



Конус выноса р.Эльджиган. На нем расположен г.Огуз.

в себя 29 ныне живущих видов, обитающих главным образом в водоемах Средиземноморского и Черноморского бассейнов на территории Турции, Иордании, Израиля, Ливана, Сирии, Алжира и Туниса. Несмотря на то что представители рода распространены довольно широко, отдельные виды обитают локально, предпочитая родники и ручьи. Местообитание ширванской плотвы существенно удалено от основного ареала рода.

Следует отметить, что ширванская плотва — не единственный эндемик рода *Pseudophoxinus* в Закавказье. В 1950 г. азербайджанский ихтиолог Ю.А.Абдурахманов описал соухбулагскую плотву (*Pseudophoxinus sojuchbulagi*), обнаруженную в долине р.Куры в Азербайджане на границе с Грузией [5]. Однако с тех пор этот вид не встречался ихтиологам более ни разу и, вероятно, может считаться исчезнувшим [6]. Кроме того, иско-

паемые останки неизвестного вида, предположительно того же рода, найдены в верхнем миоцене северо-западной области Армении [7]. Таким образом, рыбы *Pseudophoxinus*, по-видимому, ранее были распространены шире, а современные виды Закавказья представляют собой реликты мио-плиоценовой ихтиофауны, распавшейся на локальные очаги в результате тектонических процессов, которые происходили в конце плиоцена и в плейстоцене на юге Европы и в Центральной Азии [8].

На основании филогенетического анализа генов митохондриальной и ядерной ДНК установлено, что род *Pseudophoxinus* полифилетичен, т.е. представлен несколькими независимо возникшими эволюционными линиями [9], морфология ко-



Кара-су. Во многих из них вода имеет бирюзовый оттенок. Здесь обитает ширванская плотва.

торых конвергентна. К какой из этих линий относится закавказский реликт — пока неизвестно.

Оба вида закавказских *Pseudopboxinus* включены в Международную красную книгу (IUCN Red List), им присвоен статус Critically Endangered, т.е. находящиеся под угрозой исчезновения (следующая категория редкости — вымершие виды). На Кавказе всего семь видов имеют такой статус, однако лишь представители рода *Pseudopboxinus* отличаются очень узкими ареалами обитания. Державин обнаружил ширванскую плотву в трех родниках и одной речке у сел Нидж и Чухур-Габала Куташенского (ныне Габалинского) р-на Азербайджана (бассейн р.Куры). С тех пор прошло более 80 лет, но водоемы в окрестностях этих близкорасположенных сел оставались единственными известными местообитаниями вида.

Летом 2017 г. мы организовали экспедицию в Азербайджан с целью уточнить ареал этой загадочной рыбки. Также предполагалось выяснить, какие биотопы предпочитает ширванская плотва, и оценить факторы угрозы ее существования.

Державин писал, что район обитания ширванской плотвы «ограничен системой заболоченных родниковых водоемов, принадлежащих бассейну р.Туриан-чай, расположенных в лесистых окрестностях селений Нидж и Чухур-Габала Куташенского района. Это ручьи и речки с замедленным течением и илистым дном, сильно заболоченные, заросшие камышом» [3]. Также нам было известно, что вид обитает в родниках и родниковых колодцах — небольших, но довольно глубоких озерах округлой формы, их средний размер от 10 до 30 м. Из некоторых вытекает ручей, другие полностью изолированы. Местное название таких водоемов — кара-су. В их поисках мы тщательно изучили общедоступные космические снимки центральной, северной и северо-западной частей Азербайджана. Ока-



Водоем на частной территории в с.Нидж — еще одно местообитание плотвы.



Раскопанные и запруженные кара-су. Ширванская плотва в них не найдена.



Ко многим водоемам довольно трудно подобраться из-за густых колючих зарослей. Фото А.А.Прокина



Ширванская плотва. В местах своего обитания она довольно многочисленна.

Фото О.Н.Артаева

здесь, что наибольшее количество похожих по форме водоемов сосредоточено в Алазань-Агричайской долине между городами Шеки и Габала. При наземном исследовании они и оказались теми самыми родниковыми озерами. Остальные представляли собой горные озера или пруды — копаные или дамбовые.

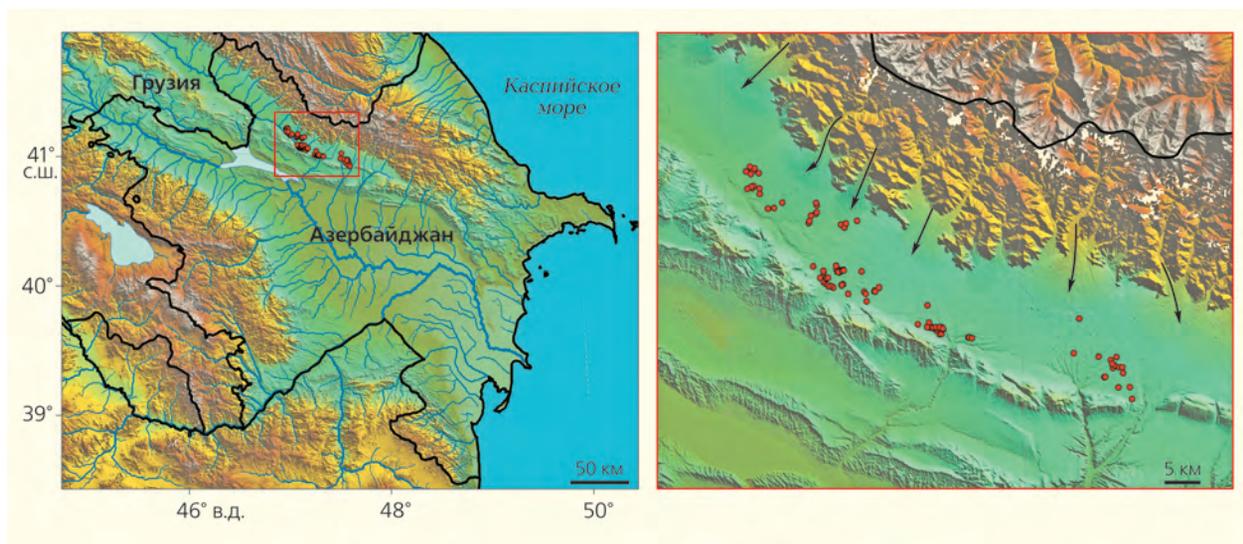
Об уникальных родниковых озерах кара-су стоит рассказать подробнее. Они распространены группами в виде шлейфа, вытянутого с запада на восток в Алазань-Агричайской долине, которая представляет собой межгорный прогиб, заполненный мощной толщей рыхлых отложений. Реки, вытекающие в долину с Главного Кавказского хребта, имеют огромные аллювиальные конусы выноса. На них расположены крупные населенные пункты (Шеки, Огуз, Габала, Гах). Речные русла разбиваются здесь на множество рукавов. Некоторые из них

пересыхают, другие собираются ниже в новые реки, а оставшаяся часть фильтруется под землю (у вершин конусов выноса преобладает вертикальная фильтрация воды). Просочившаяся до водоупора влага в соответствии с общим уклоном веерообразно растекается от вершины конуса к его периферии, где наблюдается быстрое уменьшение глубины залегания воды, а повышение общей глинистости пород ведет к выходу подземных вод в виде кара-су [10]. Исключительно в таких родниковых озерах мы и обнаружили ширванскую плотву.

Интересно, что в некоторых кара-су наблюдаются выходы сероводорода, и из рыб присутствует только ширванская плотва. Это может указывать на адаптацию вида к такой среде обитания.

Таким образом, в результате экспедиции нам удалось установить, что ареал вида в действительности несколько шире, чем предполагалось ранее, а его границы совпадают с распространением кара-су в Алазань-Агричайской долине. Расстояние между крайней восточной точкой ареала у с.Чухур-Габала (где вид был впервые описан) и крайней западной, обнаруженной в ходе экспедиции у г.Шеки, всего 44 км. Несмотря на выявление новых водоемов, населенных ширванской плотвой, она по-прежнему остается узколокальным эндемиком, к тому же обитающим в довольно специфических биотопах. Ареал вида фрагментирован и представлен отдельными изолированными водоемами, что, вероятно, также способствовало генетической изоляции локальных популяций.

Азербайджан — крупнейшее из кавказских государств. Население страны увеличивается, развиваются промышленность и сельское хозяйство. К сожалению, последствия функционирования этих отраслей экономики негативно сказываются на состоянии экосистем. Чтобы ширванскую плотву не постигла участь дронты и квагги и чтобы она



Алазань-Агричайская долина. Стрелками показаны конусы выноса, красными точками — родниковые озера.

не встала в один ряд с вымершими узкоареальными эндемиками рыб (такими, как бейшехирская уклейка и трехгиглая колюшка из оз.Текиргюль в Румынии), нужно понять, какие опасности существуют для вида, разработать меры по его сохранению и реализовать их. Насколько позволяют судить собранные нами данные, основная угроза для редких рыб исходит со стороны сельского хозяйства. Поскольку местность гористая, равнинные участки с плодородной почвой используются особенно интенсивно. Алазань-Агричайская долина — один из основных сельскохозяйственных районов Азербайджана. Здесь постоянно ведутся ирригационно-мелиоративные работы, строятся каналы и дам-

бы, расширяются и углубляются существующие каналы. Все это меняет гидрологический режим рек. Вместе с тем работы по поиску ширванской плотвы в родниковых озерах показали, что она обитает лишь в неизмененных или малоизмененных условиях. Существенно же трансформированные человеком водоемы заселены объектами рыбоводства либо чужеродными видами.

По всей видимости, основная угроза виду — мелиорация, а также сопутствующие ей явления (нарушение местообитаний, сток удобрений и пестицидов, вселение в водоем чужеродных видов). В настоящее время разрабатываются предложения по охране уникального эндемика Закавказья. ■

Работа выполнена при поддержке Mohamed bin Zayed Species Conservation Fund (проект 162514342).

Литература / References

1. Ecosystem Profile. Caucasus biodiversity hotspot. Final version July 31, 2003.
2. Myers N., Mittermeier RA, Mittermeier C.G. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature. 2000; 403: 853–858. Doi:10.1038/35002501.
3. Державин А.Н. Новый вид плотвы *Rutilus (Orthroleucos) atropatenus* sp.nova из Азербайджана. Труды Азербайджанского филиала АН СССР. 1937; XX: 21–79. [Derjavin A.N. A new species of roach *Rutilus (Orthroleucos) atropatenus* nov. sp. from Azerbaijan. Trudy Azerbaydzhanskogo filiala AN SSSR. 1937; 20: 71–78. (In Russ.)]
4. Bogutskaya N.G., Kūzūk F., Atalay M.A. A description of three new species of the genus *Pseudophoxinus* from Turkey (Teleostei: Cyprinidae: Leuciscinae). Zoosystematica Rossica. 2006; 15(2): 335–341.
5. Абдурахманов Ю.А. Новый вид плотвы, *Rutilus sojuchbulagi* sp. nova. Доклады Академии наук Азербайджанской ССР. 1950; VI(3): 112–116. [Abdurakhmanov Yu.A. New species of roach, *Rutilus sojuchbulagi* sp. nova. Reports of the Academy of Sciences of the Azerbaijan SSR. 1950; VI (3): 112–116. (In Russ.)]
6. Freybof J. *Pseudophoxinus sojuchbulagi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T19449338A19848526. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-3.RLTS.T19449338A19848526.en>.
7. Пипоян С.Х., Василян Д.З., Габриелян И.Г. Ископаемые рыбы Армении. Биологический журнал Армении. 2011; 63(1): 56–61. [Pipoyan S.Kh., Vasilyan D.Z., Gabrielyan I.G. The fossil fishes of Armenia. Biological Journal of Armenia. 2011; 63(1): 56–61. (In Russ.)]
8. Сычевская Е.К. Пресноводная ихтиофауна неогена Монголии. М., 1989. [Sychevskaya E.K. Freshwater Neogene ichthyofauna of Mongolia. Moscow, 1989. (In Russ.)]
9. Perea S., Böbme M., Zupanui P. et al. Phylogenetic relationships and biogeographical patterns in Circum-Mediterranean subfamily Leuciscinae (Teleostei, Cyprinidae) inferred from both mitochondrial and nuclear data. BMC Evolutionary Biology. 2010; 10(1): 265. Doi:10.1186/1471-2148-10-265.
10. Гидрогеология СССР. XII. Азербайджанская ССР. М., 1969. [Hydrogeology of the USSR. XII. Azerbaijan SSR. Moscow, 1969. (In Russ.)]

Caucasian Relict Fish — Azerbaijani Spring Roach

O.N.Artaev¹, B.A.Levin¹, N.Dzh. Mustafayev², E.P.Simonov¹

¹Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS (Borok, Yaroslavlskaya oblast, Russia)

²Institute of Zoology, Azerbaijan Academy of Sciences (Baku, Azerbaijan)

Azerbaijani Spring Roach *Pseudophoxinus atropatenus* is critically endangered Caucasian endemic species with very narrow range. This species belong to the evolutionary line of pseudo-minnows that inhabits the freshwaters of the Mediterranean basin. The Azerbaijani Spring Roach, the only species inhabiting Transcaucasus, is considered to be a Miocene-Pliocene relict species according to biogeographical and paleontological data. The known range of this relict species was extended during our field trip in 2017. The range of *P.atropatenus* is restricted to little spring lakes in the Alazani-Agrichay Valley in northern Azerbaijan; the maximum distance between populations is 44 km. The main threats to the survival of this species are amelioration, habitat disturbance, fertilizer and pesticide use in agriculture, as well as invasion of alien species and fish farming in natural water bodies.

Keywords: *Pseudophoxinus atropatenus*, Azerbaijani Spring Roach, Caucasus, relict.

Вести из экспедиций Банка Дриженко в озере Байкал

доктор биологических наук В.В.Тахтеев
Иркутский государственный университет (Иркутск, Россия)

Впервые исследована банка Дриженко, расположенная у западного побережья Северного Байкала в районе мыса Большой Солонцовый. Это поднятие не обозначено на многих картах. Основной гребень располагается на глубине около 80 м. В июле 2017 г. с помощью подводной видеотехники удалось заснять ее поверхность. Бентосной драгой добыты редкие и неизвестные науке виды животных (амфипод).

Ключевые слова: Байкал, банка Дриженко, подводные видеонаблюдения, редчайшие виды фауны.

Котловина самого глубокого в мире озера Байкал, лежащего в центре Азиатского континента, заполнена пресной водой высочайшего качества. Однако по многим другим признакам это водоем не озерного, а океанического типа. Недаром Байкал часто называют словами из песни — «славное море». Он служит для ученых прекрасной моделью для исследования океанических процессов [1, 2].

К безусловно «океанским» чертам в строении и функционировании Байкала относятся сложная геоморфология впадины, ее древний геологический возраст и богатая тектоническая история, характерные «морские» гидрологические феномены — система горизонтальных течений, механизм вертикального водообмена, суровые штормы, масштабные апвеллинги и даунвеллинги. Типично океанической можно признать и структуру биоты этого озера. Ей свойственно бурное эндемичное видообразование, формирование разнообразных жизненных форм, аналогичных морским, в том числе специфичной глубоководной фауны, а также явление «дарвиновской» островной изоляции у архипелага Ушканьи о-ва. Для водной толщи Байкала характерен уникальный холодолюбивый комплекс, включающий веслоногого рачка эпишуру и вышестоящие звенья трофической цепочки (пелагический бокоплав макрогектопус, беспузрырные рыбы голомянки, желтокрылки и длиннокрылки). Входит сюда и типично «морской» элемент — тюлень, или нерпа.

Байкал не раз становился объектом океанологических экспедиций с применением глубоководных обитаемых аппаратов — сначала «Пайсисов», а затем и «Миров». Тем не менее уникальное пресноводное море продолжает хранить свои тайны. Многие участки дна озера исследователи до сих пор даже ни разу не видели!

Как в настоящем океане, в Байкале существуют глубоководные впадины и подводные поднятия — хребты и банки. Наиболее известный хребет —

Академический, разделяющий северную и среднюю части озера. Его гребень расположен на глубине около 200–300 м, а крупнейшие «вершины» — это архипелаг Ушканьи о-ва (всего их четыре). Первое описание хребта сделал основоположник российской лимнологии Г.Ю.Верещагин, а назван он в честь Академии наук.

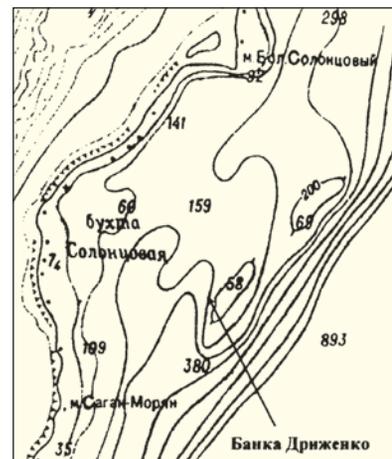
Давно и хорошо известная банка — Посольская — расположена в северном конце южной впадины Байкала. Глубины вокруг нее превышают километр, а вершина находится на отметке 49 м. Некоторые суда могут даже становиться там на якорь.

Однако не все важные элементы байкальского подводного рельефа отражены в атласах и на картах. В частности, до недавнего времени оставалось неясным, что же находится у западного побережья Северного Байкала в районе мыса Большой Солонцовый. На картах, даже выпущенных уже в XXI в., была нанесена зубчатая линия, обозначающая свал глубин, а детали рельефа не показывались.

Любопытно заметить, что местные жители знали это место лучше, чем геоморфологи и гидрографы. Рыбаки ставили там сети на омуля и были в курсе, что здесь находится подводное поднятие.

Официальное географическое открытие этого поднятия состоялось в 1984 г., во время работы гидрографической экспедиции Военно-Морского Флота СССР на Байкале. Авторами открытия стали инженер-гидрограф Л.Г.Колотило, ныне капитан 3-го ранга, и С.В.Графов [2]. Сначала они обнаружили минимальную глубину 64 м, а затем нашли еще более мелководную точку — 58 м (54°06'31"с.ш., 108°22'45"в.д.). Банка представляет собой два поднятия северо-восточного простирания. Длина гребня наиболее высокого из них достигает примерно 2 км.

Новый географический объект получил имя Федора Кирилловича Дриженко — генерала, гидрографа русского военного флота, руководившего первой гидрографической экспедицией на Байкал в 1896–1902 гг., гидрографическими промерами в Северном Ледовитом океане и в Белом море и другими работами [3]. Атлас и лоция Бай-



Район банки Дриженко на разных картах: слева — фрагмент карты Байкала масштаба 1:500 000, изданной в 2008 г., справа — картосхема с обозначением банки Дриженко, составленная по результатам детальной гидрографической съемки 1984 г. [2].

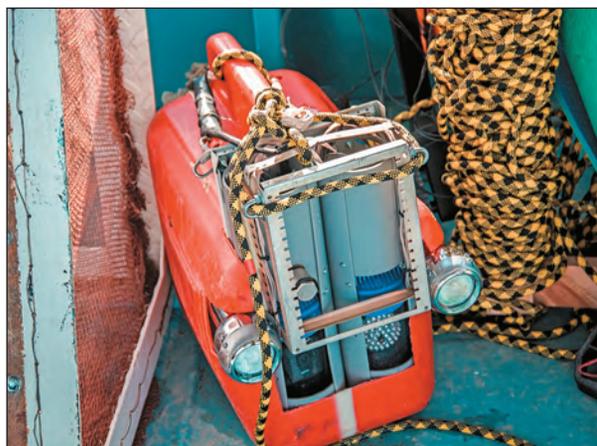
кала, составленные экспедицией Ф.К.Дриженко, на десятилетия стали руководствами для судоводителей, а установленные ею высотные маяки в разных частях Байкала позволили резко снизить аварийность на воде.

Но... открытие состоялось, и о нем практически забыли. Работы с глубоководными аппаратами в 1990–1991 и 2008–2010 гг. обошли этот район стороной. Скрытую в глубинах Байкала банку так никто и не видел. Она не была специально исследована геологами. По-видимому, это «отколовшийся» в результате катастрофического землетрясения фрагмент склона Байкальского хребта. Берег на этом участке нарушен глубокими трещинами — палеосейсмодислокациями [4], при изучении которых видно, что часть хребта, прилегающая к озеру, отделяется протяженной линией разрыва. При погружениях на аппарате «Пайсис» в районе Северного Кедрового мыса обнаружен сбрососдвиг, или сейсмогенный обвал, свидетельствующий о том, что главный «живой» разлом располагается даже не в береговой зоне, а на подводной части склона [5]. Присклоновые «рвы с горкой» выявляются и при акустическом сейсмопрофилеировании в районе Малого Солонцового мыса [5].

Я узнал об этом поднятии от капитана научно-исследовательского судна «Профессор Кожов» С.Н.Вещева в 2000 г. Три раза мы предпринимали попытки пройти донным тралом по вершине банки. При тралении чувствовалась неровность дна, улов же пришел лишь раз. Он оказался крайне скудным, но содержал один экземпляр нового для науки вида раков-амфипод из рода *Leptostenus*. Загадочная банка становилась все более привлекательной.

В июле 2017 г. на судне «Профессор Кожов» мы отправились в район банки Дриженко*. В нашем распоряжении находилась дистанционная подводная видеосистема. Она позволяет работать на глубинах до 100 м и вести автономную видеозапись продолжительностью до 4 ч как с включенными галогеновыми прожекторами, так и в режиме ночного видения с инфракрасным излучателем [6]. В наши планы входила видеосъемка гребня банки, а также его драгировка «прицельным методом».

* Пользуясь случаем, выражаю огромную благодарность экипажу НИС «Профессор Кожов» и всем участникам экспедиции за слаженную работу.



Система для дистанционных подводных видеонаблюдений, используемая нами на Байкале.

Фото Д.Е.Раздобарина



На борту НИС «Профессор Кожов», 23 июля 2017 г. Подготовка к работам на банке Дриженко.

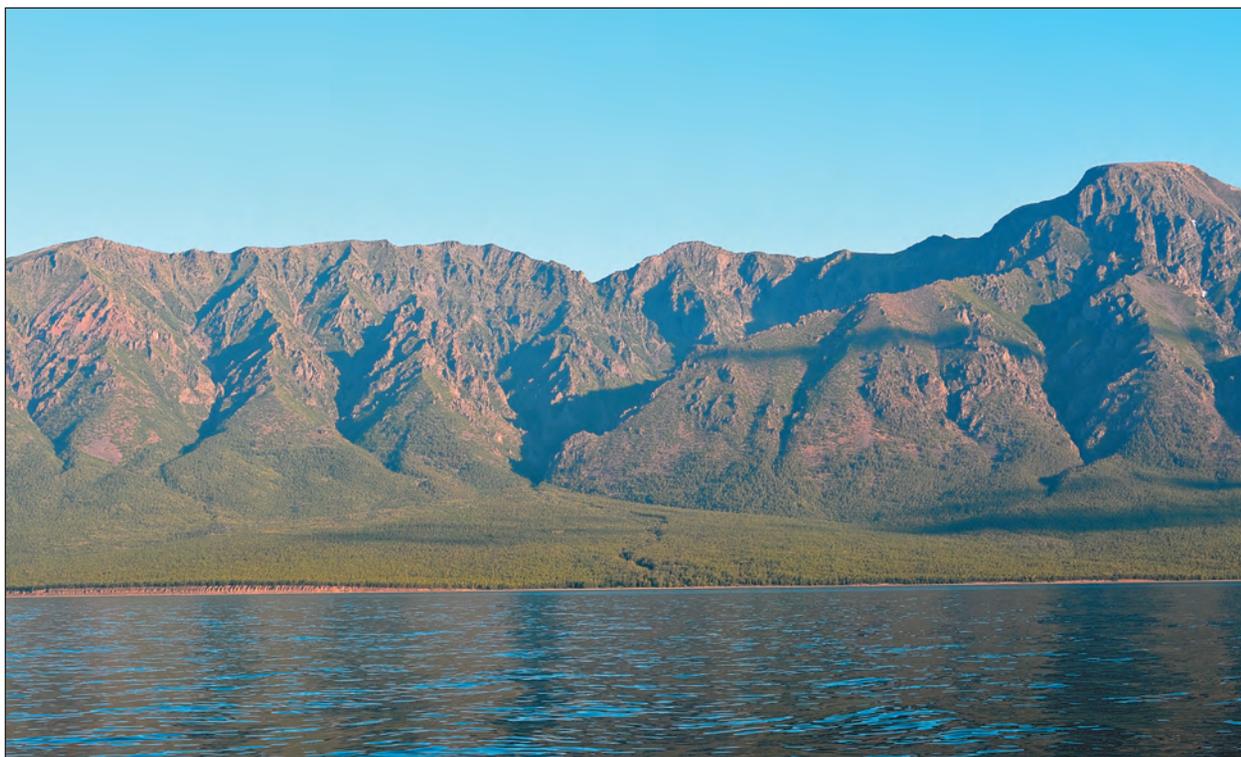
Здесь и далее фото автора

Судно шло ночью. Мы рассчитывали прибыть на траверс бухты Солонцовой в начале седьмого утра. На рассвете, как только поступило сообщение о подходе к заданной точке, участники экспедиции дружно вышли на палубу. Всем было невероятно интересно.

ма была опущена в воду, естественное освещение практически пропало. Включились галогенные прожекторы. Камера погружалась все ниже и ниже. При первой попытке спуска мы «промахнулись»: весь кабель ушел под воду, но прибор не достиг дна.

Для начала мы решили пройти над банкой и прописать эхолотный профиль. Вот на экране прибора линия дна резко пошла вверх и в 6 км от побережья достигла отметки 56 м. Это было даже меньше, чем указывали первооткрыватели. «Макушка» банки оказалась высокой, но недлинной, она напомнила нам лошадиную голову. Вскоре глубина снизилась до 80–82 м, и началась довольно длинная и ровная «спина» — собственно гребень банки. По оценке «сверху», место для драгировки было удачным, однако какой грунт находился внизу, мы пока не знали.

На Байкале стоял штиль, над бескрайней голубой гладью поднималось солнце, освещая крутые склоны Байкальского хребта. Солнечный свет попал в объектив нашей камеры, но спустя 75 с после того как видеосисте-



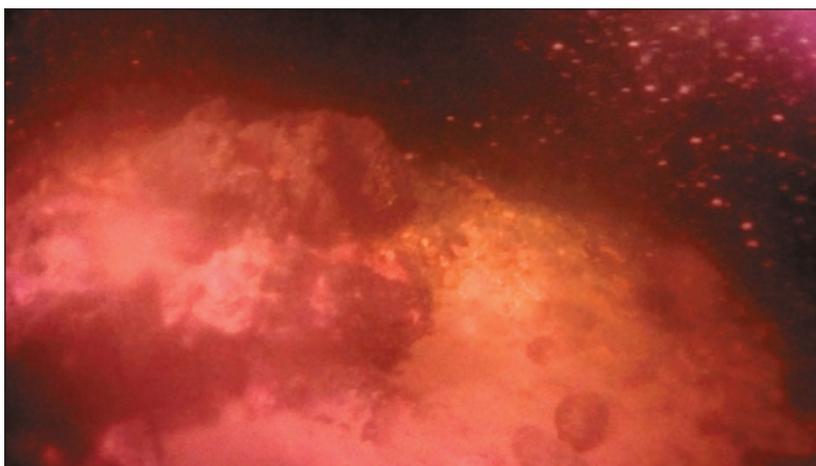
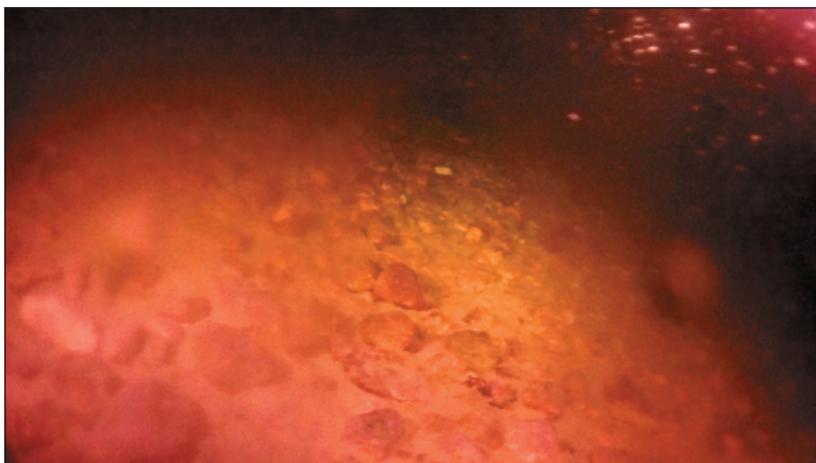
Байкал в районе мыса Большой Солонцовый. Судно находится над банкой, вдали — Байкальский хребет, видно русло ручья.

Пришлось заново заходить на гребень. Ровно через 10 мин после начала спуска показалось дно. Оно было сложено разбросанными острыми глыбами, таким же острым, неокатанным щебнем и мелкой дресвой. Вершина гребня банки действительно оказалась ровной, без перепадов глубин, но острые глыбы представляли бы опасность для трала. Никаких животных мы не увидели, за исключением колоний из белесых корковых губок на отдельных камнях. Поверхность многих камней имела бурый или коричневый оттенок. Это свидетельствовало об окислительной обстановке на вершине банки и об отложении слоя накипи (образно говоря — «ржавчины») из гидроксидов железа и марганца.

Мы включили кормовую лебедку и начали спуск бентосной драги. Как положено в таких случаях, трос был сброшен на длину, в полтора раза превышающую глубину под килем. Судно мягко подалось вперед, и драга пошла по гребню банки. Сначала она двигалась более или менее ровно, но затем начались резкие рывки. Они становились все сильнее и сильнее. Мы всерьез опасались, что потеряем драгу, а вместе с ней и часть троса. Однако удалось выдержать желаемые 10 мин прохода по дну, после чего можно было начинать подъем.

Драга пришла на борт с вогнутыми внутрь ножами — так сильно она цеплялась за острые глыбы! Проблема с прибором была решена быстро. За несколько минут члены экипажа кувалдой привели драгу в первоначальный вид.

Полученный улов вызвал восхищение. В нем оказались раки-амфиподы (бокоплавы), которых мы никогда не видели. Животные обладали изящным телом, окраска которого варьировала от оранжевой до сиреневой и сливовой. Преобладали виды родов *Eulimnogammarus* и *Corophiotorpus*. Известно, что в Байкале они населяют преимущественно



Стоп-кадры подводной видеосъемки гребня банки Дриженко на глубине 82–83 м: вверху — россыпи валунов с единичными корковыми губками; внизу — крупные неокатанные глыбы, покрытые бурой железомарганцевой накипью.



Раки-амфиподы, собранные драгой с гребня банки Дриженко (глубина 80–83 м).



Разбор тралового улова на борту НИС «Профессор Кожов».

каменистые грунты, однако никто не исследовал их фауну на обособленных подводных поднятиях.

Участник нашей экспедиции фотограф С.И.Дидоренко снял живых амфипод крупным планом, постаравшись по возможности имитировать естественный биотоп, чтобы в ближайшем будущем создать максимально полный цветной атлас этих животных.

Настоящим красавцем оказался найденный нами редчайший вид *Corophiomorphus gracilicornis*.

При большом увеличении было видно, что сиреневатая окраска передней части тела переходила в оранжевую в задней части. Впечатляли и громадные щетинки на нижних антеннах животного. Вид был впервые описан А.Я.Базикаловой в 1945 г. всего из трех мест, характеризующихся крутым подводным склоном [7], и с тех пор на протяжении более 70 лет никем не обнаруживался.

Другой вид амфипод оказался абсолютно новым для науки. Он принадлежит к группе специа-



Макрофотоснимки бокоплавов *Corophiomorphus gracilicornis* Bazikalova (слева) и ранее неизвестного *Eulimnogammarus* sp.n. в их естественном «интерьере» — на фоне камней, поднятых с банки Дриженко.

Фото С.И.Дидоренко

лизированных глубоководных видов из рода *Eulimnogammarus*, отличается оранжевой окраской, очень длинными уроподами (рулевыми конечностями) и наличием щетинок с верхней стороны буквально всех сегментов тела. Такого сочетания признаков нет ни у одного известного вида.

Всего в улове обнаружено не менее девяти разных видов амфипод. Среди них как минимум

три — новые (включая ранее найденный *Leptostenus*). Отловленные на банке Дриженко ракообразные еще нуждаются в более детальной таксономической обработке. Наш опыт показывает, что наиболее интересные фаунистические находки в Байкале ожидают исследователей именно на участках с необычными геологическими условиями [8–10 и др.]. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-04-00786).

Литература

1. Байкаловедение. Ред. О.Т.Русинек, В.В.Тахтеев, Д.П.Гладкочуб и др. Новосибирск, 2012. [Baicalogy. Ed. O.T.Rusynek, V.V.Takhteev, D.P.Gladkochub et al. Novosibirsk, 2012. (In Russ.).]
2. Колотило Л.Г. Проблемы физико-географического изучения озера Байкал. СПб., 2001. [Kolotilo L.G. Problems of physico-geographical study of Lake Baikal. St. Petersburg, 2001. (In Russ.).]
3. Словарь биографический морской. СПб., 2000. [Biographical marine dictionary. St. Petersburg, 2000. (In Russ.).]
4. Чипизубов А.В., Мельников А.И., Столповский А.В., Баскаков В.С. Палеосейсмодислокации и палеоземлетрясения в пределах Байкало-Ленского заповедника (зона Северобайкальского разлома). Труды Байкало-Ленского государственного природного заповедника. 2003; 3: 6–18. [Chipizubov A.V., Melnikov A.I., Stolpovsky A.V., Baskakov V.S. Paleoseismodislocation and paleoquakes within the Baikal-Lensky Reserve (zone of the Severobaikalsky Rift). Proceedings of the Baikal-Lena State Nature Reserve. 2003; 3: 6–18. (In Russ.).]
5. Бухаров А.А., Фиалков В.А. Геологическое строение дна Байкала: Взгляд из «Пайсиса». Новосибирск, 1996. [Bukharov A.A., Fialkov V.A. Geological structure of the Lake Baikal bottom: a look from «Piscis». Novosibirsk, 1996. (In Russ.).]
6. Тахтеев В.В., Дидоренко С.И. Фауна и экология бокоплавов озера Байкал. Иркутск, 2015. [Takhteev V.V., Didorenko S.I. Fauna and ecology of amphipods of Lake Baikal. Irkutsk, 2015. (In Russ.).]
7. Базикалова А.Я. Амфиподы озера Байкал. Труды Байкальской лимнологической станции. 1945; 11: 1–440. [Bazikalova A.Ya. Amphipods of Lake Baikal. Proceedings of the Baikal Limnological Station. 1945; 11: 1–440. (In Russ.).]
8. Тахтеев В.В., Бухаров А.А., Провиз В.И., Ситникова Т.Я., Галкин А.Н. Своеобразие донной фауны в необычных геологических условиях северного подводного склона Большого Ушканьего острова (оз. Байкал). Исследования фауны водоемов Восточной Сибири. Иркутск, 2001: 3–8. [Takhteev V.V., Bukharov A.A., Proviz V.I., Sitnikova T.Ya., Galkin A.N. The peculiarity of the bottom fauna in the unusual geological conditions of the northern underwater slope of the Great Ushkanye Island (Lake Baikal). Studies of the fauna of the reservoirs of Eastern Siberia. Irkutsk, 2001: 3–8. (In Russ.).]
9. Сиделева В.Г. Сообщества коттоидных рыб (Cottoidei) в гидротермальной и сиповой системах глубоководной зоны озера Байкал. Вопросы ихтиологии. 2016; 56(5): 526–533. [Sideleva V.G. Communities of the cottoid fish (Cottoidei) in the areas of hydrothermal vents and cold seeps of the abyssal zone of Baikal Lake. Journal of Ichthyology. 2016; 56(5): 694–701.]
10. Ситникова Т.Я., Сиделева В.Г., Кияшко С.И. и др. Сравнительный анализ сообществ макробеспозвоночных и рыб, ассоциированных с метановым и нефте-метановым сипами в абиссали оз.Байкал. Успехи современной биологии. 2017; 137(4): 373–386. [Sitnikova T.Ya., Sideleva V.G., Kiyashko S.I. et al. A comparative analysis of macroinvertebrate and fish communities associated with methane and oil-methane seeps in the abyssal area of Lake Baikal. Advances in Current Biology. 2017; 137(4): 373–386. (In Russ., Abstr. in Engl.).]

Bank Drizhenko in the Baikal Lake

V.V.Takhteev
Irkutsk State University (Irkutsk, Russia)

Drizhenko Bank, located at the western coast of Northern Baikal in the area of Cape Bolshoi Solontsovyi, was first investigated. It is not even marked on many maps. Its main ridge is at a depth of about 80 m. The use of underwater video equipment made it possible to capture its surface. The benthic dredge mined rare and unknown to science species of animals (amphipods).

Keywords: Baikal Lake, Drizhenko Bank, underwater video observations, rare species of fauna.

Образцы продолжают рассказывать

доктор геолого-минералогических наук В.Г.Кузнецов

Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина
(Москва, Россия)

В статье описаны некоторые особенности израильских известняков мелового возраста — иерусалимского камня, которые характеризуют процессы, происходящие в породе после ее образования. Зубчатые извилистые линии, зафиксированные тонкой глинистой прокладкой, — стилолитовые швы — возникают при растворении вещества под боковым давлением, либо под весом вышележащих отложений. Стилолитовые швы первого типа примерно параллельны наслоению, второго — секут слоистость под тем или иным углом, что позволяет определить направление стресса. На примере пустотки в теле бывшей раковины рассмотрены вторичные процессы. Из насыщенных бикарбонатом кальция вод образуются мелкие кристаллики кальцита, которые в виде щетки инкрустируют внутренние поверхности нижней и верхней створок. В сохранившейся полости формируются микросталактит и микросталагмит.

Ключевые слова: известняк, иерусалимский камень, меловая система, стилолит, микросталактит.

В №4 «Природы» за 2017 г. была опубликована заметка об информации, которая содержится в образце осадочной горной породы и которую пытливым исследователем может извлечь, рассматривая образец*. Для геолога-профессионала образец — это кусок горной породы, руды, минерала с точной привязкой к месту его нахождения и отбора (географический адрес положения карьера, обнажения и конкретного слоя, номер скважины, глубина отбора образца и т.д.).

Существует, однако, много образцов, места отбора которых неизвестны. Но такие образцы могут содержать интересную и важную информацию (например, по обстановкам и механизмам образования). Хотя научная ценность подобных экземпляров невелика, для любителей камня они привлекательны и познавательны. Можно, наконец, отметить еще один, промежуточный вариант, когда известны район и примерный возраст образца, а точная привязка отсутствует. Подобным объектам и посвящена эта заметка.

Речь пойдет о израильских верхнемеловых известняках — иерусалимском камне. Распиленный на плитки, он идет на облицовку зданий — как в самом Иерусалиме, так и в окрестных городах и поселках. Расположенные на многочисленных холмах белоснежные здания создают неповторимый облик древнего библейского города.

Скажем сразу, что все приведенные ниже выводы сделаны на основе обычных полевых наблюдений, без какой-либо специальной техники. По-

добный анализ доступен каждому наблюдательному и внимательному человеку и не обязательно классному специалисту.

Известняки представляют собой светло-серую, серую или желтовато-серую породу однородной микрозернистой структуры с остатками организмов, которые, распределяются в породах неравномерно. В нашем случае — это двустворки (пелециподы) и улитки (гастроподы). Подобные структуры позволяют полагать, что осаждение материала происходило в спокойных условиях при очень слабой гидродинамической активности. Именно это и позволило осадиться и зафиксироваться на дне очень мелким зернам кальцита (CaCO_3). Присутствие остатков фауны (в частности пелеципод) указывает на водные условия, а ее разнообразие свидетельствует о благоприятных для жизни разных групп условиях водоема, что характерно для морей среднеокеанической солёности.

В перпендикулярных слоистости сечениях — как в обнажениях, так и на многих образцах — видны многочисленные зубчатые линии, которые иногда соприкасаются друг с другом (рис.1). Это так называемые стилолиты, или, точнее, стилолитовые швы.

Стилолиты — очень яркие и интересные образования в осадочных породах. Они известны с середины XVII в., а сам термин «стилолит» состоит из двух греческих слов: $\sigma\tau\upsilon\lambda\omicron\varsigma$ — столб и $\lambda\upsilon\tau\omicron\varsigma$ — камень. Определение же стилолитов как более или менее совершенной формы столбчатой отдельности появилось в середине XIX в.

Строго говоря, термин «стилолит» имеет два значения: частное — единичный столбец, шип, зубец и общее — название сложного образования в осадочных породах. В плоском сечении (стенке

* Кузнецов В.Г. Рассказывает образец осадочной породы // Природа. 2017. №4. С.58–60.

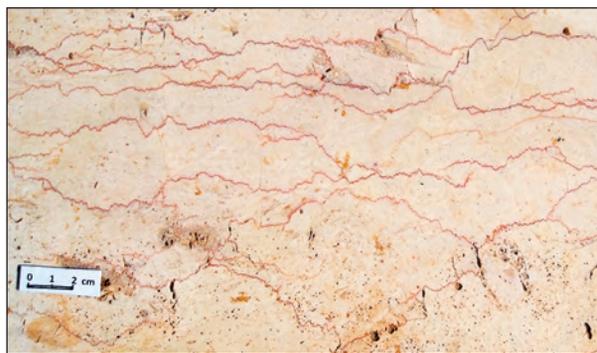


Рис.1. Стилолитовые швы. Слева — в пласте, справа — их более детальное строение.

Здесь и далее фото автора

обнажения, карьера, в керне скважин) стилолитовый шов представляет собой зубчатую, извилистую, нередко сложной конфигурации, границу между двумя слоями, которая обычно зафиксирована тонкой глинистой прослойкой (см. рис.1). В пространстве — это бугристая поверхность.

Существует ряд морфологических классификаций стилолитов. Так, малоамплитудные поверхности, точнее швы, называют сутурами.

При всем существовании многочисленных мнений об образовании стилолитов на сегодняшний день практически общепринято (с незначительными вариациями) представление об их формировании в результате растворения в условиях дифференцированного давления. Идея предложена известным естествоиспытателем Э.К.Фуксом еще в 1894 г.

Для реализации подобного механизма необходимы два условия. Во-первых, возможность фильтрации вод, способных растворять исходный материал и выносить продукты растворения. Поэтому подобные текстуры развиты преимущественно в карбонатных (известняках и доломитах) и сульфатных (гипсах и ангидритах) породах, хотя встречаются и в других. Во-вторых, наличие исходного неровного контакта, который обеспечивает возникновение разного давления в нескольких точках. Такая неровность может быть обусловлена структурными различиями сопряженных участков породы, неровными стенками исходных трещин и др.

Дело в том, что при наличии неровностей давление в зонах выступов (и соответственно ложбин) больше, чем на их склонах. Согласно принципу Рикке, растворение вещества происходит интенсивней там, где выше давление. Таким образом, вещество над выступом (и под ложбиной) будет растворяться быстрее, и первичная, весьма незначительная неровность становится все более контрастной, бугристой. Появляются выступы-шипы, ориентированные как вверх, так и вниз (рис.2). Образующийся при этом нерастворимый глинистый остаток в виде тонкой пленки фиксирует сформировавшуюся стилолитовую поверх-

ность. Распределение глинистой составляющей часто неравномерно: в вершинах зубцов находится пленка глинистого материала, а на их склонах нередко остаются лишь отдельные глинистые примазки и чешуйки. Сама же вертикальная плоскость (границы шипов и зубьев) несет следы перемещения и притирания — это называется зеркалом скольжения.

Стилолиты в основном возникают в твердой, уже сформировавшейся породе, но в ряде случаев они начинают образовываться еще в пластичной, хотя и обезвоженной субстанции.

В большинстве случаев формирование стилолитов определяется действием давления вышележащих отложений, и стилолитовые швы относительно параллельны слоистости. Наблюдаются, однако, и секущие стилолитовые швы (как это видно,

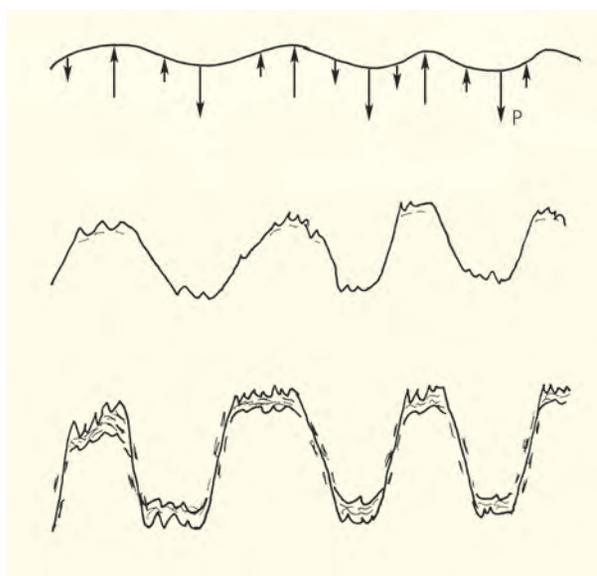


Рис.2. Схема формирования стилолитов. Сверху вниз: распределение давления в зонах выступов и ложбин и на их склонах; появление выступов-шипов, ориентированных как вверх, так и вниз; образование глинистого прослоя, который фиксирует сформировавшуюся стилолитовую поверхность.



Рис.3. Стилолит, секущий слоистость.

например, на рис.3). Дело в том, что при боковых растягивающих напряжениях образуются трещины, секущие слоистость. Затем при последующих сдвигающих «стрессовых» напряжениях, поскольку стенки этих трещин не идеально гладкие (имеются неровности, выступы и впадины), реализуется тот же процесс — и формируются секущие слоистость стилолитовые швы. Ориентировка соответствующих шипов позволяет определить направление подобных напряжений.

От общей картины известняков перейдем к некоторым деталям уже на конкретных образцах иерусалимского камня.

На рис.4 показаны разные стороны одного образца. Поскольку он обособлен, никак не ориен-

тирован, первое, что надо сделать, — как-то определить его положение в пространстве, установить, хотя бы верх и низ. Ключ к решению данной задачи находится на самом образце в виде так называемого геологического уровня, или геопетальной структуры.

На одной стороне образца мы видим раковину пелециподы, частично заполненную осадком. После разложения тела моллюска полость раковины обычно заполняется вмещающим ее илом. В случае неполного заполнения поверхность этого внутрираковинного осадка будет плоской и будет соответствовать горизонту времени осадконакопления. В коренном залегании угол наклона и ориентировка такой поверхности позволяют точно



Рис.4. Фотография образца с трех сторон. Стрелками показаны: раковина — «геологический уровень» (а) и поверхность зеркала скольжения (б).

определить направление и величину последующих тектонических движений. Это особенно важно в случае массивного строения осадочного тела, когда нет первичных плоскостей напластования. Такой метод весьма значим и при изначально наклонном положении слоев, что также не редкость. Учитывая это обстоятельство, мы сориентировали фотографию данного образца.

Отметим, попутно, что поверхность внутрираковинного осадка, равно как и внутренние стенки раковины вне этого заполнения, инкрустированы мелкими кристалликами кальцита, которые образовались из насыщенных карбонатом кальция вод, заполнявших в диагенезе полость.

Верхние и нижние поверхности образца ограничены стилолитовыми поверхностями, т.е. они формировались под нагрузкой вышележащих отложений, а не бокового давления.

Кстати, на правом рисунке отчетливо видны борозды, возникшие в результате трения при перемещении верхней части породы относительно нижней, — зеркало скольжения.

Кроме того, имеются еще две интересные особенности. Во-первых, плотность известняка между стилолитовыми поверхностями неодинакова — она явно больше вблизи поверхностей и, соответственно, ниже верхней и выше нижней. К сожалению, на фотографии это не очень видно, поэтому на рис.5 приведена схематическая зарисовка. Уплотнение справа вверху, непосредственно под шипом, проявилось сильнее и, главное, прослежено глубже в породе.

Во-вторых, раковины вблизи мощного шипа сверху (см. рис.5) имеют ясный наклон, направленный к данному шипу, хотя первичное, прижизненное положение раковин было более или менее горизонтальное. Объяснить это, видимо, можно тем, что образование стилолитов происходило вскоре после накопления осадка, который имел еще пластичную консистенцию. Именно сжатие пластичного осадка обусловило уплотнение прилегающих к стилолитам участков, и одновременно (поскольку оно распределялось по осадку-породе не очень равномерно) давление сверху формирующегося шипа уплотняло осадок и, соответственно, способствовало наклону раковин. Синхронно происходил еще один процесс. Дело в том, что возникающий при образовании стилолитов растворенный карбонатный материал частично выносится из системы, а частично осаждается в пристилолитовой зоне, способствуя ее дополнительному уплотнению.

Имеется еще одно, хотя и косвенное обстоятельство того, что данный процесс происходил на относительно небольшой глубине. Стилолитовая поверхность бурого цвета за счет наличия гидроокислов железа, которые образуются в окислительной обстановке. Наличие же свободного кислорода, как правило, возможно, в сравнительно небольшой толще осадка-породы, ибо глубже он

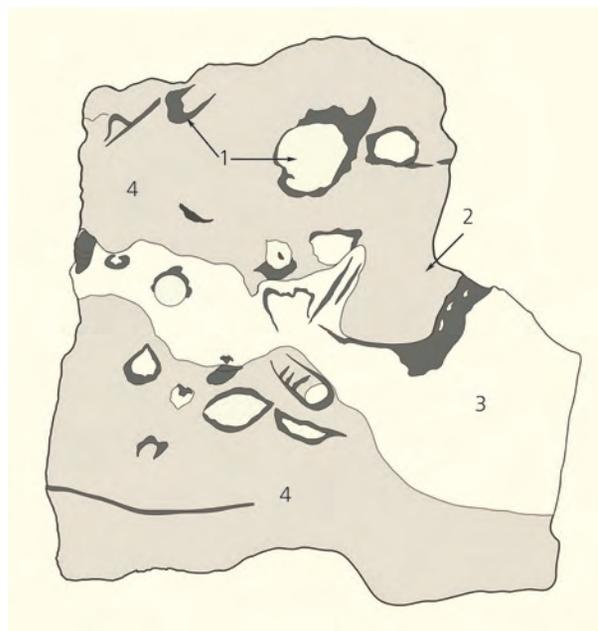


Рис.5. Схематическая зарисовка поверхности образца: 1 — ориентированные наклонно раковины, 2 — отдельный столб стилолита, 3 — исходный первичный известняк, 4 — зоны уплотнения, прилегающие к стилолитовой поверхности.

расходится на окисление уже в верхних горизонтах отложений.

Рассмотрим следующий образец иерусалимского камня. На рис.6 приведена фотография пустотки в плитке внешней облицовки одного из зданий. В светло-сером, почти белом, микрозернистом известняке располагается каверна, размером примерно 2.2–2.5 на 3.0 см грубо овальной формы. Ее внутренняя поверхность выполнена плотно прилегающими друг к другу кристалликами кальцита, вершинки которых образуют своеобразную щеточку толщиной (высотой кристалликов) 1.5–2.5 мм. На левой стороне каверны ее верх и низ соединены своеобразной наклонной перемычкой, которая сложена тем же кальцитом. Нижняя ее часть более толстая — конусообразная, а верхняя более тонкая — цилиндрическая.

Формирование данного образования рисуется примерно в следующем виде. Полость, скорее всего, возникла внутри раковины-двустворки в результате разложения тела самого организма. В пользу этого, кроме формы пустотки, свидетельствует и ребристая внешняя поверхность.

После перекрытия раковины осадком, уже в иле, происходят так называемые диагенетические процессы. Иловая вода (в том числе в полости раковины) пересыщена бикарбонатом кальция $\text{CaH}(\text{CO}_3)_2$. В условиях свободного пространства внутри раковины из нее кристаллизуется кальцит. Принципиальная схема процесса может быть описана следующей реакцией: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$.

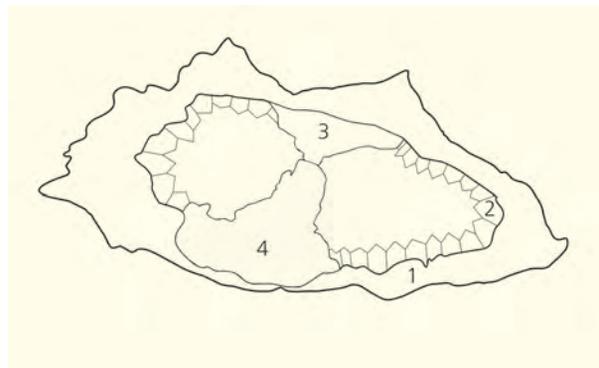


Рис.6. Пустотка в облицовочной плитке иерусалимского камня. Справа — схема ее внутреннего строения: 1 — стенка раковины, 2 — щеточка кристаллов кальцита, инкрустирующая внутреннюю поверхность стенки раковины, 3 — микросталлактит, 4 — микросталагмит.

В процессе диагенеза водонасыщенный полужидкий карбонатный осадок превращается в твердую породу — известняк, а в результате последующих тектонических движений (и прежде всего — прогибаний) порода, включая и инкрустированную изнутри кальцитом пустотку, погружается на определенную глубину и теряет воду. Через какое-то время тектонические движения меняют знак (прогибание сменяется подъемом), порода оказывается практически на поверхности (или близко к ней), где происходят другие процессы. Один из них — просачивание сверху вниз через отложения поверхностных, в том числе метеорных вод. Фильтруясь через известняки, эти воды частично растворяют его (приведенная выше реакция идет в противоположном направлении). Попадая в открытую полость бывшей раковины, вода стекает по ее кровле к наиболее низкой точке, откуда по капельке падает вниз на дно каверны. Растворенный в воде бикарбонат вновь

частично переходит в карбонат, который образует сосульку — тонкий цилиндрический столбик. Оставшийся в капле растворенный материал выпадает в твердую фазу уже внизу. Начинается рост столбика вверх, навстречу сосулке, пока они не соединятся и не образуют единый столбик.

По сути дела, здесь в резко уменьшенном масштабе реализуется процесс образования карстовых пещер со свисающими вниз сталактитами и растущими вверх сталагмитами.

Подобный процесс — формирование микросталлактитов — происходит при падении капель строго вертикально вниз. Последующее, несколько отклоняющееся от вертикального, положение системы сталактит—сталагмит может быть обусловлено дальнейшими тектоническими движениями и вызванным ими наклоном. Но, скорее всего, не строго вертикальное положение нашего сталактита—сталагмита имеет техногенную природу и связано с наклонным обрезанием плитки. ■

Samples Continue to Tell

V.G.Kuznetsov
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (Moscow, Russia)

The article describes some features of Israeli limestone of the Cretaceous age — the Jerusalem stone, which characterize the processes occurring in the rock after its formation. Toothed sinuous lines, fixed by a thin clay gasket are stylolite seams. They arise during the dissolving of the substances under pressure or under the weight of overlying deposits. Stylolite seams of the first type are more or less parallel to the stratification, these of the second type — cut the layering at some angle, which allows to determine the direction of stress. Secondary processes are reviewed on the example of a void in the body of a former shell. Small calcite crystals form from the waters saturated with calcium bicarbonate. They brush-like encrust the inner surfaces of the lower and upper flaps. In the preserved cavity microstalactite and microstalagmite are formed.

Keywords: Limestone, Jerusalem stone, Cretaceous system, stylolites, microstalactite.

Бурпала — минералогический заповедник?

А.М.Портнов

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (Москва, Россия)

Щелочной массив Бурпала расположен в 100 км к северу от пос. Нижнеангарск. Он характеризуется редкометалльной минерализацией, генетически связанной с нефелиновыми сиенитами. Здесь образуются новые комбинации элементов с новыми свойствами в редкостной геологической обстановке. В мире районов с таким богатым минеральным разнообразием не много. Обычно в них ведется добыча полезных ископаемых, они не заповедны. Но на Бурпале руды нет. Это настоящий минералогический заповедник.

Ключевые слова: нефелиновые сиениты, сиенит-пегматиты, фениты, редкометалльная минерализация, новые и редкие минералы.

В 1920 г. декретом В.И.Ленина и при содействии академика А.Е.Ферсмана Ильменские горы около г.Миасса на Южном Урале были объявлены минералогическим заповедником. Первый в мире специализированный заповедник создали не случайно. Еще в 1825 г. немецкий геолог И.Н.Менге сказал после посещения Ильмен: «Кажется, минералы всего света собраны в этом удивительном хребте». Действительно, здесь насчитывается до 270 минералов. Из них 16 открыто в Ильменах.

В мире районов с таким минеральным разнообразием не много. Обычно в них ведется добыча полезных ископаемых, они не заповедны. В России к ним относятся Кольский п-ов, Изумрудные копи Урала, Ковдорское апатит-железо-бадделеитовое месторождение в Карелии и многие другие. В Гренландии обилием минералов славится щелочной массив Иллимаусак, в Норвегии — нефелиновые сиенит-пегматиты Лангезунфиорда. В США режим национального парка установлен для Йеллоустонского супервулкана и огромной Мамонтовой пещеры. Случилось так, что эти минералогические аномалии заинтересовали меня еще в школе.

Послевоенные годы для моего поколения были голодными, холодными, нищенскими. Страна возвращалась из разрухи, но не к мирной жизни. СССР надрывался под грузом чудовищной милитаризации, связанной с холодной войной и срочным созданием атомной бомбы. Единственной радостью были книги из большой школьной библиотеки — рваные, зачитанные, часто дореволюционные, с ъ в конце слов.

Тяга к природе, книгам и камням проявилась у меня рано: еще дошкольником отыскивал в куцах гранитного щебня сверкающие на солнце ро-

зовые кристаллы полевого шпата и хранил их. Во втором классе зачитывался «Следами на камне» И.Савельева и мечтал стать палеонтологом. В школе помогал библиотекарше вести учет книг, кодировать их, расставлять, клеить «кармашки», а за это получал право читать что хочу.

Цензура против Ферсмана

В библиотеку стали приходиться грозные предписания, по которым с полок снимались книги А.Ахматовой, А.Грина, М.Зощенко... Стопки книг росли. Оказалось, что детям их читать нельзя. Их сожгут. Среди обреченных книг я заметил корешок с необычным названием «Занимательная минералогия», автор — академик А.Е.Ферсман. Почти бессознательно я спрятал ее под курточку и утащил домой. Рассказы о камнях буквально потрясли, и уже в четвертом классе я знал, что буду только геологом.

Почему цензура уничтожила тираж детской «Занимательной минералогии», изданной в 1935 году? Причиной стала глава «На радиевом руднике», в которой говорилось о маленьком урановом месторождении Тюя-Муюн в Средней Азии, найденном и описанном еще до революции. Я тогда не понимал, что слово «уран» после 1945 г. даже в детских книжках стало для цензуры абсолютно секретным. Уран из №92 в таблице Д.И.Менделеева превратился в элемент №1 геологических секретов. Произносить это слово в экспедициях запрещалось: вдруг рабочие или посторонние услышат! Страшная обстановка хранения бессмысленных тайн государственного значения, особенно в геологии, сохранялась в СССР десятки лет, вплоть до 1990 г.

Свободное время я проводил в Московском геологоразведочном институте (МГРИ) или в Минера-



Книга А.Е.Ферсмана «Занимательная минералогия» была запрещена цензурой.

Здесь и далее фото автора

логическом музее АН СССР, где глаз не мог оторвать от цветных камней. И еще меня привлекал шестигранный прозрачный еремеевит — борат алюминия, найденный в гранитном щебне на горе Сокутуй, около г.Нерчинска. В единственном месте на Земле. Почему возникают такие редкости?.. Одинокий минерал среди тысяч на планете. Вот бы найти такой уникум! Думаю, что в генотипе человека существует еще неоткрытый ген геолога. Возможно, в меня вселилась душа древнего рудознатца.

Противоречия убирают проблемы

Окончив МГРИ, я в группе Центрального научно-исследовательского горно-разведочного института (ЦНИГРИ) проводил геологическое картирование Бодайбинского р-на, известного своими золотыми россыпями. Я получил карту района гольца Лонгдор — высшей точки Патомского нагорья. К осени эта топографическая карта должна была стать геологической. Съёмка показала, что здесь в докембрийские сланцы внедрялись более молодые граниты. Сланцы превращались в гнейсы, а затем в граниты. Карта наглядно намекала: с гранитами, пробившими протерозойские толщи, связаны (еще не найденные в то время) коренные месторождения золота и золотые россыпи Ленского р-на. (Их разработка ведется до сих пор.)

Но моя начальница Т.П.Жаднова, сибирячка родом из Иркутска, авторитетный геолог, считала граниты Патомы древним фундаментом Сибири, на котором в докембрийском море отложились черные сланцы. В ЦНИГРИ (бывшем НИГРИЗолото, организованном в 1935 г. ГПУ—НКВД для работ заключенных на золотых россыпях СССР) геологических разногласий не допускалось: несогласный с начальством уходил. Однако дальнейшие исследования подтвердили, что с внедрением гранитов действительно связаны гигантские коренные месторождения золота в черных сланцах (Сухой Лог и др.).

Геокартирование — лучшая профессиональная школа. Но я вспомнил свое увлечение минералогией. Счастливый случай помог поступить в аспирантуру Всесоюзного института минерального сырья (ВИМС). Меня пригласил замечательный человек — минералог и геохимик А.И.Гинзбург, установивший в своем отделе редких металлов настоящую научную и творческую атмосферу.

Школа минералогии профессора Гинзбурга

Гинзбург хотел изучить в горах Северного Прибайкалья хребет под названием Бурпала. Он обратил внимание, что ленинградский геолог А.Я.Жидков открыл в 1961 г. в Прибайкалье ряд щелочных массивов и установил на Бурпале (в одном из них) редкометалльные минералы. Вместо простого перовскита CaTiO_3 (на основе которого в Китае сейчас создают самые эффективные солнечные батареи с КПД более 22%) здесь возник его структурный аналог, редкий минерал лопарит $\text{Na}(\text{Ce}, \text{La} \dots)(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_6$, добываемый и сейчас в Ловозерских горах на Кольском п-ове. Вместо апатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ кристаллизовался редкий силикофосфат бритолит, в котором в той же структуре Ca замещается на Th, Ce, La, а P — на Si. Такие изменения возможны только в щелочной среде, богатой натрием и редкими элементами.

Гинзбург направил на Байкал аэрогеофизиков, которые с воздуха установили сильные ториевые аномалии, а партия бурятских геологов, базировавшаяся в пос.Нижнеангарске, обнаружила в аномалиях много тория, циркония, ниобия, редкоземельных элементов, урана. Набор элементов вполне соответствовал «секретной» тематике ВИМСа.

Крупных щелочных массивов на Земле очень мало, все они богаты редкими элементами. И вот в Северном Прибайкалье обнаружена новая провинция. Щелочная среда минералообразования в природе встречается не часто, но уж если она возникает, то элементы начинают проявлять амфотерные свойства и собираются в совершенно необычные комбинации, которые создают диковинные минералы.

Гинзбург посетил Бурпалу, оценил зоны высокой радиоактивности, увидел незнакомые мине-

ралы и решил послать меня с ними разбираться. Слух о щелочных массивах на Байкале уже прошел по Москве, и, когда я собирался в поле, ко мне пришел А.П.Хомяков, сотрудник Института минералогии и геохимии редких элементов (ИМГРЭ), по направленности работ конкурировавшего с ВИМСом.

Хомяков сказал, что у них готовится на Бурпалу экспедиция с известными специалистами по щелочным породам Е.И.Семеновым и В.И.Герасимовским. Их будут сопровождать минералоги А.Ф.Ефимов, А.А.Ганзеев и сам Хомяков (который впоследствии стал одним из мировых рекорсменов по открытию новых минералов — он нашел их более сотни!).

Хомяков считал, что мне тягаться с их коллективом невозможно. Он предложил на выбор или часть массива, или часть рудных зон, а все остальное останется за ИМГРЭ. Сейчас бы я ответил, что массив не приватизирован. Это не золотonosный участок на Аляске. Но в то время мысль, что геолог-поисковик в тайге может быть ограничен в пространстве, казалась мне дикой. Я сказал: «Земля у нас принадлежит всем. Работай, где хочешь, а я буду ходить, где мне интересно».

Счастливые случайности

Я прилетел в Улан-Удэ вечером — в то время, когда в Бурятии азиатская духота сменилась ливнем. Самолет на север, в пос. Нижнеангарск, вылетал утром, ночевать было негде. Шел дождь, гудел переполненный аэропорт, шумел забитый людьми вокзал. Темнела лишь пустая гостиница «Интурист», куда по советскому паспорту вход был воспрещен. Мне пришлось бродить по центральной площади бурятской столицы, прячась от водных потоков в подъездах домов, где на чужака подозрительно косились жильцы.

Над площадью высилась грандиозная гранитная голова В.И.Ленина. Он внимательно смотрел на подготовленный к сносу старинный дом, сложенный из мочуших лиственниц, с крест-накрест заколоченными дверями и закрытыми ставнями. Следуя взгляду вождя, я подошел к дому, отодрал доски, закрыл дверь на крюк. Было сухо, тепло, темно. Сделав несколько шагов, я провалился в глубокий подпол. Вокруг было битое стекло, вверх, как копы, торчали ножки столов и кроватей. Подвал был так глубок, что пришлось громоздить стол на кровать. Выбрался наверх, лег на пол и крепко уснул.

Утром под крылом Ан-2 заблестело огромное корыто Байкала, на севере вставал Нижнеангарск, а за ним горы с загадочными минералами... Ленин указал мне верный путь. Но если бы я свалился на острые ножки столов и кроватей, с минералогией Бурпалы разбирались бы только геологи ИМГРЭ.

Вертолет должен был доставить меня и моего напарника в верховья рек Чуи, Чаи и Майгунды. Случайный напарник, оформленный лаборантом ВИМСа, прежде трудился надсмотрщиком в концлагере, его сократили при массовом освобождении заключенных в хрущевскую эпоху. Через час мы сели на склон хребта Бурпала. По договоренности с главным геологом Нижнеангарской экспедиции вертолет должен был прилететь за нами через два месяца, поэтому продуктов набрали с избытком.

Минералы Бурпалы действительно оказались многочисленными и необычными. Чтобы разобраться в этом хаосе комбинаций редких элементов, каждому индивидуально минералу давали предварительное название и номер. Количество номеров быстро приблизилось к сотне. Точная диагностика планировалась в Москве после оптического, рентгеновского и химического анализов. Стало ясно, что редкометалльные минералы концентрировались, во-первых, в магматических породах (нефелиновых сиенитах), во-вторых, в крупнокристаллических приконтактовых полевошпатовых жилах (сиенит-пегматитах) и, наконец, в пропитанных натриевыми щелочными растворами известковистых песчаниках нижнего палеозоя (фенитах) и в гидротермальных жилах.

Цирконосиликатная специализация минералов Бурпалы

Нефелиновые сиениты 287 млн лет назад внедрились здесь в древние песчаные осадки нижнего палеозоя. Трещины среди нефелиновых сиенитов заполнили жилы с красновато-бурым бритоцитом $(\text{Ce,Ca,Th})_5(\text{P,Si})\text{O}_4 \cdot 3(\text{F,OH})$. Полевошпатовые жилы сиенит-пегматитов расположились в зоне контакта сиенитов с измененными песчано-сланцевыми осадочными породами. В них чернели сдвоенные кубики лопарита.

Загадкой для местных геологов стали пробы с высоким содержанием циркония и редкоземельных элементов, но смущало отсутствие знакомого минерала циркона (ZrSiO_4). В Ловозере и Хибинах огромное количество циркония собрано в красном силикате эвдиалите, известном как «лопарская кровь». Но здесь главным минералом циркония оказались пластинки, похожие на полевой шпат. Только в Москве удалось установить, что это редкий цирконосиликат катаплеит $\text{Na}_2\text{ZrSi}_5\text{O}_{19} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. В пегматитах он красный, в альбититах — кремовый, в фенитах — белый.

В пегматитах нашлись и кристаллы того же минерала желтого цвета с аналогичными рентгеновскими параметрами, но без натрия. Стало ясно, что это новый минерал, кальциевый аналог катаплеита $\text{CaZrSi}_5\text{O}_{19} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Смущала необычная схема изоморфизма: $2\text{Na} \rightarrow \text{Ca} + \square$ (вакансия). В крис-



Лопарит — руда ниобия и редкоземельных элементов в Ловозере (Кольский п-ов).

таллической решетке на месте катиона оказалась вакансия! Снижение симметрии свидетельствовало о том, что в структуре минерала присутствует «упорядоченная пустота». Электронография и ИК-спектроскопия подтвердили этот странный факт [1], указывая на «несимметричность» изоморфизма с вакансиями.

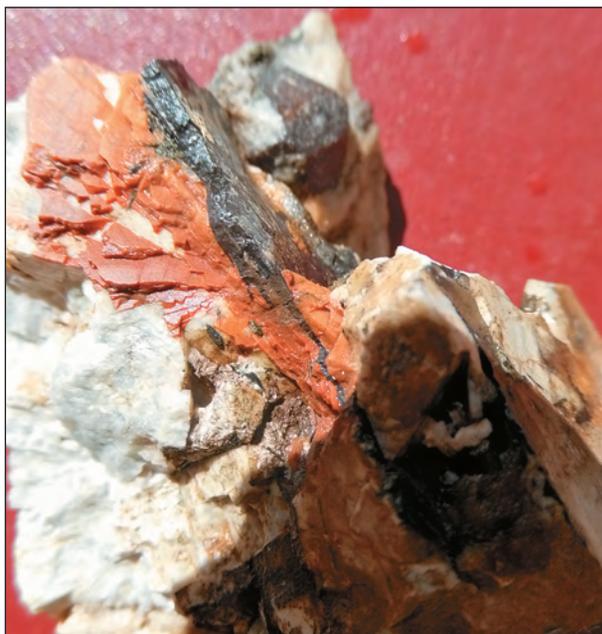
Сейчас к вакансиям в кристаллах уже привыкли. Их аномальное обилие в кристаллах позволяет сделать прорыв в информационных нанотехнологиях. Однако полвека назад их высокая концентрация казалась абсурдной. Профессор Гинзбург написал мне в отзыве на статью: «Глупости... Такого изоморфизма нет!». Пришлось обсудить полу-



Кремовый катаплеит в альбитовой жиле с лейкофаном. Натуральная величина. Бурпала.

ченные данные с выдающимся кристаллографом академиком Н.В.Беловым. Белов усмехнулся: «Природа умнее науки» — и представил статью о минерале, впоследствии названном кальциокатаплеитом, в «Доклады АН СССР».

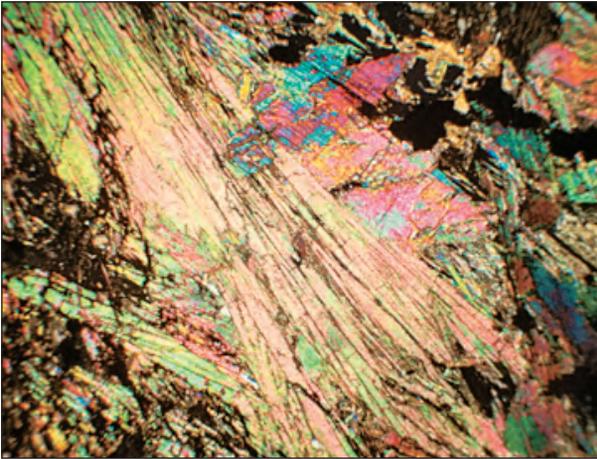
Игольчатый коричнево-желтый цирконосиликат $\text{Na}_4\text{Mn}(\text{Zr,Ti})(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{F,OH})$ в зонах эгиринизации пегматитов оказался редчайшим сейдозеритом, открытым ранее Семеновым только в Ловозере. Здесь сейдозерит отличался высоким содержанием кальция вместо марганца. Это была вторая находка в мире минерала с сейдозеритовой структурой и новым составом, из которого получался кальциевый сейдозерит.



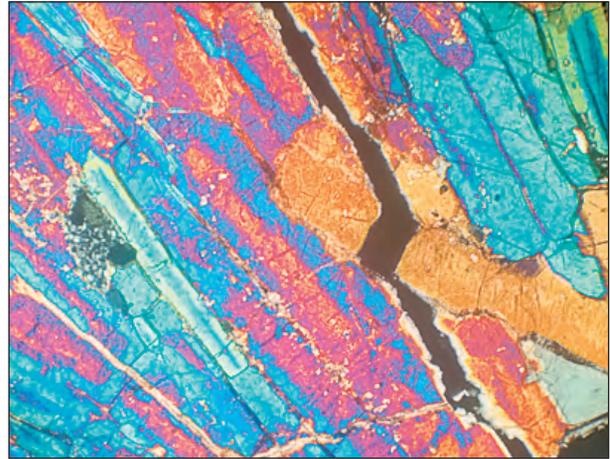
Красный катаплеит из сиенит-пегматитов. Натуральная величина. Бурпала.



Кальциокатаплеит из сиенит-пегматитов. Натуральная величина. Бурпала.



Сейдозерит под микроскопом. Николи скрещены. Увеличение 50 раз. Бурпала.



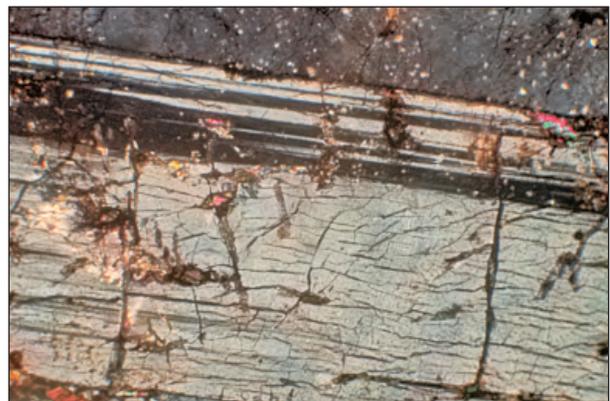
Натриевый катаплеит под микроскопом. Николи скрещены. Увеличение 50 раз. Бурпала.

В сиенит-пегматитах мне попался и редчайший власовит $\text{Na}_2\text{Zr}(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{O}$, найденный тоже только в Ловозере минералогом ИМГРЭ Р.П.Тихоненковой и названный в честь первого руководителя института К.И.Власова. Список цирконосиликатов не кончался: нефелинизация сиенитов, обилие натрия в постмагматических растворах сопровождалась образованием нефелина и светло-желтого ловенита $\text{Na}_2\text{CaZr}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{F},\text{OH})$ — кальциевой ромбической разновидности, или, точнее, нового минерала. Я опубликовал все данные в «Докладах АН СССР» в 1966 г. и уточнил их в 1975 [3]. Похожий минерал, но с железом, марганцем и титаном ранее нашли в нефелинитах Лангезундфиорда (Норвегия). Мне казалось, что чистый ловенит (без упорядоченных примесей) должен иметь более высокую симметрию — не моноклинную, а ромбическую. Расчеты показывали, что ромбическая симметрия предпочтительнее. В альбититах ромбический ловенит неустойчив, он замещался сейдозеритом и исчезал. Хомяков молчал много лет, но в 1990 г. большая международная компания (Хомяков — третий автор) открыла в альбититах (?) моноклинный минерал бурпалит. По химическому составу и рентгенограмме (дебаеграмме) он был аналогичен ромбическому ловениту. Я узнал об этом «открытии» с большим опозданием.

В пегматитах Бурпалы были также обнаружены темно-красный богатый титаном и марганцем титаноловенит, «хибинский» цирконосиликат ринколит с 28% редкоземельных элементов, а затем и эвдиалит (лопарская кровь) — типичный минерал Хибин, Ловозера и массива Илимауссак в Гренландии, но с марганцем [4]. Циркониевые минералы содержали примесь гафния [5] и редкоземельных элементов (от 1 до 6%), с избирательным накоплением иттрия и иттербия, создавая вместе с титано-ниобосиликатами и силико-фосфатами высокий (но «безрудный») фон редкоземельных металлов.



Ортоловенит с нефелином. Натуральная величина. Бурпала.



Двойники «ортоловенита» под микроскопом. Николи скрещены. Увеличение 50. Бурпала.

Сложные оттенки в черных титанониобатах

Среди пластинчатых кристаллов обычного черного ильменита (FeTiO_3) в пегматитах выделялись темно-красные кристаллы, которые оказались марганцевым аналогом ильменита — пиррофанитом (MnTiO_3), найденным впервые в Советском Союзе, в Ловозере, Семеновым. На Бурпале состоялась его вторая находка. При воздействии натриевых растворов ильменит и пиррофанит в пегматитах исчезали, возникал натриевый плагиоклаз альбит, бурые кристаллы брукита TiO_2 и желтые цериевые минералы — монацит и бастнезит.

Эта ассоциация сопровождалась черно-зелеными (на просвет под микроскопом) кристаллами необычной формы, оказавшимися новым минералом. С большим трудом я отбирал мелкие зерна на химический анализ. Конечно, работа адская, но химик Т.И.Столярова сделала анализ из навески в 70 мг. Это был подвиг, учитывая сложный состав $(\text{Zn}, \text{Mn}, \text{Fe})\text{Ti}_3\text{O}_7$. Впоследствии проверка на микрозонде подтвердила мастерство аналитика.

Сейчас обилие открытий новых минералов связано с внедрением микрозонда, где для химического анализа достаточно зернышка размером в десяток микрометров. Полвека назад для анализа «мокрым методом» — с растворением минерала — требовалось 2 г чистого вещества, отобранного под биноклем. Это была тяжелая однообразная работа. В ИМГРЭ и ВИМСе ее облегчали аналитики экстра-класса, делавшие анализ из навески 100 мг.

Эти мастера, исключительно женщины, соперничали с микрозондом, противопоставляя зару-

бежной технике качества тульского «левши»: опыт, знание, интуицию, точность, аккуратность. Они пользовались заслуженной славой. Микрозондовые анализы минералов Бурпалы показали полное сходство с анализами, проведенными «мокрым» методом. Я помню тех замечательных тружениц, всегда включал их в соавторы и бесконечно им благодарен.

Итак, на Бурпале появился еще один новый минерал. Как его назвать? Мне настойчиво советовали «обеспечить бессмертие» министру геологии СССР, который протезировал ВИМСу. После гибели министра его имя увековечил Хомяков. Получился сидоренкит — минерал из Ловозера.

В то время академик Л.Д.Ландау, один из создателей водородной бомбы, приходил в себя после тяжелой автокатастрофы. Я поехал к нему домой и попросил разрешения назвать минерал его именем. Ландау, худой и скорее длинный, чем высокий, сказал: «Не возражаю, но ведь я ничего не понимаю в минералогии». Я ответил, что тоже ничего не понимаю в его классическом многотомном «Курсе физики», но название минерала получится эффективным. На том и порешили.

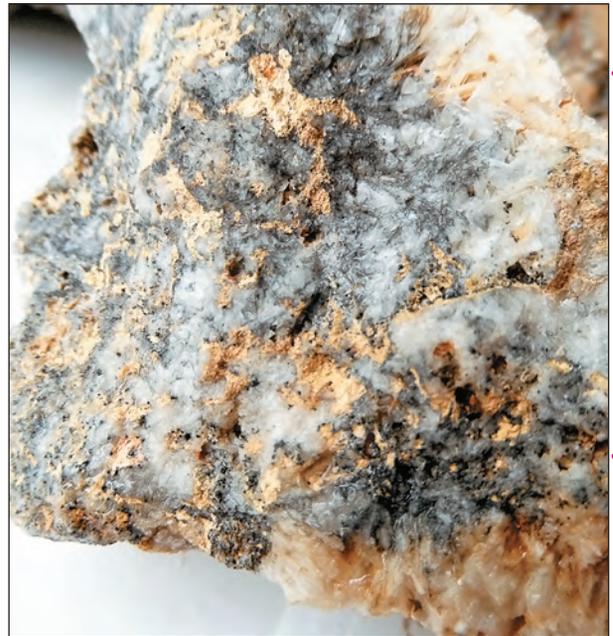
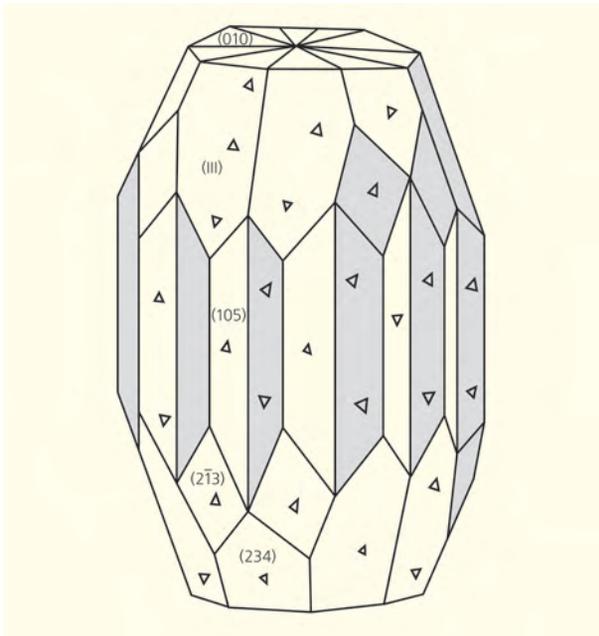
Форма кристаллов ландауита действительно уникальна. Она напоминает бумажный китайский фонарик. Оказалось, что это «баумхауэровские двойники», которые были теоретически предсказаны в 1899 г. немецким кристаллографом Г.Баумхауэром. Таких двойников минералогия еще не знала. Вместе с доцентом МГРИ Е.С.Ильменевым мы доказали, что сдвойникованные шестерники существовали не только в богатом воображении Баумхауэра [6].

В ландауите я нашел включения красного минерала с неизвестной рентгенограммой. В ВИМСе уже был микрозонд, и состав мы получили очень скоро: $\text{Y}_4(\text{Zn}, \text{Mn})(\text{Ti}, \text{Nb})_6\text{O}_{18}\text{F}_4$. Комиссия по новым минералам СССР признала минерал новым, но председатель Международной комиссии, всезнающий господин М.Като из Японии, сообщил мне, что немного раньше похожий минерал нашли в пегматитах Колорадо (США) и назвали муратаитом. Удивительно, конечно, что на разных концах планеты почти одновременно открывают однотипные редчайшие соединения... Но еще больше меня поразило, что американский минералог Дж.Адамс, открывший муратаит, совершенно точно предположил, что рядом с ним должен быть ландауит [7]!

В то время аспирантка Белова расшифровала структуру ландауита. Она уже защитила работу, но Белов на ее статье, переданной мне, написал: «Не очень верю». Скорее всего, состав ландауита был «подогнан» к рентгеновским данным муратаита. В дальнейшем австралийские кристаллографы получили в Минералогическом музее АН СССР образец ландауита и выявили совсем другую структуру, похожую на структуры титанового минерала кричтонита или давидита.



Пиррофанит с содалитом (белый). Натуральная величина. Бурпала.



Форма кристалла ландауита в виде Баумхауэровского шестерника двойников и ландауит (черный) с бастнезитом (желтый) в олигоклазе. Натуральная величина. Бурпала.

Казалось бы, кому может понадобиться такой уникал, как муратаит? Но мне стали звонить из Института геологии, геохимии, петрографии и минералогии рудных месторождений (ИГЕМ) с просьбой... дать муратаит для исследования. Оказалось, что группа под руководством академика Н.П.Лаверова занимается синтезом этого минерала. У муратаита оказалось уникальное свойство стойко выдерживать все типы излучения. Например, циркон или перрьерит метамиктны (т.е. неустойчивы и легко превращаются в подобие стекла), а муратаит так стабилен, что из него можно изготавливать надежные емкости для космических энергоблоков с радиоактивной начинкой.

В альбитизированных пегматитах Бурпалы мы обнаружили и типичный минерал Ловозера — натрий-титановый силикат рамзаит. Там встречались пироклоры и ниобаты, похожие на уральские. Их изучали минералоги Ганзеев и Ефимов. Они нашли богатый свинцом плюмбобетафит — минерал из группы пироклора и открыли Mn-бафертисит — новый силикат бария и титана, где вместо железа находится марганец. Мы с Ганзеевым описали геохимию редкоземельных элементов в минералах и породах щелочного массива [8].

На Бурпале оказались и бериллиевые минералы. В пегматитах, альбититах и флюоритовых жилах я нашел силикат натрия и бериллия — лейкофан, а Семенов — фтор-борат бериллия гамбергит, названный в честь шведского минералога А.Гамберга, который в 1890 г. в шведских марганцевых рудах открыл найденный мною на Бурпале пирофанит. Но эти хрупкие и редкие минералы ничего не внесли в промышленную ценность массива.

Вдоль контакта сиенитов протягивались фени-ты — продукты воздействия щелочных растворов на осадочные породы. В песчанисто-карбонатных сланцах росли кристаллы нефелина, калиевого полевого шпата, альбита, эгирина, щелочной роговой обманки [9]. Действие щелочей привело к тому, что осадочные породы превратились в нефелиновые сиениты [10]. Я вспоминал свою начальницу из ЦНИГРИ, не признававшую гранитизацию протерозойских сланцев на Патоме. Здесь воздействие глубинных щелочей проявилось гораздо сильнее. Это была уже не гранитизация, а сиенитизация песчаных осадков с привнесением натрия, калия, алюминия, тория, циркония, группы редкоземельных элементов, ниобия, бериллия, урана, бора, цезия.

В фенитах вместе с альбитом и нефелином кристаллизовался редчайший меланоцерит — минерал-химера со структурой апатита, в которую вместо кальция входили натрий, церий и торий, вместо фосфора — кремний, а вместо OH-группы — бор. Этот минерал открыли в Норвегии, в Лангезундфиорде, а вторично он проявился на Бурпале. В зонах с обилием щелочного пироксена эгирина я нашел другую редкость — перрьерит — титаносиликат церия, лантана и других редкоземельных элементов. Перрьерит открыли в песках р.Неттуно в Италии. На Бурпале он тоже встретился второй раз в мире.

Структура итальянских кристаллов разрушилась в результате излучения тория, и рентгенограмма не получалась. Некоторые образцы перрьерита с Бурпалы почти не содержали тория и потому давали четкую дебаеграмму (без прокаливания,



Меланоцерит в фените. Натуральная величина. Бурпала.

необходимого для восстановления структуры). Это была удача! Значит, такая структура действительно существует в природе, а не создается нагревом в печи. Нашелся новый по составу стронциевый перрьерит [11] с содержанием 8% SrO, 5% ZrO₂ и 2.5% ThO₂. В фенитах и пегматитах был обнаружен и сходный по составу чевкинит — типичный минерал Ильменских гор.

Неожиданно в слюдоподобном астрофиллите фенитов с нефелином было определено так много цезия (до 1.5%), что стало казаться: этот редкий элемент (известный ранее лишь в гранитных пегматитах) здесь можно добывать. В сиенит-пегматитах куплетскит-астрофиллит содержал до 15% MnO. В нем также было много цезия.



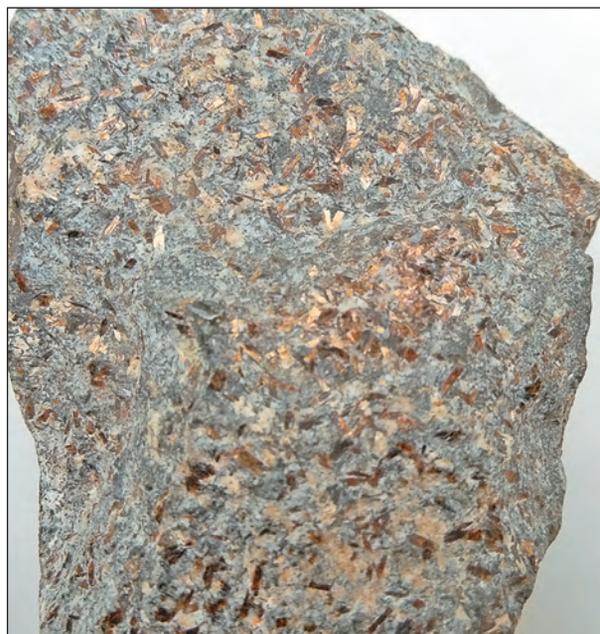
Стронциевый перрьерит из фенита, с эгирином. Натуральная величина. Бурпала.

Итоги и мистика

Два месяца пролетели, но вертолет не прилетал, и у меня было время задуматься. Чем интересен массив Бурпала, для чего геологи изучают в далеких таежных горах его уникальную минералогию? Чтобы написать статьи о редких минералах? Чтобы добавить в толстые справочники несколько новых названий и страниц? Чтобы к сотням тысяч музейных образцов положить еще десяток с новой точки на глобусе?

А кто-нибудь обязательно напишет, что Бурпала — новый тип месторождения редких металлов... И ошибется, потому что Бурпала — не месторождение. Руды в современном понимании здесь нет. Но это новый тип минерализации редких элементов, генетически связанный с нефелиновыми сиенитами [10]. Новые комбинации элементов с новыми свойствами в редкостной геологической обстановке.

В далеком 1966 г. цензура запрещала географическую привязку проявлений с редкими металлами. Поэтому в статье в журнале «Геология рудных месторождений» нет ни слова, о том, где это все находится [10]. В то время это была секретная зона высокой концентрации тория, циркония, редкоземельных элементов, ниобия, цезия, бериллия, урана, которые рассеивались в редких минералах.



Цезийсодержащий астрофиллит в фените. Натуральная величина. Бурпала.

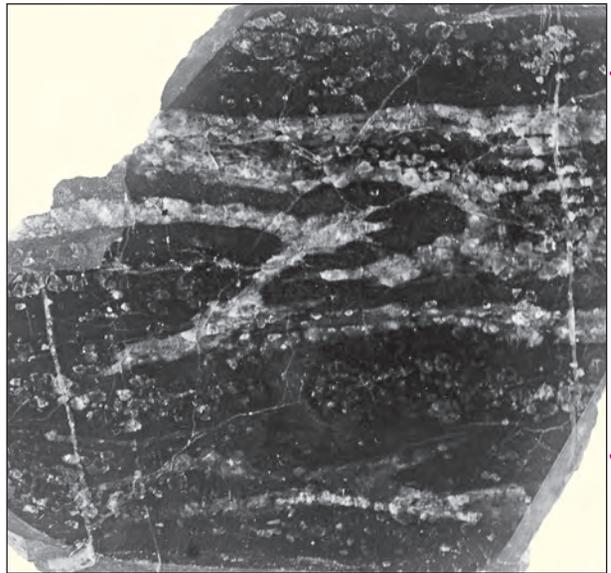
Никто не станет добывать редкие элементы из бритолита, меланоцерита, ловенита, сейдозерита, власовита, лейкофана, гамбергита, цезиевого астрофиллита. Неслучайно геологи-разведчики не могли понять, с какой рудой они имеют дело. Редкие элементы есть, а руды нет. Единственными рудными минералами казались бритолит и особенно лопарит. Последний в Ловозерских горах на Кольском п-ове образует рудный пласт мощностью 0,5 м, протягивающийся на километры. Здесь же лопариты представляли собой музейные образцы.

Но на Бурпале проявились следствия удивительных геологических процессов: жилы гидротермального массивного бритолита в нефелиновых сиенитах, зоны ассимиляции кальция из осадочных пород, сиенитизация и нефелинизация осадочных толщ, набор редких минералов, встречающийся только в нескольких точках на планете, новые минералы с нужными свойствами, новые типы изоморфизма, новые типы двойников. Можно сравнивать Бурпалу с Ловозером, Хибинами, Ильменами, массивом Иллимаусак в Гренландии, Лангезундфиордом в Норвегии, сиенит-пегматитами в Колорадо. Каждый геолог знает эти названия уникальных минералогических объектов. Теперь к ним прибавилась Бурпала. Здесь уже насчитывается более 70 редких минералов, открываются новые, хотя изучение массива только начинается.

Когда продукты в тайге заканчиваются, думается плохо. Мы ждали две недели. Вертолет не летел, мой напарник считал себя жертвой науки и бессмысленно перебирал оставшиеся банки с консервами. Через горы до Нижнеангарска четыре дня ходу, а с моим помощником — все пять. Снег спускался с вершин гольцов все ниже. Погода стояла отличная, но желтые иглы лиственниц на фоне синего неба уже не радовали. Что делать? Уходить... А вещи, камни, трудный путь по р.Кичере?

Наконец я понял. Пора! Иначе не дойдем. Забираем продукты, пьем чай и уходим. Сложили вещи. И вдруг вечером неожиданно для самого себя я сказал: «Стоп. Завтра точно будет вертолет. Завтрак не готовим, палатку утром снимаем. Ждем. Будем ужинать в Нижнеангарске!». Моя уверенность подействовала.

Утром сели слушать тишину. От нее звенело в ушах. Наступило время обеда, но вертолета не было. Я не понимал причину своей странной уверенности в том, что вертолет обязательно прилетит! Вечерело, солнце валилось за гору. Вертолеты летают лишь при солнце. Выходит, я — жертва самообмана, приняв желаемое за действительное? Охранник, матерясь, взял ведро и пошел за водой. Я разжег костер, вскипятил воду, высыпал в ведро остатки гречки. Темнело. Все было ясно. И вдруг... из-за горного склона на бреющем полете черным силуэтом выполз вертолет, рухнул перед палаткой



Нефелинизация (белое) роговиков и фенитов. Натуральная величина. Бурпала.

и пилот заорал, заглушая шум винтов: «Три минуты на погрузку!».

Вечером в Нижнеангарске я пошел к главному геологу. Меня интересовало, почему нас не вывозили и почему вывезли именно сегодня. Геолог ответил: «Извини, но так получилось. Я улелет в Улан-Удэ, потом в Иркутск. Перед отъездом сказал, чтобы тебя вывезли в срок. Но пошли санрейсы с больными, потом голодные партии, потом... про тебя забыли, ты ведь московский, не наш... Я прилетел в Нижнеангарск вчера вечером и первым рейсом приказал вывезти тебя! Но вертолет с утра пошел в дальние партии, где продукты закончились и все сидели голодные и злые. Тебя прихватили обратным ходом. Заметил, что люди в вертолете лыка не вязали? То-то... Мы им пару ящиков водки отправили, чтобы подобрали. Вот они с голодухи и перепились». Сезон закончился удачно. Я без рации услышал начальственный приказ за сотню километров.

Трехлетний период работы на Бурпале закончился защитой кандидатской диссертации, и я вспомнил, что дело геолога — поиск не только минералов, но и месторождений. И перешел в ВИМСовскую группу аэрогаммаспектрометрического поиска руд по раздельному определению К, Th, U. Этот метод сменил поиск только урановых объектов по общему гамма-излучению земной поверхности [12].

Эпоха поиска элемента №1 заканчивалась. Аномалии гамма-излучения уже позволили очертить с воздуха огромные месторождения урана в Казахстане, Узбекистане, Забайкалье. Мне предстояло научиться искать по гамма-излучению калия и тория месторождения золота, серебра, молибдена, висмута, меди. ■

Литература / Reference

- Времена и люди*
1. *Портнов А.М., Дубинчук В.Т., Солнцева Л.С.* Несимметричный изоморфизм и трехмерная политипия в минералах группы катаплита. ДАН СССР. 1972; 202(2): 430–433. [*Portnov A.M., Dubinchuk V.T., Solntseva L.S.* Unsymmetric isomorphism and three-dimensional polytype in the minerals of the cataplite group. DAN SSSR. 1972; 202(2): 430–433. (In Russ.)]
 2. *Портнов А.М., Нечаева Е.А.* Нефелинизация в приконтактовых зонах щелочного массива Бурпала. Изв. АН СССР. Серия геол. 1967; 5: 71–76. [*Portnov A.M., Nechaeva E.A.* Nephelinization in the contact zones of the alkaline Burpala massif. Izv. AN SSSR. Series geol. 1967; 5: 71–76. (In Russ.)]
 3. *Портнов А.М., Сидоренко Г.С.* Новые данные о ромбическом ловените. Труды мин. муз. им. А.Е.Ферсмана. 1975; 24: 203–206. [*Portnov A.M., Sidorenko G.S.* New data on rhombic lovienite. Proceedings of A.E.Fersman Mineralogical museum. 1975; 24: 203–206. (In Russ.)]
 4. *Портнов А.М.* Эвдиалиты массива Бурпала и особенности распределения в них редкоземельных элементов. Геохимия. 1964; 9: 961–962. [*Portnov A.M.* Eudialytes of the Burpala massif and features of the distribution of rare-earth elements in them. Geochemistry. 1964; 9: 961–962. (In Russ.)]
 5. *Портнов А.М.* О циркониево-гафниевом соотношении в минералах массива Бурпала. Геохимия. 1965; 3: 368–371. [*Portnov A.M.* On the zirconium-hafnium ratio in the minerals of the Burpala massif. Geochemistry. 1965; 3: 368–371. (In Russ.)]
 6. *Ильменев Е.С., Портнов А.М., Бочков С.В.* Новый тип баумхауэровских двойников в кристаллах ландауита. ДАН СССР. 1972; 202(6): 1321–1323. [*Ilmenev E.S., Portnov A.M., Bockov S.V.* A new type of Baumhauer twin in the Landauite crystals. DAN SSSR. 1972; 202(6): 1321–1323. (In Russ.)]
 7. *Портнов А.М., Дубакина Л.С., Кривоконева Г.К.* Муратаит в предсказанной ассоциации с ландауитом. ДАН СССР. 1981; 261(3): 741–744. [*Portnov A.M., Dubakina L.S., Krivokoneva G.K.* Muratait in the predicted association with Landauite. DAN SSSR. 1981; 261(3): 741–744. (In Russ.)]
 8. *Портнов А.М., Ганзеев А.А., Бурсук К.В.* К геохимии редкоземельных элементов массива Бурпала. ДАН СССР. 1967; 174(5): 1188–1190. [*Portnov A.M., Ganzeev A.A., Bursuk K.V.* To the geochemistry of rare-earth elements of the Burpala massif. DAN SSSR. 1967; 174(5): 1188–1190. (In Russ.)]
 9. *Ставров О.Д., Портнов А.М.* Распределение щелочных элементов и бора в породах массива Бурпала. Геохимия. 1966; 4: 466–468. [*Stavrov O.D., Portnov A.M.* Distribution of alkaline elements and boron in the rocks of the Burpala massif. Geochemistry. 1966; 4: 466–468. (In Russ.)]
 10. *Портнов А.М.* О новом типе редкометалльной минерализации, генетически связанной с нефелиновыми сиенитами. Геол. рудн. месторожд. 1967; 6: 74–75. [*Portnov A.M.* On a new type of rare metal mineralization, genetically related to nepheline syenites. Geol. of Ore Deposits. 1967; 6: 74–75. (In Russ.)]
 11. *Портнов А.М.* Стронциевый перрьерит в Северном Прибайкалье. ДАН СССР. 1964; 156(3): 579–581. [*Portnov A.M.* Strontium perrierite in the Northern Baikal region. DAN SSSR. 1964; 156(3): 579–581. (In Russ.)]
 12. *Портнов А.М.* Радиогеохимическая специализация горных пород по калию и торию и ее связь с оруденением. Изв. АН СССР. Сер. геол. 1987; 3: 101–121. [*Portnov A.M.* Radio geochemical specialization of rocks in potassium and thorium and its relationship with mineralization. Izv. AN SSSR. Ser. geol. 1987; 3: 101–121. (In Russ.)]

Is Burpala a Mineralogical Reserve?

A.M.Portnov

Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (Moscow, Russia)

The alkaline massif of Burpala is located 100 km to the north from the village Nizhneangarsk. It is characterized by a rare metal mineralization, genetically related to nepheline syenites. New combinations of elements with new properties are formed here in a rare geological environment. There are only few sites with such a rich mineral diversity in the world. Usually they are mining areas, not reserves. But there is no ore on Burpala. This is a real mineralogical reserve.

Keywords: nepheline syenites, syenite-pegmatites, fenites, rare metal mineralization, new and rare minerals.

Новости науки

Зоология

Горячие ванны помогают бороться со стрессом не только людям, но и макакам

Японский макак (*Macaca fuscata*) — самый северный в мире вид нечеловекообразных приматов, приспособившихся к условиям холодной зимы. В японском парке обезьян Дзигокудани (Jigokudani Monkey Park; Jigokudani Yaen-koen) макаки не только отращивают длинный теплый подшерсток к зиме, они также выработали неожиданное поведенческое приспособление — в суровых климатических условиях, где снег лежит до четырех месяцев в году, обезьяны купаются в термальных источниках Дзигокуя-Онсен. Впервые такое поведение у японских макаков было описано в 1963 г., когда юная самка начала купаться в открытом горячем источнике неподалеку от одного из отелей. Другие обезьяны последовали ее примеру — купания макаков продолжалось до конца марта, пока не потеплело. А на следующий год администрация парка из гигиенических соображений решила построить для них отдельный бассейн. К 2003 г. доля самок обезьян, которые регулярно принимали ванны в зимний период, достигла 31%. Многие считают, что подобное поведение обусловлено только требованиями теплообмена — в термальном источнике легче согреться. Однако человеку горячие ванны не только помогают согреться, но и значительно снижают уровень гормонов стресса. Поэтому ученые из Киотского университета (Япония) решили проверить уровень глюкокортикоидных гормонов также и у купающихся макаков. Исследования уровня этих гормонов в экскрементах 12 взрослых самок проводили в зимний (октябрь—декабрь) и весенний (апрель—июнь) периоды. Кроме того, обращали внимание на

социальный статус и агрессивность животных, регистрировали время, проведенное в горячем источнике.

Оказалось, что частота и длительность приема ванн у обезьян максимальна в холодный зимний период. И, хотя прямой зависимости между уровнем глюкокортикоидов и временем пребывания в горячем источнике обнаружено не было, сам факт купания значительно снижал уровень гормонов стресса. Кроме того, доминантные самки, стоящие выше на социальной лестнице, проводили больше времени в горячих ваннах — купались дольше и чаще. С одной стороны, это их явная привилегия, с другой — они более агрессивны и, соответственно, испытывают больший стресс. Такое поведение подтверждает предположение о том, что у макаков, как и у человека, горячие ванны снижают уровень стресса. Несмотря на то что купание характерно только для одной популяции японских макаков, оно демонстрирует гибкость поведенческих приспособлений к негативным условиям окружающей среды.

Primates. 2018; 1–18. Doi:10.1007/s10329-018-0655-x.



Японские макаки снимают стресс в горячих источниках парка Дзигокудани.

flickr.com

Родословная лошади Пржевальского пересмотрена?

Лошадь Пржевальского — единственный, как полагают многие ученые, представитель диких лошадей, сохранившийся до нашего времени, и весьма интересный объект для исследований, прежде всего генетических. Вид *Equus przewalskii*^{*}, впервые описанный хранителем Зоологического музея АН в Санкт-Петербурге И.С.Поляковым и названный им в честь русского путешественника и натуралиста Н.М.Пржевальского, ныне занесен в Красную книгу Международного союза охраны природы и Красную книгу РФ: в мире насчитывается лишь около 2 тыс. особей. В Монголии, Китае и Казахстане лошадей Пржевальского можно встретить в природных условиях, но большая часть этих животных обитает в центрах полувольного содержания в разных странах мира (в России, в Оренбургском заповеднике — с 2015 г.). И сюрпризом для многих специалистов стали новые данные, которые ставят под сомнение представления о происхождении редкого вида.

^{*} В некоторых таксономических ревизиях рассматривается в настоящее время как подвид *E.caballus przewalskii* или *E.ferus przewalskii*. — Примеч. ред.

В феврале 2018 г. в журнале Science вышла статья^{**}, воспринятая коллегами как неожиданная ревизия существующих взглядов на генеалогию лошади Пржевальского (*E.przewalskii*) и домашней лошади (*E.ferus caballus*). «До сих пор результаты генетических исследований подтверждали, что предки этих видов были близкими родственниками, — отмечает ученый секретарь Зоологического музея Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, кандидат биологических наук Н.Н.Спаская, — относительно недавнее (~45 тыс. лет назад) разделение ветвей общего ствола филогенетического дерева привело к появлению лошади Пржевальского и предка домашних лошадей^{***}. У домашней лошади из-за слияния двух хромосом общий хромосомный набор на одну пару меньше, чем у лошади Пржевальского, что не мешает этим видам скрещиваться, давая плодовитое потомство^{****}. Установлено, что у лошади Прже-

^{**} Gaunitz C., Fages A, Hangboj K. et. al. Ancient genomes revisit the ancestry of domestic and Przewalski's horses. Science. 2018; 360(6384). Doi:10.1126/science.aao3297.

^{***} Der-Sarkissian C., Schubert M., Ermini L. et. al. Evolutionary Genomics and Conservation of the Endangered Przewalski's Horse. Current Biology. 2015. 25(19). Doi:10.1016/j.cub.2015.08.032.

^{****} Benirschke K., Malouf N., Low R.J., Heck H. Chromosome complement: Differences between *Equus caballus* and *Equus przewalskii*, Poliakov. Science. 1965; 148: 382–383.



Лошади Пржевальского в парке полувольного содержания.

Фото Н.Н.Спаской

вальского присутствуют уникальные генетические маркеры^{*}. Авторы нового исследования определили: родословная вида *Eferus caballus* лишь на 2.7% связана с *E.przewalskii*, представители которого являются одичавшими потомками одомашненных лошадей ботайской культуры^{**}.

Международный коллектив авторов статьи в Science работал с образцами биологического материала, отобранными из культурных слоев ботайских поселений на севере Казахстана. В ходе археологических исследований описаны полигональные ограждения размером приблизительно 20×15 м с повышенным уровнем фосфора и натрия — предположительно загоны для лошадей, чьи костные остатки были здесь найдены. Их радиоуглеродный анализ подтвердил, что «вольеры» относятся к ботайской культуре, а значит, становятся еще одним аргументом в пользу представлений о времени и месте древнего коневодства.

По мнению археологов, принимавших участие в исследовании, в древних поселениях ботайцев найдены самые ранние свидетельства коневодства, которое началось приблизительно 5500 лет назад. Главный научный сотрудник Института археологии имени А.Х.Маргулана (Казахстан) доктор исторических наук В.Ф.Зайберт убежден, что в связи с внезапным изменением уклада жизни ботайские охотники перешли к контролируемому убою скота, и доказательством приручения ими лошадей служат обнаруженные признаки неестественного стирания зубов животных, образовавшиеся в результате возможного воздействия узды; древние инструменты, связанные с производством кожаных ремешков; следы молочных жиров на найденной при раскопках керамике, которые свидетельствуют о том, что кобыл доили в тот период.

Авторы статьи в журнале Science отметили: скудные археологические данные до сих пор препятствовали изучению ранних стадий одомашнивания, и потому особый интерес представляют энеолитические памятники Понтийско-Каспийской степи и Северной степи Казахстана с обилием конских остатков. Основной дальнейших выводов стало положение о том, что ботайские лошади были первыми домашними лошадьми.

Биологи секвенировали геномы 20 лошадей из Ботая и 22 лошадей из разных районов Евразии за последние 5 тыс. лет. Кроме того, были привлечены значительные литературные данные о геномах древних и современных лошадей, в том числе семи лошадей Пржевальского. Удалось сопоставить данные о животных, живших 42800–5100 лет назад, в бронзовом веке (4100–3000 лет назад), в железном веке (2800–2200 лет назад), во времена Пар-

фянского царства и Древнего Рима (2000–1600 лет назад). Анализ показал, что в массиве данных выделяется два кластера: один из них объединил современный вид *E.przewalskii* и лошадей, прирученных в энеолите (4–3 тысячелетия до н.э.), т.е. животных из поселений Ботай и Бурли на территории современного Казахстана, а второй — домашних лошадей *Eferus caballus*. Построено филогенетическое дерево. Математический (байесовский) метод анализа данных показал высокую степень надежности созданной исследователями и основанной на генетических данных реконструкции истории одомашнивания лошади, согласно которой первая попытка приручить этих животных, предпринятая ботайцами, не привела к широкому распространению полученного ими опыта. Иллюстрацией этому служат прямые потомки ботайских лошадей — представители вида *E.przewalskii*. Современные домашние лошади произошли от другого вида рода *Equus*, оказавшегося, по-видимому, более podatливым «материалом» для одомашнивания, которое началось не позднее бронзового века. Авторы исследования предположили, что этому процессу способствовала миграция скотоводов ямной культуры^{***} Понтийско-Каспийской степи около 5 тыс. лет назад.

Но свидетельствуют ли собранные факты о том, что представители настоящих диких лошадей не сохранились до нашего времени? «Используя только генетические данные, невозможно ответить на вопрос, является ли лошадь Пржевальского потомком диких или одомашненных лошадей. Даже если ДНК была получена авторами статьи из остатков домашних (по мнению археологов) животных, это не отменяет возможности одновременного существования диких лошадей на тех же территориях, — подчеркивает старший научный сотрудник Института общей генетики имени Н.И.Вавилова РАН, кандидат биологических наук В.Н.Воронкова. — Руководствуясь принципом бритвы Оккама, “не следует множить сущее без необходимости”: логичнее предположить, что предками лошадей Пржевальского были дикие популяции лошадей из Ботая, которые также послужили и основой для первого этапа одомашнивания лошадей 5.5 тыс. лет назад».

Выводы авторов исследования, представленного в журнале Science, подтверждены обширным массивом данных, с которыми в настоящий момент знакомятся коллеги. И возможно, их независимый анализ даст импульс к дальнейшим изысканиям и открытиям.

© кандидат биологических наук **Е.В.Сидорова**
журнал «Природа» РАН (Москва, Россия)

^{*} *Bowling AT, Ryder O.A. Genetic studies of blood markers in Przewalski's horses. The Journal of Heredity. 1987; 78: 75–80.*

^{**} Ботайская культура (от названия села Ботай) — археологическая культура энеолита, существовавшая в 3700–3100 гг. до нашей эры на северо-западе Казахстана.

^{***} Ямная культура — археологическая культура позднего медного — раннего бронзового веков (3600–2300 лет до н.э.), преимущественно подвижная скотоводческая, развивавшаяся на территории от Южного Приуралья на востоке до Дуная на западе, от Предкавказья на юге до Среднего Поволжья на севере.

Эрозия горных пород увеличивает содержание углекислого газа в атмосфере

Давно известно, что при эрозии обнажающиеся горные породы реагируют с углекислым газом атмосферы. В процессе такого химического выветривания часть образующегося карбоната кальция в итоге осажается на дне океана, и углерод надолго удаляется из атмосферы. Чем активнее идет эрозия, тем больше углерода связывается. Это один из основных регуляторов круговорота углерода в геологическом масштабе.

Однако недавние работы ученых Вудс-Холского океанографического института (США) показали, что в процессе эрозии углекислый газ может также и высвобождаться, причем в масштабах, сопоставимых, а иногда и превышающих количество связанного углерода. Исследования проводились в районе одной из самых подверженных эрозии горных цепей в мире — Тайваньских горах. Сильновыраженный рельеф, частые тайфуны и особенности строения пород спо-

собствуют значительному разрушению горной гряды — от 3 до 6 мм в год.

Оказалось, что более 60% литосферного углерода подвержено окислению в процессе почвообразования. При этом подстилающие породы преобразуются еще до того, как полностью сформируются верхние почвенные горизонты. Быстрое окисление литосферного углерода может быть абиотического или биотического происхождения. Распределение жирных кислот и изотопный состав углерода в образцах говорят об участии микробов в окислении. Ученые посчитали, что в год за счет деятельности микроорганизмов выделяется от 6.1 до 18.6 т С/км². Таким образом, окисление органики в горных почвах приводит к значительному потоку CO₂ в атмосферу, противодействуя его связыванию в горных породах. И хотя авторы статьи признают, что это явление требует более тщательных исследований и потоки CO₂ из горных пород не оказывают существенного влияния на современные изменения климата, в геологических временных масштабах пренебрегать ими нельзя. Данная работа поможет лучше понять литосферный цикл углерода.

Science. 2018; 6385: 209–212. Doi:10.1126/science.aao6463.



Тайваньские горы — одна из самых подверженных эрозии горных цепей мира.

Фото Woodford Yang

Палеонтология

Гигантский предок современных пингвинов

Новозеландские палеорнитологи обнаружили в формации Моераки в регионе Отаго Новой Зеландии ископаемые остатки гигантского пингвина (*Kiwaitia bicolor*). Возраст находки (около 60 млн лет) определен на основании биостратиграфических данных (изучения фораминифер). Оказалось, что в Новой Зеландии в позднем палеоцене обитали пингвины ростом с человека. Похоже, что такая форма появилась вскоре после первых нелетающих предков.

Геральд Майр из Научно-исследовательского института Зенкенберг и Музея естественной истории Франкфурта-на-Майне (Германия) проанализировал найденные фоссилии (окаменелости) и установил, что рост птиц достигал 1 м 77 см, а весили они свыше 100 кг, что делает их одними из самых крупных пингвинов, когда-либо живших на Земле.

Ученые определили место нового вида на эволюционном древе семейства пингвиновых: эти гигантские формы возникли непосредственно вслед за первыми пингвинами, которые предпочли полету плавание под водой. В более молодых отложениях исследователи всегда находили виды, характеризовавшиеся меньшими размерами. Они

предшествовали появлению современных крупных пингвинов, таких как императорский, достигающий 1.2 м. Иными словами, открытие показало: на протяжении эволюции пингвины гигантских размеров появлялись неоднократно, их остатки находятся в палеогеновых отложениях. Но как объяснить эту загадку эволюции?

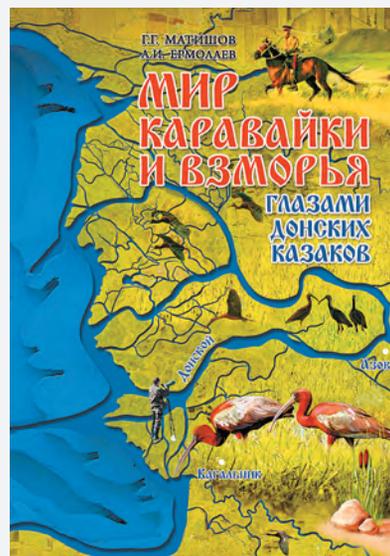
В более ранних работах авторы открытия выдвинули предположение, что вымирание гигантских пингвинов и других крупных плавающих птиц обусловлено соперничеством с морскими млекопитающими. С этой точкой зрения согласны многие коллеги. Так, заведующий кабинетом палеорнитологии Палеонтологического института имени А.А.Борисяка РАН Никита Зеленков полагает, что нишу одного из древнейших пингвинов, своими размерами в два-три раза превосходившего современных императорских, могли занять ластоногие и китообразные: их широкое распространение и исчезновение гигантских пингвинов совпадают по времени и происходили в раннем миоцене. Но точные причины и механизмы подобного конкурентного взаимодействия остаются пока недостаточно изученными. В любом случае на эволюцию пингвинов и утрату ими способности летать, по-видимому, серьезно повлияло исчезновение крупных наземных и водных хищников в конце мелового периода.

Nature Communications. 2017; 8(1927).
Doi:10.1038/s41467-017-01959-6

Охрана природы. Краеведение

Г.Г.Матишов, А.И.Ермолаев. МИР КАРАВАЙКИ И ВЗМОРЬЯ ГЛАЗАМИ ДОНСКИХ КАЗАКОВ. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. 224 с.

Река Дон и Азовское море — уникальная водная система в европейской части России. Пресные речные воды Кубани и Дона через Азовское море и Керченский пролив перетекают в Черное море. Современные очертания берегов и отложения Азовского шельфа сформировались 2.4–1.5 тыс. лет назад. Дельта Дона расширяется и мелеет последние 1.5 тыс. лет. Эти процессы резко усилились после ввода в эксплуатацию Цимлянского гидроузла и нарушения объемного сезонного пресного стока. Не стало естественного половодья и затопления островов дельты речной водой. Дана экспертная оценка произошедших во второй половине XX и начале XXI в. изменений и их влияния на речную экосистему. Исторически Приазовье заселяли кочевники. Через регион проходили караванные пути, в том числе Великий шелковый путь. В книге в популярной форме представлены результаты полувекового изучения Азовского бассейна и его биологических ресурсов. Рассказывается о природе донской дельты и взморья, об истории родного края. Авторы использовали лексику, терминологию и фразеологию уходящего от нас в историю донского говора. Для лучшего понимания современных процессов, а также исторических событий и факторов, повлиявших на историю казачества, для воссоздания атмосферы ушедших эпох текст дополнен архивными документами и большим количеством иллюстраций — картин художников и фотографий.



Книга о великом ученом и научном подвиге всей его жизни

доктор философских наук Э.И.Колчинский

Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники
имени С.И.Вавилова РАН (Санкт-Петербург, Россия)

Имя Николая Ивановича Вавилова (1887–1943) — выдающегося ботаника, генетика, эволюциониста, географа, путешественника и организатора науки, отдавшего за нее жизнь, — известно во всем мире. Оно давно стало, по сути, брендом отечественной биологии. Удивительная разносторонность таланта Вавилова и трагическая судьба ученого, столь много сделавшего для «зеленой революции» и умершего от голода в тюрьме, привлекает внимание писателей, публицистов и историков науки уже более полувека. Ему посвящены десятки книг и тысячи статей.

Прошлый 2017 год, когда отмечалось 130-летие со дня рождения великого ученого, был ознаменован несколькими замечательными книгами о нем. Одна из них принадлежит старейшему вавилововеду, писателю С.Е.Резнику. Первая его книга о Вавилове вышла 50 лет назад в серии биографий «Жизнь замечательных людей», прославившей издательство «Молодая гвардия». В ней впервые в русскоязычном пространстве была изложена суть конфликта ученого с Т.Д.Лысенко. Последний в 1968 г. уже потерял командные посты в науке, но смог на год задержать выход книги и вынудил подвергнуть ее цензурной кастрации. Но даже это не помешало Резнику донести в яркой форме до массового читателя главное о великом ученом, посвятившем всю жизнь спасению человечества от голода. Та первая книга Резника заложила основы вавилововедения и в течение нескольких десятилетий оставалась лучшей биографией Вавилова, сочетая достоинства художественной литературы со строгими канонами научности.

Только после эмиграции в США Резник выпустил последнюю, исковерканную цензурой главу в виде книги, которую назвал «Дорога на эшафот». Она вместе с книгами Ж.А.Медведева, М.А.Поповского, В.Н.Сойфера формировала в значительной степени мои представления о личности Вавилова.

50 лет спустя Резник представил совершенно новую книгу. В несколько раз по объему превышая предыдущую, она вобрала наиболее важную информацию из многочисленных историко-научных и публицистических работ, опубликованных за эти полстолетия. В основу книги положены собственные многолетние архивные изыскания автора и беседы с участниками тех событий. Резник, как писатель, не претендует на строгий научный анализ, но книга построена на проверенных фактах. Она демонстрирует изменения нарратива* о жизни и деятельности одного из самых известных рос-

* Нарратив — изложение взаимосвязанных событий, представленных читателю или слушателю в виде последовательности слов или образов.



С.Е.Резник ЭТА КОРОТКАЯ
ЖИЗНЬ. НИКОЛАЙ ВАВИЛОВ
И ЕГО ВРЕМЯ.

М.: «Захаров», 2017. 1056 с.

сийских ученых в связи с изменившимся социокультурным контекстом и развитием истории науки, в которой все больше внимания сейчас уделяют исторической антропологии, микросоциологии и методологии «кейс стадис»*.

В новой книге Резника сочетаются хронологический принцип изложения с многоплановостью повествования, а документальная точность — с художественной формой подачи. Центром авторских интересов стали психологические характеристики главного героя и его ближайших коллег и оппонентов. Рассказ о жизни ученого на фоне противоречивой и турбулентной истории первой половины XX в. вплетается в панораму блестяще прорисованных портретов отечественных и зарубежных коллег Вавилова, его друзей и недругов, единомышленников и противников, в том числе и в любимом им Всесоюзном институте растениеводства. Раскрыты механизмы взаимодействия ученых с партийными и государственными деятелями того времени. Внимательный взгляд художника и вживание в дух эпохи позволяли порой лучше понять произошедшее и мотивы действующих лиц, а это, пожалуй, недоступно при сухом научном анализе. Резник не злоупотребляет правом писателя на домысливание недостающих звеньев. Повествование не только строго документировано, но постоянно идет источниковедческая проверка используемых сведений, за которой порой следует опровержение многих мифов и легенд, живущих десятилетиями. Вслед за Медведевым, автором предисловия, я должен сказать, что изучал историю генетики и творчество Вавилова почти 50 лет, но, как и он, *открыл в этой книге огромный новый фактический документальный материал, ранее мне неизвестный* (с.9).

В их числе сведения в разделе «История с биографией» о подготовке и издании первой книги Резника о Вавиллове (с.13–42). В нем показано, как сильны были позиции самого Лысенко и его сторонников во властных структурах даже после его официального осуждения в 1965 г. и освобождения от всех должностей и насколько эффективны были их закулисные действия с целью сокрытия правды о гибели Вавилова. Ради удаления в общей сложности полутора страниц текста с упоминаниями фамилии Лысенко пришлось заменить два печатных листа, так что 90 тыс. экземпляров первого варианта этих листов были пущены под нож и напечатаны заново. Это обошлось издательству в 27 тыс. руб. (при курсе порядка 60 копеек за доллар). Такова цена за сокрытие даже не правды, а каких-то намеков о причастности Лысенко к гибели Вавилова. Но история весьма поучительна

* Методология «кейс стадис» (case studies), или ситуационного исследования, — это как бы перекресток всех возможных анализов науки, сфокусированных в одной точке с целью обрисовать, реконструировать одно событие из истории науки в его цельности, уникальности и неповторимости.



Н.И.Вавилов в форме ученика коммерческого училища, 1906 г. Здесь и далее фото из фондов Мемориального кабинета-музея Н.И.Вавилова в Институте общей генетики имени Н.И.Вавилова РАН, приведенные в книге С.Е.Резника «Эта короткая жизнь. Николай Вавилов и его время».

и для нынешних восхвалителей «народного академика». Она свидетельствует о тщетности попыток облагородить лик Лысенко в противостоянии давно умершему оппоненту. Полвека назад на стороне автора были ученые разных специальностей, а противостояли им партийные чиновники, и их победа даже тогда была пиррова.

Новая книга подытоживает многолетние исследования жизни и научного наследия Вавилова десятками отечественных биологов и историков науки. Более полувека назад автору помогали в сборе материала свыше 30 человек, близко знавших Николая Ивановича и сообщивших детали и факты, которые не отложились ни в каких архивных документах, но позволяли лучше понять обстановку тех лет. Среди них были Ф.Х.Бахтеев, Л.П.Бреславец, Ю.Н.Вавилов, П.М.Жуковский, А.Р.Жебрак, М.Г.Зайцева, Н.Р.Иванов, Д.В.Лебедев, В.С.Лехнович, В.В.Сахаров, Е.С.Якушевский.



Екатерина Николаевна Сахарова и Николай Иванович Вавилов — молодожены.

В работе над новой книгой Резнику помогало уже новое поколение биологов и историков науки. Как правило, они лично не знали Николая Ивановича, но его имя по-прежнему действовало чудесным образом. Десятки энтузиастов (Т.Б.Аврущкая, В.Я.Бирштейн, С.А.Боринская, М.А.Вишнякова, В.И.Глазко, В.А.Гончаров, М.Д.Голубовский, В.А.Драгавцев, О.Ю.Елина, В.Д.Есаков, И.А.Захаров-Гезехус, Е.С.Левина, А.П.Лисицын, О.В.Максимова, Ж.А.Медведев, М.Е.Раменская, Я.Г.Рокитянский, Н.В.Рязанцев, М.Н.Шашкина и многие другие) снабдили автора, живущего в Вашингтоне, новыми публикациями, архивными материалами и фотографиями, а также поделились с ним своими мыслями и соображениями. На этом этапе участвовали в основном ученики учеников и соратников Вавилова, считавшие помощь в написании новой его биографии своим священным долгом. К сожалению, не на все вопросы удалось и сейчас ответить. С многих документов, связанных с деятельностью Вавилова, причем даже в конце 1920-х годов, до сих пор не снят гриф секретности, а другие, включая значительную часть его тюремного дела, как-то таинственно исчезли. По-прежнему могущественны те ведомства, которые причастны к гибели Вавилова, и они заинтересованы в сокрытии всей правды, в том числе о последних днях его жизни.

Резник разворачивает жизненную эпопею Вавилова в шести частях: «Развилка дорог», «Саратов», «Шагая по глобусу», «Годы великого перелома», «Вихри враждебные», «Кошцево царство», «Брат Сергей», каждая из которых разделена на 8–10 глав, состоящих из десятков параграфов. И хотя каждый параграф представляет собой законченный, тщательно выписанный эпизод из жизни Вавилова или биографию какого-либо героя, нет подробности из-

ложения, так как книга рассказывает о человеке, с юных лет посвятившем себя науке во благо человечества. Пошагово прослежено, как под влиянием социума, чтения книг и учителей зрело в нем убеждение, что ликвидация голода возможна лишь благодаря расширению разнообразия культурных растений и повышению их урожайности. И достижению этой сверхзадачи он посвятил буквально каждый миг своей насильственно укороченной жизни. Ради нее он много лет провел в экспедициях, посетил около 50 стран, изучая на пяти континентах биоразнообразие культурных растений и их диких сородичей.

Автору удалось зарисовки десятков ученых, с которыми сталкивалась Вавилова судьба.

Среди многих уникальных черт личности Николая Ивановича была и такая: ему удалось увлечь своими идеями многих зрелых, первоклассных ученых разных специальностей и убеждений. Вспомню только некоторых: С.М.Букасов, Н.Ф.Деревицкий, Ф.Г.Добржанский, С.И.Жегалов, П.М.Жуковский, Г.С.Зайцев, Г.Д.Карпеченко, П.Н.Константинов, Г.А.Левитский, П.И.Лисицын, Н.А.Максимов, В.В.Пашкевич, В.Е.Писарев, М.А.Розанова, А.А.Сапегин, Е.Н.Синская, Н.М.Тулайков, С.В.Юзепчук. Вавилов сумел направить их деятельность на пользу делу сельского хозяйства страны, как *один мощный кулак* (с. 351). Известно, как трудно создать продуктивный ансамбль из нескольких талантливых ученых, всегда склонных к индивидуализму. Вавилов же сумел объединить одной программой лидеров десятков научных направлений и создателей собственных школ в биологии, селекции и семеноводстве. Так, в Московский отдел Института прикладной ботаники вошла семеноводческая сеть (Госсемкультура) во главе с В.В.Талановым, что позволило на практике реализовать стандартизованную схему ступенчатого размножения селекционных сортов и введения их в практику.

Особое место в книге занимает раздел об однокашнике Николая Ивановича — знаменитом экономисте А.В.Чаянове, который также отличался широкой эрудицией, трудолюбием и *готовностью сжечь себя в общественном деле* (с.550). Его путь на Голгофу вместе с другими близкими Вавилову экономистами (Н.Д.Кондратьевым, Н.П.Макаровым, С.Л.Масловым) начался в 1930 г. и закончился 3 октября 1937 г. Установлено, что 21 раз Чаянова водили на многочасовые изнурительные допросы, от которых сохранилось только два протокола с признательными показаниями во «вреди-

тельстве» и «подготовке терактов». И Резник здесь бросает замечания, полные боли, горечи и трагизма: *Какими истязаниями заставили его подписать такие протоколы, можно только гадать* (с.608). И таких неразгаданных эпизодов в книге остается еще очень и очень много. Найдутся ли когда-нибудь ответы на них, также неизвестно.

Не менее интересны очерки, посвященные ученым, с которыми у Николая Ивановича по разным причинам не сложились отношения и в биографиях которых осталось немало белых пятен. По мере сил и возможностей Резник заполняет пробелы в наших знаниях об Д.Д.Арцыбашеве, Д.Н.Бородине, Г.В.Григорьеве, А.К.Коле, И.Д.Шимановиче, Я.А.Яковлеве, проведя филигранный источниковедческий анализ. В частности, он методично разбирает и отбрасывает многие мифы о последних годах Д.Д.Арцыбашева, бытовавшие до недавнего времени в вавиловедении (с.501–504).

Рассказ в книге ведется в контексте событий наиболее турбулентного периода развития России, пережившей за треть века три революции, Первую мировую и Гражданскую войны с красным и белым террором, военный коммунизм, НЭП, «Великий перелом», «культурную революцию», «большой откат»* и «большой террор». Все эти завихрения отечественной истории непосредственно затронули Вавилова, страстно увлеченного наукой с юных лет и видящего в ней верный путь служения народу, но ясно осознавшего, что для реализации грандиозных проектов необходима государственная поддержка. Во многих из этих событий, начиная с революции 1905 г., он активно участвовал. Из-за поврежденного глаза его не взяли в армию, но он по мере сил участвовал в мобилизации науки в годы Первой мировой войны, в частности в укреплении контактов с Англией.

Николай Иванович осознанно пошел на сотрудничество с большевиками, при которых сделал блестящую карьеру. Он надеялся с их помощью воплотить в жизнь грандиозные научные планы. Поэтому стремился помочь власти преодолеть страшный голод 1921–1922, 1929 и 1932–1933 гг., дать крестьянству высокоурожайные сорта, расширить их ассортимент. Велика его заслуга в преодолении Советским Союзом международной изоляции и в привлечении к нашей стране симпатий десятков выдающихся ученых разных стран (например, Э.Баура, К.Бриджеса, У.Бэтсона, Р.Гольдшмидта,

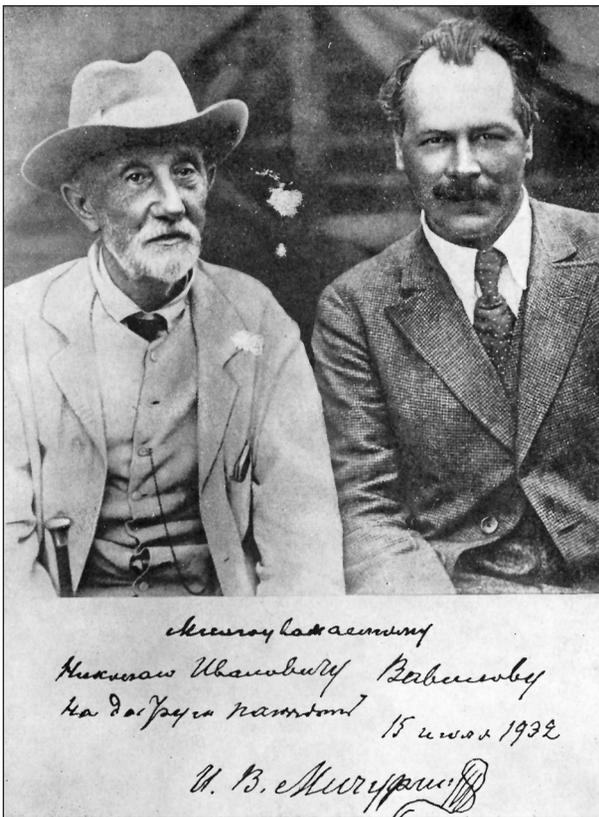
* Большой откат (Great Retreat) — так в англоязычной литературе называют начавшуюся в 1931 г. ликвидацию институтов и марксистских обществ, созданных во время «культурной революции» с целью замены буржуазных специалистов пролетарскими кадрами. По существу, это возврат к имперским ценностям и нормам: на место пролетарского интернационализма пришел советский патриотизм; восстанавливались ученые степени; возвращались из ссылки жертвы культурной революции, запрещались аборты, криминализировался гомосексуализм и т.д.



«Я попал в русский плен», — шутит Т.Х.Морган. Слева от него Н.И.Вавилов, справа Н.В.Тимофеев-Ресовский. Итака (США), 1932 г.

Г.Г.Мёллера, Т.Х.Моргана, Л.Трабю, С.Харланда). Дитя своего времени, он искренне считал возможным построить справедливое общество и делал все возможное, чтобы обеспечить процветание страны.

Уже с конца 1920-х годов Вавилов работал в условиях смертельного хоровода, где в мгновение ока возникали и исчезали крупные администраторы, ответственные за сельское хозяйство, и сотни выдающихся отечественных ученых, связанных с ними. Резник убедительно показывает, что отсталое сельское хозяйство России, добитое коллективизацией, постоянно находилось в состоянии кризиса и не могло спасти миллионы жертв перманентных неурожаев. Скорбно повествуя об этих трагических событиях, автор не обличает и не разоблачает, в том числе и тех, кто благодаря Вавилову сделал прекрасную карьеру, а потом оговорил его на допросах или согласился стать осведомителем. Не раз в книге показано, что не только в годы «большого террора», но и уже в первых массовых репрессиях, обрушившихся на научное сообщество с конца 1920-х годов, методы допросов были столь ужасны, что арестованные просто не могли их выдержать, поэтому становились на путь оговора коллег и сотрудничества с карательными органами.



С И.В.Мичуриным. Надпись на фото: Многоуважаемому Николаю Ивановичу Вавилову на добрую память. 15 июля 1932 г. И.В.Мичурин.

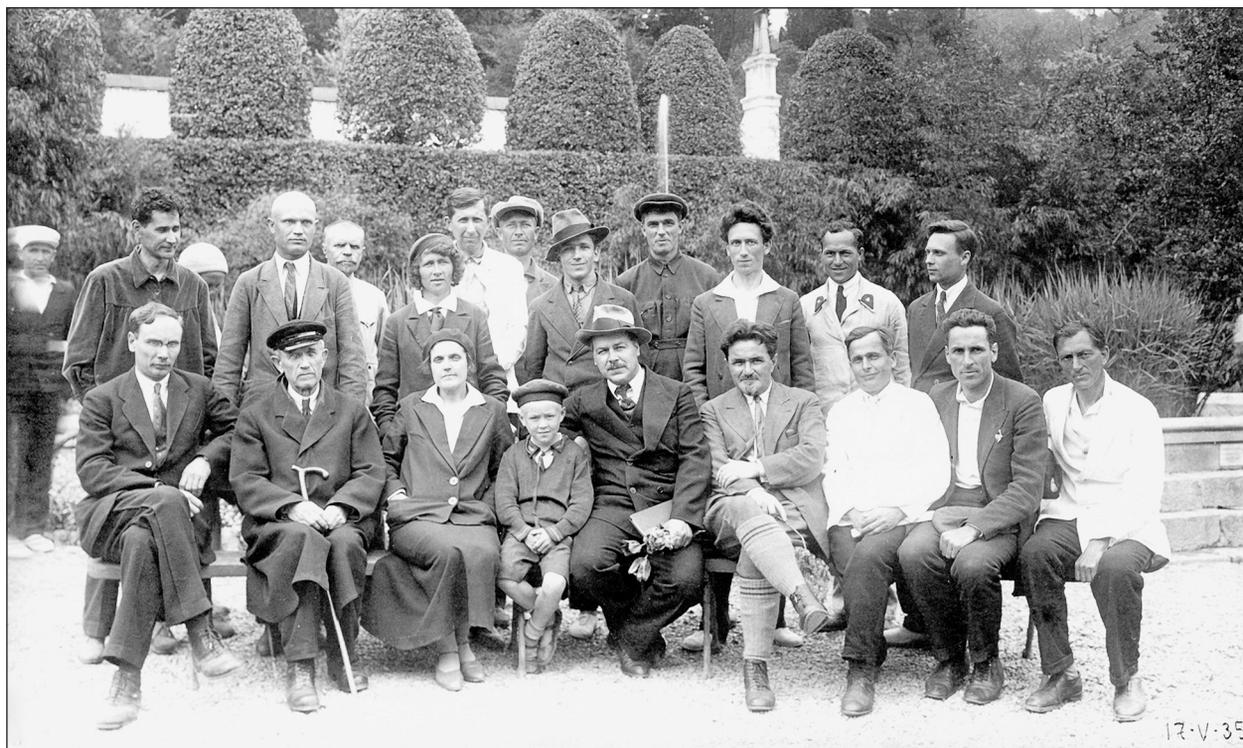
В этих условиях Николай Иванович, которого сотрудники ОГПУ уже в начале 1930-х годов назначили на роль лидера придуманной ими Трудовой крестьянской партии и на которого выбивали соответствующие показания из его арестованных коллег, с риском для себя продолжал ходатайствовать о них, стараясь всячески смягчить их участь, а порой и спасти им жизнь. Только оказавшись в застенках, он узнал, что многие из них, включая самых близких (В.Е.Писарева, В.В.Таланова и др.), много лет назад дали показания о «вредительской антисоветской деятельности» Вавилова. Увы, не всех спасло и это. Трагически звучит: *Выстоять не удавалось никому — разница была в длительности сопротивления.* <...> *Из тех, за кого просил Вавилов, гэпушныне костоломы в это время выдавливали показания против него* (с.650). О том, как были добыты эти показания, свидетельствуют протоколы дел, признанных сфальсифицированными даже в советское время. Немало образцов подобных признаний приведено в книге. Изуверские методы заставят признать «вину» и самого Николая Ивановича. Но цену всех этих признаний знали сами заплечных дел мастера и их вдохновитель. Резник убедительно показывает, что вздорные обвинения нужны были власти лишь для того, чтобы в определенный момент воз-

ложить на ученых ответственность за катастрофические провалы своей сельскохозяйственной политики.

Резник фактически опровергает утверждения о том, что начавшиеся у Вавилова в 1930-х годах неприятности в какой-то степени связаны с поражением в партийной борьбе правых, якобы бывших его покровителями. Никаких документальных подтверждений эта версия не имеет. В течение долгого времени И.В.Сталин достаточно лояльно относился к Н.И.Вавилову. Об этом свидетельствует и стенограмма совещания в кабинете у Сталина от 15 марта 1929 г., где главным докладчиком был Николай Иванович, и последовавшее вскоре назначение его президентом ВАСХНИЛ, сохранение его в составе ВЦИК до 1935 г. и т.д. (с.515–517). Понятно, что без ведома Сталина эти назначения были бы невыполнимыми. И в дальнейшем Вавилов всегда был лоялен к власти, не идентифицировал себя с какой-либо группой партийных и правительственных чиновников и стремился продуктивно работать вместе с ними на благо науки и страны.

Резник показывает, что подлинный патриотизм и готовность к сотрудничеству с властью позволили Николаю Ивановичу в короткий срок реализовать грандиозную программу по созданию генетического банка культурных растений и их диких сородичей и организовать научно обоснованную систему селекции и семеноводства. При этом он зарекомендовал себя как смелый теоретик, пользовавшийся высоким авторитетом в мировом сообществе генетиков, селекционеров, растениеводов и эволюционистов. В книге прослеживается, как зарождались новые идеи ученого, реализуясь в важные обобщения — закон гомологических рядов в наследственной изменчивости (1920, 1934); концепцию центров происхождения культурных растений (1926); политипическую концепцию вида (1931, 1940); ботанико-географическое и генетико-экологическое обоснование принципов семеноводства и селекции (1934). Не потеряли своего значения и три тома «Теоретических основ селекции» (1935–1937), и основанная им серия «Культурная флора СССР» (1935). Столько свершить за такой короткий срок мог воистину человек не только уникального таланта, но и редкой работоспособности.

В книге 1968 г. по разным причинам Резник не смог детально рассмотреть вопрос о сложных взаимоотношениях Н.И.Вавилова с И.В.Мичуриным, а также с Т.Д.Лысенко и И.И.Презентом, которые провозгласили создание мичуринской биологии, построенной на принципах диалектического материализма, т.е. науки, якобы соответствующей задачам социалистического преобразования сельского хозяйства и противостоящей реакционной западной науке. Накопленный за 50 лет материал позволил прежде всего по-новому осветить сотрудничество с Мичуриным. Резник при-



В Никитском ботаническом саду с женой и сыном Юрой. Ялта, 1933 г.

знает, что ни одна глава не давалась ему столь тяжело, как раздел о Мичурине, — и это несмотря на монблан литературы о талантливом и трудолюбивом садоводе-любителе (с.670). Его теоретические воззрения были очень нечетки. Реальные достижения с позиций сегодняшнего дня кажутся скромными. Лишь по воле властей Мичурин был провозглашен корифеем отечественной науки, а после смерти — еще и создателем некоей новой биологии, носящей его имя. Это был очередной политический проект, призванный доказать превосходство отечественной науки над зарубежной, а практики — над теорией. Мичурин охотно подыгрывал властям, обменивался со Сталиным приветственными телеграммами, славя советский строй. Но, как показал Резник, Мичурин никогда не претендовал на создание собственного учения. «Мичуринская биология» появилась после его смерти. К ее создателям — Лысенко и Презенту, провозгласившим себя «мичуринцами» №1 и №2, — он также не имел никакого отношения.

Автор, опираясь на собственные исследования и на литературу последних лет, опроверга-

ет многие мифы, представлявшие в карикатурном виде главных оппонентов Вавилова. Отказавшись от черно-белого изображения людей и событий, Резник не стал в очередной раз обличать Лысенко и Презента. Его социально-психологические характеристики точны, и предложенные трактовки мотивов их поведения убедительны. Оба даны как типичные представители сталинского времени, когда ценились: умение вовремя уловить грядущие конъюнктурные изменения; идеологическая



Н.И.Вавилов в своем рабочем кабинете, конец 1930-х годов.



С.Е.Резник и Э.И.Колчинский в Санкт-Петербургском научном центре РАН, 2017 г.
Фото Р.Резник

непримиримость; готовность выполнить любое распоряжение властей и обещать невыполнимые вещи. Здесь недостаточно было колебаться вместе с линией партии, нужно было вовремя предусмотреть очередные зигзаги ее политики. Оба они, конечно, причастны к гибели Николая Ивановича, но главная вина лежит не на них. Они сумели максимально использовать обстоятельства 1930-х годов для головокружительной карьеры. Но в целом и они, и противостоявшие им Вавилов с генетиками были лишь актерами, сыгравшими роль в спектакле, поставленном революцией 1917 г.

Авторы многих биографий Вавилова рассказывали о его родных и близких. Но, пожалуй, Резник впервые показал в полной мере, какую важную роль семья играла в становлении Вавилова как личности, поддерживая его в дни испытаний и горести, одобряя и вдохновляя на грандиозные проекты и свершения. Николай Иванович раскрывается не только как ученый и организатор науки, но и как преданный сын, заботливый брат, влюбленный мужчина и супруг, любящий отец двух своих сыновей. Становится ясно, что только в семье со столь прочными нравственными традициями, скрепленными искренней добротой, мог вырасти столь мужественный человек, верный своим убеждениям и отдавший за них жизнь.

Автор выражает благодарность Татьяне Борисовне Авруцкой, хранителю Мемориального кабинета-музея Н.И.Вавилова в Институте общей генетики имени Н.И.Вавилова РАН, за предоставленные иллюстрации, а также Светлане Игоревне Зенкевич за помощь в редактировании текста.

Очерк о его брате, президенте АН СССР С.И.Вавилове, достойно завершает эту книгу, в которой научная достоверность удачно сочетается с образностью изложения и максимальной объективностью. К сожалению в первые годы после распада СССР был опубликован ряд необъективных работ об этом крупнейшем отечественном физике, столь много сделавшем для спасения отечественной науки в послевоенные годы. Следует добавить, что за открытие и объяснение эффекта Вавилова—Черенкова в 1958 г. получили Нобелевскую премию его ученик П.А.Черенков и два других выдающихся советских физика — И.Е.Тамм и И.М.Франк.

Автор считает: *Ни одна область историко-биологических исследований не развивалась за*

*последние 50–60 лет столь продуктивно, как **вавилотоведение** (с.507).* Такая оценка, на мой взгляд, адекватно отражает состояние данной области знания, которая прогрессирует вопреки противодействию мощных сил, пытающихся по разным причинам скрыть причастность каких-то лиц и ведомств к гибели Вавилова. Только в 1990-х годах были открыты архивы, позволявшие узнать, сколь мощные властные структуры были включены в травлю Николая Ивановича и кто персонально был ее инициатором и активным исполнителем зловещей воли Сталина. Увы, теперь они снова закрыты, как я полагаю, с единственной целью — скрыть виновников одного из величайших преступлений в истории науки.

Читая книгу Резника, я постоянно вспоминал слова, которые впервые прозвучали публично в выступлении знаменитого протозоолога и непримиримого борца с лысенкоизмом, члена-корреспондента АН СССР, Героя Социалистического Труда Ю.И.Полянского в Доме литераторов в мае 1987 г. Со свойственной ему эмоциональностью он произнес: *Никогда история не простит Сталину убийства Вавилова.* Так тогда еще никто не говорил. Зал на минуту замер, ошеломленный смелостью услышанного, а затем раздался шквал аплодисментов. ■

На пути к катастрофе

В «Природе» была опубликована жутковатая, но правдивая статья о гималайском медведе*, написанная зоологами, безусловными знатоками этого зверя. Тема столь близка мне, что не могу промолчать и не добавить к сказанному несколько слов.

Я профессиональный охотник, кроме того — таксидермист и, конечно, любитель природы. Поверьте, что профессиональная охота и любовь к уссурийской тайге, в которой провел и провожу большую часть своей 53-летней жизни, вполне сочетаемы. Как и полагается профессионалам, лишнего не добываю, а уж об истреблении дотла и речи быть не может. Тут дело не только в морали, но и в сугубо практических соображениях: мне из года в год на своем охотничьем участке «кормиться» надо.

Разумная охота не наносит вреда тайге. Браконьерство, конечно, вредно, и урон от него велик, но он даже по порядку величин несоизмерим с ущербом, который наносят коренным лесам заготовители древесины, обладающие, разумеется, всеми необходимыми разрешительными бумагами. Уничтожается среда обитания животных. И это не стелания о загубленной красоте леса, природы, а серьезнейшая проблема. И описанная в статье трагедия гималайских медведей в Бикинском р-не Хабаровского края — лишь пример, лишь вершина айсберга.

Издrevле известно не только специалистам, но и просто сельским жителям Уссурийского края, что благополучие гималайского и бурого медведей, кабана (а через него — тигра) определяют урожаи орехов кедр и желудей дуба. Конечно, шлейф более мелких животных — потребителей орехов и желудей — очень длинен, но в данном разговоре не до них. Есть урожай этих деревьев или хотя бы одного из них — все сыты. Нет урожая в данной местности — животные откочевывают в другую. А как быть зверям, если, куда не глянь, кедр вырублен? Кедровники за пределами заповедников теперь редкость. А основная тяжесть лесозаготовок ныне приходится на вторую ценность наших лесов — на дубы, в целом более урожайные породы, чем кедр.

Два года подряд (2015 и 2016) оказались неурожайными, к несчастью, и по кедровым орехам, и по желудям! Медведи метались в поисках корма, вынужденно занимаясь «грабежом» пасек; гонимые голодом, вторглись в поселки, и это неизбежно приводило к столкновению с людьми.

Сам я был трижды неспровоцированно атакован медведями в те злосчастные годы, и не где-нибудь, а в родном поселке Лесопильное, на территории которого разворачивается основная часть событий, описанных в статье зоологов. Поселок находится на северной окраине хребта Стрельникова — прямо в центре карты, иллюстрирующей местоположение трагических событий.

Первая встреча произошла в леске на окраине поселка; бурый медведь бросился в мою сторону, характерно раскидывая передние лапы и фыркая. Я успел отскочить, и зверь пролетел по тому месту, где я только что стоял. Растерялся бы, и последствия оказались бы для меня очевидно плохими. Другой раз, прогуливая собаку в том же месте, наткнулся на крупного самца гималайского медведя; он погнался за мной, и только хватка собаки сбоку заставила его развернуться и броситься за ней. Ровно через месяц третье, также неспровоцированное нападение произошло уже на моем охотничьем участке. В этот раз только чудом мне удалось освободиться от «объятий» медведя, застрелив его из карабина одной уже сломанной, но не полностью поврежденной рукой — на ней было «лишь» 25 дыр от клыков. Жуткие раны, неизвестно как сохранившиеся глаза, долгие месяцы на больничной койке, череда пластических операций на обезображенном лице...

За жизнь мне много раз приходилось сталкиваться весьма близко с медведями, и с бурым, и с гималайским («белогрудкой», как его у нас зовут), но никогда дело не доходило до «рукопашной». Встретившись со зверем лицом к лицу, старайтесь не стоять подобно парализованному — насколько возможно в такой обстановке спокойно, не делая резких движений, уходите. Нередко медведь щелкает, «стучит» зубами (такой звук слышен далеко), крушит сухостой — это хорошие знаки: значит, только пугает. Не испытывайте судьбу — уходите. Самое опасное оказаться на предельно близком расстоянии от него, но и тут может спасти уверенное — не трусливое и не агрессивное — поведение. Медведь очень тонко чувствует ваш страх. Если побаивается, что получит отпор, старается не связываться и уходит сам. И всегда нужно помнить, что он отнюдь не плюшевая игрушка, а зверь со стремительным бегом, огромной силой, длинными клыками и когтями.

Раньше, в нормальных условиях, случаи нападения медведя на человека были редкостью и происходили раз в 10, а то и в 20 лет. Кормов хватало, да и медведи знали свое место, опасались человека, вернее — его огнестрельного оружия. Поставленный в нынешние условия медведь стал почти безраздельным хозяином тайги (численность тиг-

* Колчин С.А., Ткаченко К.Н., Юдин В.Г., Олейников А.Ю., Салькина Г.П. Трагедия гималайского медведя // Природа. 2017. №9. С.58–69. — Примеч. ред.

ра невелика), агрессивным, а при лютой бескормице эти несовместимые с мирным сосуществованием черты обостряются стократно. По сообщениям прессы, в 2015 г. в Приморском крае было зарегистрировано восемь нападений с серьезными последствиями, один случай — со смертельным исходом. Боюсь, что это далеко не полная статистика.

Напомню, что гималайский медведь обитает не только у нас в Приморском и Хабаровском краях. Его много, например, в Японии — так много, что, не зная, представить себе трудно. В прекрасном обзоре японских публикаций М.Вайсфельд и И.Серёдкин* сообщают: «...в настоящее время в стране обитает порядка 30 тыс. черных медведей. Для сравнения, в Приморском крае, площадь которого только в два раза меньше Японии, численность черного медведя оценивается всего в 3 тыс. особей. И это несмотря на то, что плотность людей в Приморье в 58 раз меньше (!), чем в Стране восходящего солнца». Ежегодно охотники добывают в Японии около 500 черных медведей. Кроме того, 1–2 тыс. этих хищников уничтожаются при урегулировании конфликтов с человеком.

Конечно, и в Японии отношения человека и медведя далеко не безоблачны. Те же авторы сообщают, что в голодном для медведей 2004 г. чер-

ные медведи ранили в общей сложности 94 человека, два из них скончались. Но японцы прилагают большие и разнообразные усилия для улучшения ситуации: от просвещения жителей и обучения крестьян убирать урожаи, не оставляя на полях и в садах ни крохи, до оснащения поселков герметичными для медведей баками для отходов и т.д. и т.п.

Что происходит у нас? Гоняются за истощенными животными на машинах и лодках, стреляют в детенышей... Надо отдавать себе отчет в том, что с сокращением площади кедровых и дубняков и при непротивлении сплошным рубкам коренных лесов подобные случаи будут неминуемо учащаться. Нет сомнения, что медведей, вторгшихся в поселки, объявят вне закона и истребят.

Самое время вспомнить и об усиленно охраняемом тигре, которому с сокращением численности кабанов останется только разбойничать. За подтверждением моих слов далеко ходить не надо: в октябре тигр в окрестностях пос.Бойцово Бикинского р-на убил заготовителя кедровых орехов, чего на памяти старожиллов никогда не было...

В заключение хочу поблагодарить и коллектив авторов с крайне важной и полезной для всех нас статьей, и журнал «Природа» за публикацию этого нелицеприятного материала. ■

А.А.Даневич

пос.Лесопильное, Приморский край

* Вайсфельд М., Серёдкин И. Медведи Японии // Охота и охотничье хозяйство. 2008. №2. С.40–43. — Примеч. ред.

ПРИРОДА

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Научные редакторы
М.Б.БУРЗИН
Т.С.КЛЮВИТКИНА
Е.В.СИДОРОВА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
О.И.ШУТОВА

Перевод содержания
Т.А.КУЗНЕЦОВА

Графика, верстка:
С.В.УСКОВ

Сдано в набор 26.02.2018 г.
Подписано к печати 26.04.2018 г.
Дата выхода в свет 28.05.2018 г.
Формат 60×88 1/8
Цифровая печать
Усл. печ. л. 11,16
Уч. изд. л. 12,2
Бум. л. 12
Дополнительный тираж 310 экз.
Заказ 260
Цена свободная

Адрес редакции: 117997,
Москва, ул.Профсоюзная, 90 (к.417)
Тел.: (495) 276-70-36 (доб. 4171, 4172)
E-mail: priroda@naukaran.com

Учредитель:
Президиум Российской академии наук

Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука»

16+

в следующем номере



Статистика онкологических заболеваний в России неутешительна: ежегодно около 600 тыс. узнают о своем страшном диагнозе впервые и около 300 тыс. человек умирают от этого недуга; в конце 2016 г. на учете в онкологических учреждениях состояло 3.5 млн человек. И все же разработка новых медицинских методик и технологий лечения рака дарит надежду, позволяет выжить многим. Немалая заслуга в том принадлежит специалистам Национального медицинского исследовательского центра (НМИЦ), носящего имя Н.Н.Петрова — основоположника отечественной онкологии. История НМИЦ началась в 1926 г., когда Петров открыл при Больнице имени И.И.Мечникова в Санкт-Петербурге онкологическое отделение, спустя год преобразованное в институт.

Со дня основания институт занимался разработкой современных методов лечения рака, непрерывно, даже во время Ленинградской блокады, вел научно-экспериментальную работу. В 2017 г. за выдающийся вклад в развитие науки НМИЦ имени Н.Н.Петрова награжден премией Web of Science Awards «Восходящая звезда цитируемости».

Ныне сотрудники НМИЦ имени Н.Н.Петрова активно участвуют в разработке Национальной стратегии по борьбе с онкологическими заболеваниями — документа, определяющего развитие онкологической службы страны до 2030 г. НМИЦ ежегодно с 2015 г. организует Международный онкологический форум «Белые ночи», на котором ученые и врачи всего мира обмениваются опытом.

НА ПЕРЕДОВОЙ БОРЬБЫ С РАКОМ

К 90-летию НМИЦ онкологии имени Н.Н.Петрова

