

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

4 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.Батури**, 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. Ховурлест, найденный в нижнемеловых отложениях Монголии, отличался от других ранних представителей эутериев большими клыками. См. в номере: **Лопатин А.В., Аверьянов А.О.** *Древнейшие плацентарные: начало истории успеха.*

Рисунок А.А.Атучина по эскизу А.В.Лопатина

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. В свободном прыжке. Новый Свет (Крым). См. в номере: **Агафонов А.В., Панова Е.М.** *Как общаются афалины?*

Фото Р.Алиева



«Наука»

© Российская академия наук, журнал «Природа», 2018
© ФГУП «Издательство «Наука», 2018
© Составление. Редколлегия журнала «Природа», 2018

В НОМЕРЕ:**3 А.В.Агафонов, Е.М.Панова****Как общаются афалины?**

Многолетнее исследование акустических сигналов дельфинов афалин помогает приблизиться к пониманию системы коммуникации этих животных. По-видимому, малоизученные до сегодняшнего дня импульсно-тональные сигналы несут более содержательную информацию по сравнению со свистами, сообщающими в основном о местоположении дельфинов и их социально-иерархическом статусе.

13 С.Ф.Измайлов, А.В.Никитин, В.А.Родионов**Новое о нитрате: сигнальная роль в растениях**

Нитрат регулирует широкий круг жизненно важных процессов в растениях, выступая в роли сигнального агента. Среди его первичных мишеней выделяются гены, ответственные за узнавание и транспорт нитрата, его восстановление, ассимиляцию образуемого при этом аммиака, а также обеспечение углеродом биосинтеза разнообразных аминокислот и амидов.

19 Н.С.Сидоренков, В.В.Чазов, Л.В.Зотов, И.Вильсон**206-суточный лунный цикл в аномалиях погоды**

В первой половине 2017 г. погоду на европейской части России «лихорадило»: рекорды максимумов и минимумов температуры сменяли друг друга. Анализ показывает, что в календаре аномалий температуры воздуха в Москве прослеживается корреляция с изменениями перигейного расстояния Луны.

24 Е.А.Андриянова, О.А.Мочалова**Лютики, цветущие в морозы**

На северном побережье Охотского моря (59°с.ш.) отмечено необычное для высоких широт явление — круглогодичная вегетация восьми видов цветковых растений в незамерзающих водотоках, связанных с пойменными таликами. Некоторые из этих видов образуют бутоны и цветут даже зимой, правда цветки их малы и невзрачны.

34 А.В.Лопатин, А.О.Аверьянов**Древнейшие плацентарные: начало истории успеха**

Что стало причиной эволюционного успеха древнейших плацентарных млекопитающих? Анализ находок из нижнего мела Азии позволяет предположить, что важны были как физиологические преимущества (теплокровность, органы чувств, зубная система), так и особая стратегия размножения.

41 Т.А.Гвозденко, Е.И.Герасимова**Возможности современной геммологии**

Геммология выделилась в самостоятельную дисциплину лишь в начале XX в. За более чем столетнюю историю развития она претерпела значительные изменения, пройдя путь от простейшей визуальной диагностики до использования сложных аналитических методов.

47 Е.Н.Черных**Культуры Ното: узловые сюжеты миллионлетней истории В ледовых тисках плейстоцена**

Палеолитический человек жил в загадочном мире плейстоцена, среди ледников, покрывавших фантастические площади суши. Как и в каком порядке слагались основные вехи этой эпохи? Как менялись геоэкологические условия на Евразийском континенте? Постараемся обрисовать важнейшие детали и динамику гигантского базового полигона, на котором протекало развитие человечества.

Апрельский факультатив**63 Р.К.Расцветаева****Ярмарка тщеславия Минералогическая сказка****Е.Г.Мирлин****Наука: что это?**

Вполне серьезная шутка о сути науки (74)

Научные сообщения**76 С.В.Наугольных****Новое подтверждение дальних миграций растений в позднем палеозое****Времена и люди****78 Г.Б.Наумов, Н.А.Вишневская****История становления геохимии****88****Новости науки**

Новое киллерное вещество для факультативно-анаэробных бактерий. **А.В.Якушев (88)**. Патология Тау-белка — новое связующее звено между болезнью Альцгеймера и диабетом 2-го типа (89). Взаимодействие растений с окружающим миром (90). Планирующий полет и эволюция слуха у мезозойских млекопитающих. **А.В.Лопатин (91)**. Инструменты воплощения научных идей. **Е.В.Сидорова (93)**.

95**Новые книги**

CONTENTS:

3 A.V.Agafonov, E.M.Panova

How Do the Common Bottlenose Dolphins Communicate?

Long-term study of the acoustic signals of common bottlenose dolphins helps to understand the communication system of these animals. Apparently, poorly studied to the present day burst-pulses signals carry more information than whistles, which mainly inform about the location of dolphins and their socio-bierarchical status.

13 S.F.Izmailov, A.V.Nikitin, V.A.Rodionov

Updates about Nitrate: Signal Role in Plants

Nitrate regulates a wide range of essential physiological processes in plants, acting as a signaling agent. Genes, primary targets of nitrate signaling, are responsible for nitrate sensing and transportation, its reduction as well as carbon supply for biosynthesis of amino acids and amides.

19 N.S.Sidorenkov, V.V.Chazov, L.V.Zotov, I.R.G.Wilson

206-Day Lunar Cycles in Weather Anomalies

In the first half of 2017 the weather in European part of Russia was in some kind of a "fever": records of the highest and lowest temperatures replaced each other. The analysis shows a correlation between the calendar of air temperature anomalies in Moscow and the changes in the lunar perigee distance.

24 E.A.Andriyanova, O.A.Mochalova

The Frost Flowering Buttercups

On the northern coast of the Sea of Okhotsk (59°N), an unusual phenomenon for high latitudes is observed: the all year vegetation of eight species of flowering plants in ice-free areas associated with floodplain taliks. Some of these species form buds and bloom even in winter, although the flowers are small and plain.

34 A.V.Lopatin, A.O.Averianov

Earliest Placentals: at the Dawn of Big Time

What was the reason for the evolutionary success of the oldest placental mammals? Analysis of findings from the Lower Cretaceous of Asia suggests that both physiological advantages (homeothermy, sensory organs, and dental system) and a special breeding strategy were important.

41 T.A.Gvozdenko, E.I.Gerasimova

Possibilities of Modern Gemology

Gemology became an independent discipline only at the beginning of the XX century. For more than a century of development, it has undergone significant changes, ranging from simple, visual diagnosis to the use of complex analytical methods.

47 E.N.Chernykh

Cultures Homo: The Nodal Questions of the Million' Years History

In the Pleistocene Ice Grip

Paleolithic man lived in the mysterious Pleistocene world, among the glaciers that covered fantastic land areas. How and in what order did the main landmarks of this era consist? How did the geoeological environments change on the Eurasian continent? We will try to outline the most important details and dynamics of the wide base range, on which humanity's development took place.

April Lectures

63 R.K.Rastsvetaeva

Vanity Fair

Mineralogical Fairytale

E.G.Mirlyn

What Exactly is the Science?

Quite a Serious Joke About the Essence of Science (74)

Scientific Communications

76 S.V.Naigolnykh

New Evidence of Long-Range Migration of Plants in the Late Paleozoic

Times and People

78 G.B.Naumov, N.A.Vischnevskaya

History of Geochemistry Genesis

88

Science News

A new killer substance for facultative anaerobic bacteria. A.V.Yakushev (88). Tau pathology is a new link between Alzheimer's disease and type II diabetes (89). Interaction of plants with the environments (90). Planning flight and evolution of hearing in Mesozoic mammals. A.V.Lopatin (91). Tools for application of scientific ideas. E.V.Sidorova (93).

95

New Books

Как общаются афалины?

А.В.Агафонов^{1,2}, Е.М.Панова¹

¹Институт океанологии имени П.П.Ширшова РАН (Москва, Россия)

²Карадагская научная станция имени Т.И.Вяземского — природный заповедник РАН (Крым, Россия)

В акустическом репертуаре дельфинов афалин присутствуют две категории сигналов, с большой долей вероятности выполняющих коммуникативную роль: свисты и импульсно-тональные сигналы. Более 80% свистов производится конкретными особями, т.е. они строго индивидуальны, их функция — передача информации о присутствии и местонахождении каждого члена группы афалин, свисты создают некий сигнальный контекст социума и, вероятно, сообщают о социально-иерархическом статусе и эмоциональном состоянии дельфинов. Характерные свойства импульсно-тональных сигналов — отсутствие индивидуальных особенностей и большое разнообразие. По ряду формальных признаков система импульсно-тональных сигналов афалин напоминает коммуникативную систему открытого типа.

Ключевые слова: *Tursiops truncatus*, акустические сигналы, коммуникативная система.

Слышать подводные звуки люди научились в 1940-х годах. Как это часто бывает, стимулом стали потребности военных, в особенности подводного флота: появилась необходимость обнаруживать корабли противника на большом расстоянии. До Второй мировой войны это делали самым простым и несовершенным способом: специальные «слухачи», приложив ухо к корпусу судна изнутри, пытались уловить далекие шумы двигателей. К счастью, техника не стояла на месте, и в середине XX в. были сконструированы специальные устройства — гидрофоны, позволившие прослушивать океанские глубины. (Заметим, что звук в воде распространяется в пять раз быстрее, чем в воздухе, и затухает почти в 1000 раз дольше: так, источник мощностью в несколько ватт — слабая акустическая колонка — будет слышен под водой на километры.) И вскоре выяснилось, что водная толща просто пронизана разнообразными звуками. Наиболее шумным оказался сам человек: корабли, подводное строительство, взрывы создают мощный акустический фон. Однако было обнаружено, что и многие морские обитатели постоянно издают звуки. Щелкают креветки и крабы, некоторые виды рыб скрипят плавниками и используют собственный плавательный пузырь в качестве барабана. Но чемпионами по



Александр Владиславович Агафонов, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории морских млекопитающих Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН и Карадагской научной станции имени Т.И.Вяземского — природного заповедника РАН. Область научных интересов — происхождение и развитие знаковых систем, акустическая система коммуникации дельфинов.



Елена Михайловна Панова — научный сотрудник той же лаборатории Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН. Занимается изучением поведения и акустической коммуникации китообразных.

производству подводных звуков стали представители отряда китообразных (Cetacea), и в частности различные виды дельфинов (Delphinidae).

Что мы знаем об афалинах и их сигнализации?

К настоящему времени наибольшее число проведенных исследований акустической сигнализации дельфинов посвящено афалинам (*Tursiops truncatus*). Этот вид широко распространен в большинст-



Дельфины афалины легко обучаются и способны решать сложные интеллектуальные задачи.

Здесь и далее фото предоставлены авторами

ве морей Мирового океана — от экваториальной области до границ полярных зон. Афалины обитают, как правило, в прибрежных водах, что значительно облегчает изучение их жизнедеятельности в естественной среде. Они довольно легко адаптируются к условиям содержания в неволе и быстро входят в контакт с людьми. В 1938 г. в Сент-Огастине (Флорида, США) был открыт первый стационарный дельфинарий; к настоящему времени в дельфинариях различных стран обитает уже несколько поколений афалин, родившихся в неволе и никогда ее не покидавших. Продолжительность жизни этих дельфинов достигает 60 лет.

Ученые установили, что афалины по коэффициенту энцефализации* значительно превосходят другие виды млекопитающих, уступая только человеку [1]. Им свойственны сложные формы группового, в частности охотничьего поведения, в которых отмечается своеобразное «разделение труда» между участвующими особями [2, 3]. Афалины хорошо обучаемы и способны решать довольно сложные интеллектуальные задачи [4, 5].

Планомерное изучение подводной акустической сигнализации дельфинов началось с наблюдений за афалинами, и именно у этого вида была

впервые обнаружена способность китообразных к активной слуховой ориентации под водой, или эхолокации [6]. Открытие вызвало огромный интерес и к их коммуникативной системе. Вскоре новая тема привлекла к себе внимание даже людей, далеких от науки. Своеобразным толчком к тому послужила научно-популярная книга американского нейрофизиолога Джона Лилли «Человек и дельфин» [7], которая вышла в начале 1960 годов и стала мировым бестселлером. Автор предположил, что система акустических сигналов афалин по функциям, степени сложности и информационным возможностям является аналогом человеческой речи, а сами афалины представляют собой альтернативный разумный вид. На какое-то время подобные идеи получили большую популярность в обществе. Дельфины стали героями произведений литературы, изобразительного искусства, кинематографа. Лилли организовал специальную лабораторию и в течение нескольких лет пытался наладить контакт с афалинами, обучая их английскому языку (правда, больших успехов на этом поприще он не достиг). Следует заметить, что в то время технические средства записи и обработки звука были еще не так развиты, как сейчас. В частности, только-только разрабатывалась методика спектрального анализа звука, позволяющая отображать сигналы в виде частотно-временных графиков. В дальнейшем предположения Лилли подвергались серьезной критике со стороны большинства исследователей [8, 9]. Сам же он через несколько лет прекратил работы в данном направлении.

В настоящее время в вокальном репертуаре афалин выделяют три категории сигналов: широкополосные импульсы и их серии; частотно-модулированные тональные сигналы, или свисты; импульсно-тональные сигналы, представляющие собой последовательности импульсов с высокой частотой следования (150–700 имп./с), модулированные за счет изменения межимпульсных интервалов (рис.1).

В результате экспериментов выяснилось, что широкополосные импульсы дельфины (как и другие китообразные) используют для эхолокации. Что касается коммуникативной системы афалин, то первоначальный интерес ученых был связан со свистами: их рассматривали как язык дельфинов, и им было посвящено абсолютное большинство проведенных исследований. Важным этапом в изучении свистов стало открытие в середине 1960-х годов учеными из Университета Флориды Дэвидом и Мелбой Колдуэллами так называемых автографов [10]. Они представляют собой доминирующие в индивидуальном вокальном репертуаре дельфинов свисты с уникальной для каждой особи формой частотного контура. Издавая такой сигнал, дельфин сообщает сородичам о себе, о своем местоположении в море, т.е. наиболее вероятная функция автографов — поддержание социальной структуры сообществ дельфинов [11].

* Коэффициент энцефализации — мера относительного размера мозга: отношение фактической массы мозга к средней прогнозируемой массе тела млекопитающего данного размера; определяется сложной эмпирической формулой. Используется для приблизительной оценки когнитивных способностей животного. — *Примеч. ред.*

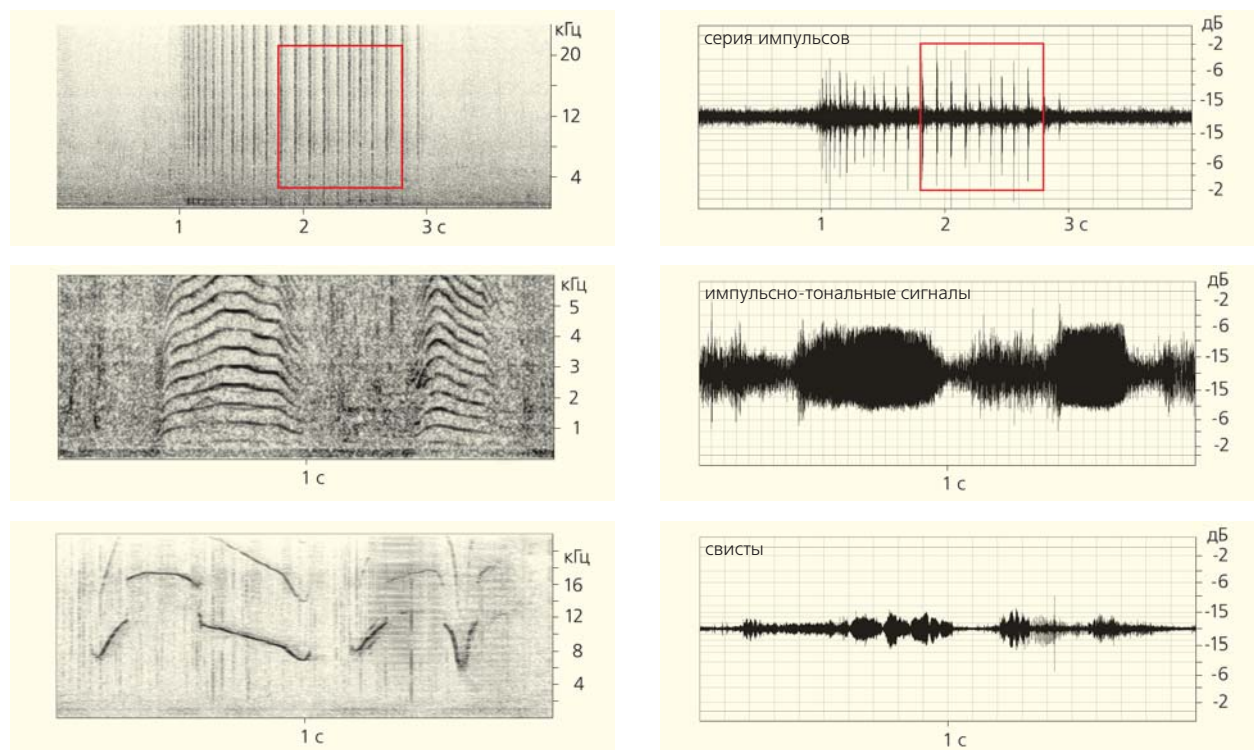


Рис.1. Три категории подводных акустических сигналов афалин. Слева — спектрограммы сигналов, справа — осциллограммы.

За прошедшие полвека было показано, что автограф формируется у дельфина на протяжении первого года жизни; при этом у самцов он может быть похож на материнский, а у самок — нет. Есть данные о том, что автограф не меняется на протяжении 10 и более лет. Считается, что в неволе дельфины используют такие свисты в основном при изоляции от сородичей, причем их доля в репертуаре составляет иногда свыше 90% всех свистовых сигналов [11]. В природных условиях продуцирование автографов связано с разделением и объединением групп дельфинов.

В то же время появились данные, будто бы противоречащие концепции «автографов» как индивидуально-опознавательных сигналов. Например, был открыт феномен звуковой мимикрии, когда дельфин периодически воспроизводит чужой «автограф» [12]. Продemonстрировано также, что один и тот же свист, обладающий свойствами «автографа», могут издавать несколько особей в группе [13]. Наконец, некоторые исследователи вообще отрицают существование «автографов» и считают, что идентификация членов сообщества происходит по индивидуальным признакам вокального аппарата [14].

В целом на основании полученных результатов исследований трудно представить себе, чтобы афалины с помощью свистов могли передавать какую-то уж очень сложную информацию, выходящую за рамки простого опознавания друг друга.

Третья категория акустических сигналов афалин (импульсно-тональные) изучена пока очень мало [15], и это, вероятно, связано с трудностями типологизации и анализа этих сигналов. Ряд исследователей относят их к категории эмоциональных, в частности связанных с агрессивным поведением [16, 17]. М.П.Иванов из Санкт-Петербургского государственного университета на основании экспериментальных наблюдений предположил, что частотно-модулированные серии широкополосных сигналов афалин могут нести сложную коммуникативную нагрузку [18].

Новый этап исследований

К сожалению, в нашей стране с начала 1990-х годов исследования подводной акустической активности афалин практически не проводились. В нашей лаборатории возобновились работы по данной тематике только в 2010 г. Мы изучаем сигналы, потенциально обладающие коммуникативными функциями. В частности, удалось уточнить типологию сигналов, исследовать динамику акустической активности афалин в дельфинарии на протяжении суток, описать индивидуальные вокальные репертуары ряда особей. И особое внимание мы уделили импульсно-тональным сигналам.

Итак, работы проводились в шести дельфинариях Крыма и Краснодарского края. Проанализированы сигналы, принадлежащие 30 особям. Боль-

шая часть материала (свыше 500 часов аудиозаписей, несколько сотен тысяч акустических сигналов) собрана в крымском дельфинарии «Коктебель». Его конструктивные особенности (наличие двух практически изолированных бассейнов, сообщающихся между собой посредством узкого прохода) позволяют достаточно надежно определять индивидуальные вокальные репертуары исследуемых дельфинов методом «относительной изоляции» [19]. Гидрофоны при этом устанавливались в обоих бассейнах, записи проводились в двухканальном режиме. Остальные дельфинарии представляли собой единые акустические пространства, и записи, соответственно, осуществлялись в монофоническом режиме (их общий объем составил более 60 ч).

В ходе исследований были зарегистрированы акустические сигналы афалин всех трех категорий: серии щелчков, свисты, импульсно-тональные сигналы. Как уже отмечено, щелчки выполняют в основном ориентационную функцию, поэтому их исследование не входило в задачи описываемой работы.

Для определения относительной доли свистов и импульсно-тональных сигналов в общем репертуаре, а также для описания временной динамики их продуцирования в дельфинарии «Коктебель» периодически осуществлялись круглосуточные записи акустической активности. Характер распределения продуцирования двух категорий сигналов показан на гистограмме (рис.2).

Согласно полученным данным, в общем репертуаре дельфинов свисты составили 36–70%, импульсно-тональные сигналы — 30–64%. Общи-

ми тенденциями стали резкое снижение уровня акустической активности в середине ночи, его возрастание к середине дня, обратная пропорция в продуцировании дельфинами свистов и импульсно-тональных сигналов (при увеличении доли сигналов одной категории снижалась доля другой). Кроме того, было обнаружено, что во время представлений и тренировок акустическая активность животных (включая продуцирование ими локационных щелчков) практически полностью отсутствовала.

Роль свистов в коммуникативной системе дельфинов

Свисты представляют собой продолжительные (до нескольких секунд) узкополосные частотно-модулированные звуки, нередко имеющие гармоническую структуру. Частота основного тона большинства свистов находится в диапазоне 3–25 кГц.

В репертуаре наблюдаемых дельфинов были выделены: свисты-автографы, определяемые как сигналы, имеющие специфичную форму контура и доминирующие в индивидуальном репертуаре особи; переменные свисты — сигналы большой длительности с ярко выраженной частотной модуляцией; фрагментарные свисты — короткие сигналы со слабо выраженной частотной модуляцией; мимикрия — подражание свисту-автографу другого дельфина (рис.3). Характерная черта системы свистов — четкое различие перечисленных сигналов. Причем большую их часть (не менее 80%) издают только определенные особи. В первую очередь это относится к свистам-автографам.

При довольно высокой вариативности частотно-временных характеристик автографа в его спектре присутствует некая основа, благодаря которой сигнал может быть идентифицирован как строго специфичный для данной особи. Мы представили автограф в виде совокупности сходных сигналов, или модели своего рода поля: в условном центре находится «идеальный» вариант, и чем сильнее реальная вариация сигналов от него отличается, тем дальше от центра поля она находится и тем меньше таких вариаций в репертуаре дельфина (рис.4). Помимо автографов в вокальном репертуаре афалин присутствует довольно много свистов, так или иначе с ними связанных. Мы уже упомянули о явлении мимикрии (воспроиз-

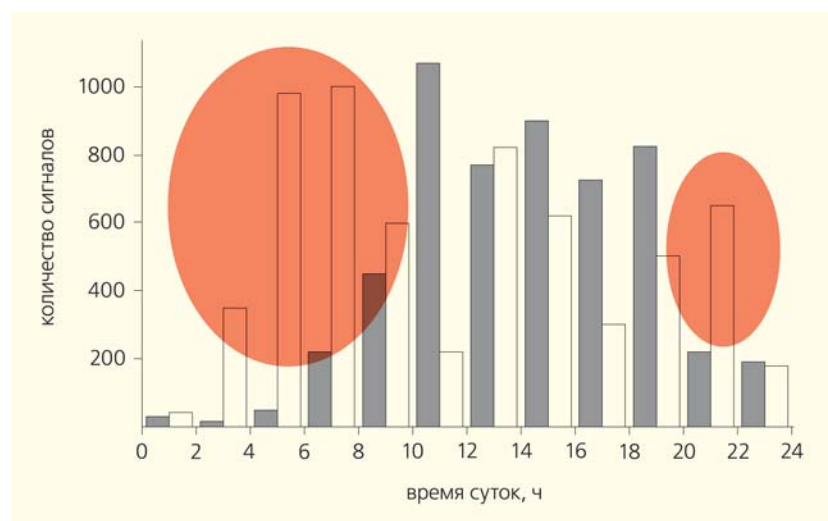


Рис.2. Суточная динамика воспроизведения дельфинами свистов и импульсно-тональных сигналов (четыре особи, дельфинарий «Коктебель»). На гистограмме серые столбцы соответствуют свистам, неокрашенные — импульсно-тональным сигналам, составляющим до 60 % суточного репертуара афалин (овалы акцентируют внимание на периоды доминирования импульсно-тональных сигналов в репертуаре афалин).

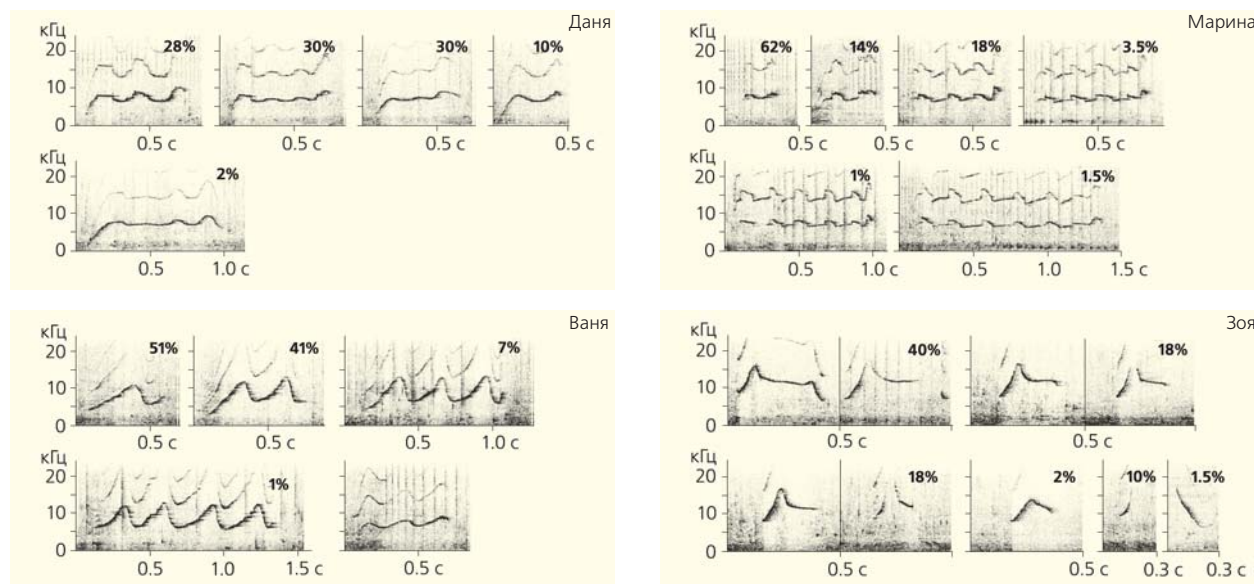


Рис.3. Спектрограммы сигналов (автографов) из индивидуальных вокальных репертуаров четырех афалин в дельфинарии «Коктебель».

ведении чужих автографов). На примере афалин дельфинария «Коктебель» установлено, что мимикрия может иметь иерархическую составляющую: так, в репертуаре Дани (доминанта) отмечена имитация автографов всех других дельфинов. В репертуаре Зои, занимавшей, по наблюдениям тренеров, низший ранг, вообще не отмечено мимикрии, зато сигналы, похожие на ее автограф, встречаются в репертуаре всех остальных особей [19]. Феномену мимикрии близко явление совместного использования автографа; иногда между ними трудно провести границу. Характерным примером в этом смысле оказались репертуары дельфинов Дани и Вани, которые пересекаются в весьма значительной степени.

С продуцированием автографов связан ряд феноменов, обнаруженных нами впервые. Прежде всего, это «наследование», заключающееся в том, что после изъятия особи из дельфинария ее доминирующий сигнал может сохраниться в репертуаре оставшихся дельфинов. Во-вторых, оказалось, что некоторые автографы существуют в виде нескольких хорошо различимых подтипов. Наконец, в репертуаре афалин присутствуют псевдоавтографы — свисты, обладающие свойствами автографа, но, в отличие от него, не доминирующие постоянно (рис.5).

Для общего наименования всех связанных с автографами сигналов мы предложили термин «персонифицированные свисты». Автографы в таком случае представляют собой наиболее характерные из них — своеобразные ядра, основу системы. Вариабельные и фрагментарные свисты, возможно, персонифицированы, хотя некоторое количество таких сигналов, вероятно, продуцируется разными особями. Очевидно, что ав-

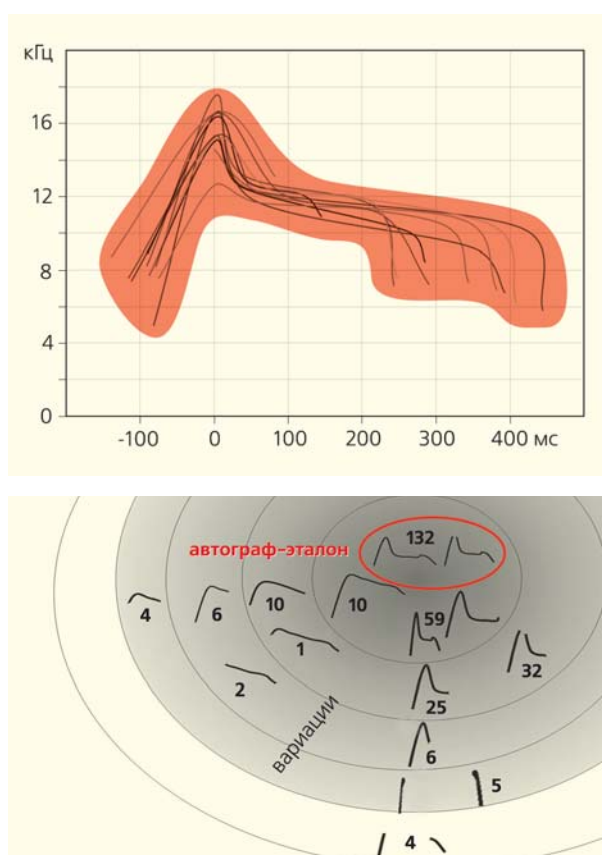


Рис.4. Автограф можно представить в виде совокупности сходных сигналов (вверху) или как модель некоего поля (внизу), где в условном центре находится «идеальный» вариант. Чем сильнее реальная вариация сигнала от него отличается, тем дальше от центра поля она находится и тем меньше таких вариаций в репертуаре дельфина.

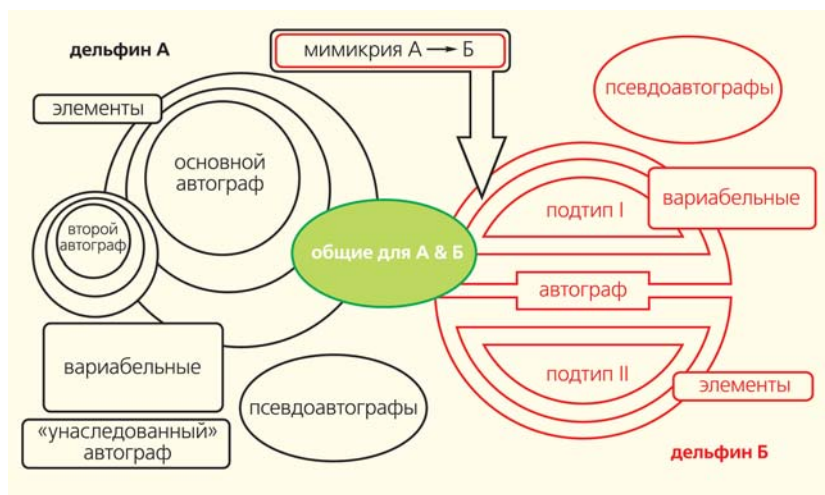


Рис.5. Схема взаимоотношения индивидуальных репертуаров свистов двух условных особей афалин. Продемонстрированы все феномены, отмеченные за время проведения исследований. Дельфин А — особь, доминирующая над дельфином Б.

тографы несут информацию как о самих животных, так и об их местоположении. Не исключено, что характер такого строго персонифицированного сигнала каким-то образом отображает и эмоциональное состояние автора. Мы предполагаем, что некоторые из индивидуальных сигналов (например, при мимикрии) играют определенную роль в регулировании социальных отношений дельфинов.



Афалины довольно легко адаптируются к жизни в дельфинарии и быстро находят контакт с людьми.

Персонифицированные свисты афалин можно рассматривать как составные элементы «информационного пространства» вида, своеобразного сигнального контекста, некоего аналога биологического сигнального поля наземных млекопитающих [20]. Учитывая высокую скорость звука в воде (порядка 1500 м/с) и возможности его распространения на большие расстояния, легко представить себе, что группа дельфинов, даже разделившись, может ощущать себя как единый социум на акватории площадью в несколько десятков квадратных километров. И тогда сигнальный контекст — важный фактор для обеспечения нормальной жизнедеятельности и поддержания социальной структуры групп

различных уровней, особенно в естественной среде обитания. Мы полагаем, что постоянное воспроизведение персонифицированных свистов различных типов (включая автографы) — вполне закономерный процесс, закрепленный на протяжении миллионов лет эволюции. Разумеется, информационные возможности коммуникативной системы, основанной на таких принципах, довольно ограничены. В целом ее можно охарактеризовать как контекстно-ситуативную, или коммуникативную систему закрытого типа.

Репертуар импульсно-тональных сигналов афалин

Как мы уже отметили, импульсно-тональные сигналы («импульсные тоны», или «взрывные импульсы») представляют собой последовательности импульсов со скоростью (частотой) следования от 150 до 700 имп./с, меняющейся за счет разной длительности межимпульсных интервалов. Для обработки и анализа эти сигналы могут быть визуализированы как в виде последовательностей импульсов, так и в виде непрерывных контуров, отражающих изменения скорости следования импульсов. В последнем случае импульсно-тональные сигналы отображаются в виде частотных полос, или гармоник (рис.6). Они могут быть представлены в формализованном виде — как графики, отображающие скорость следования импульсов в определенные моменты времени (рис.7), что значительно облегчает их обработку и анализ. Коммуникативную функцию импульсно-тональных сигналов пока нельзя считать строго доказанной; речь может идти скорее об их потенциальных информационных возмож-

ностях, представление о которых, в свою очередь, основывается на анализе их системно-структурных свойств.

Основные частотно-временные характеристики импульсно-тональных сигналов мало отличаются у разных особей; оценка степени их сходства была проведена при помощи критерия Манна—Уитни*. На примере афалин из дельфинария «Коктебель» были выявлены только половые различия: звуки самцов были более низкочастотные и продолжительные.

В отличие от свистов импульсно-тональные сигналы невозможно свести к некоторому конечному числу типов; внутри сигналов можно выделить эле-

* Критерий Манна—Уитни — статистический критерий, используемый для оценки различий между двумя независимыми выборками по уровню какого-либо признака, измеренного количественно. — *Примеч. ред.*

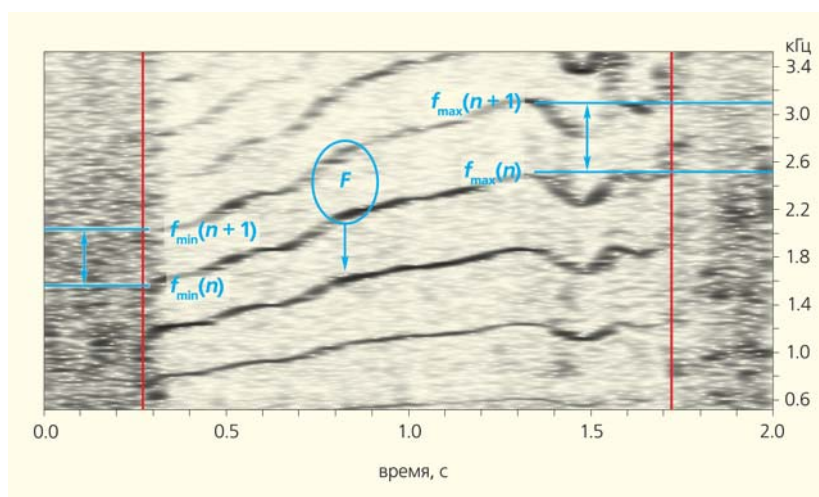


Рис. 6. Структура типичного импульсно-тонального сигнала. Спектр сигнала отображается в виде модулированного контура с многочисленными гармониками, где F — частота какой-либо гармоники сигнала в определенный момент времени. Тогда реальная скорость следования составляющих сигнал импульсов в данный момент времени соответствует F самой нижней (первой) гармоники. Иначе скорость следования импульсов может быть определена как разность величин частот соседних гармоник. На рисунке $f_{\min}(n)$ — минимальная частота n -й гармоники, а $f_{\max}(n)$ — ее максимальная частота. Соответственно, $f_{\min}(n+1)$ и $f_{\max}(n+1)$ — минимальная и максимальная частоты гармоники $n+1$. Тогда скорость следования импульсов (V) в определенный момент времени (t) определяется как $V = f_i(n+1) - f_i(n)$.

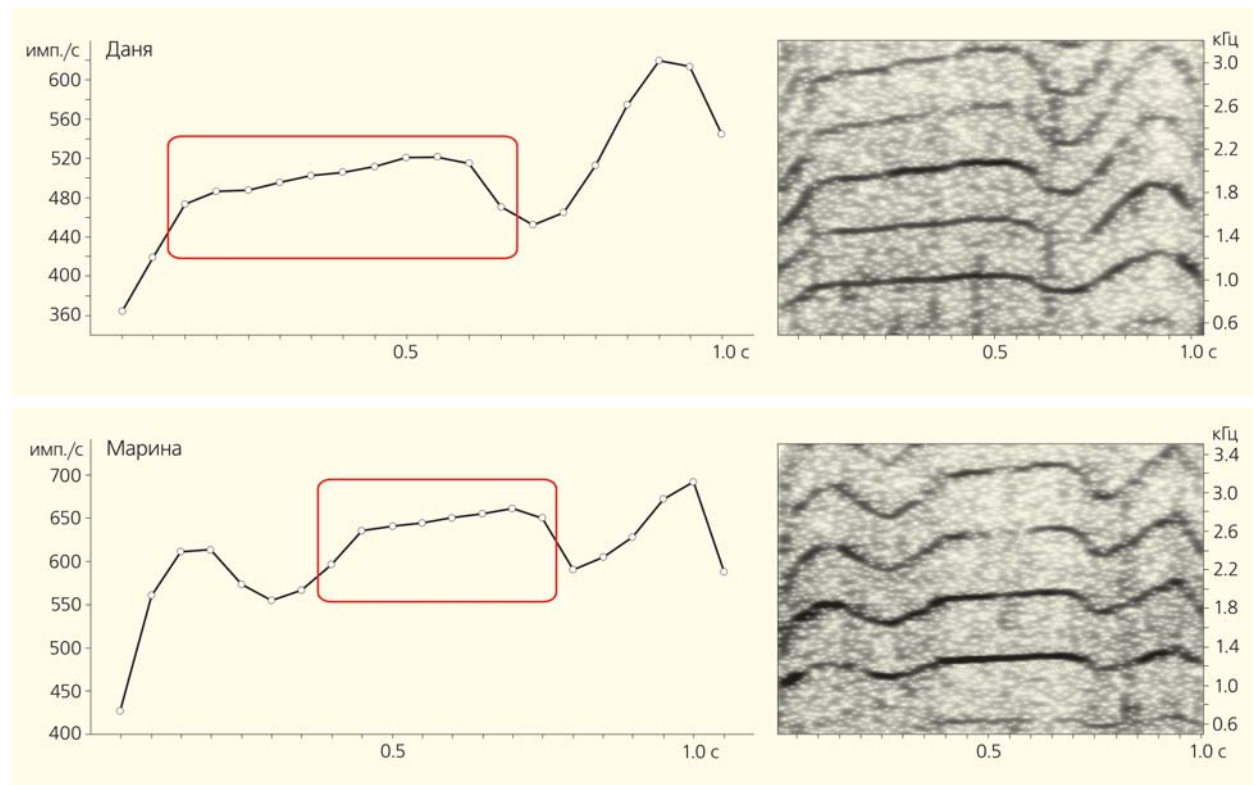


Рис. 7. Два сходных импульсно-тональных сигнала (Дани и Марины), представленные в виде реальных спектрограмм (т.е. контуров сигналов с гармониками) и графиков, отображающих скорость следования импульсов (построены по формуле $V = f_i(n+1) - f_i(n)$). Таким образом, становится значительно легче сравнивать между собой сходные элементы сигналов.

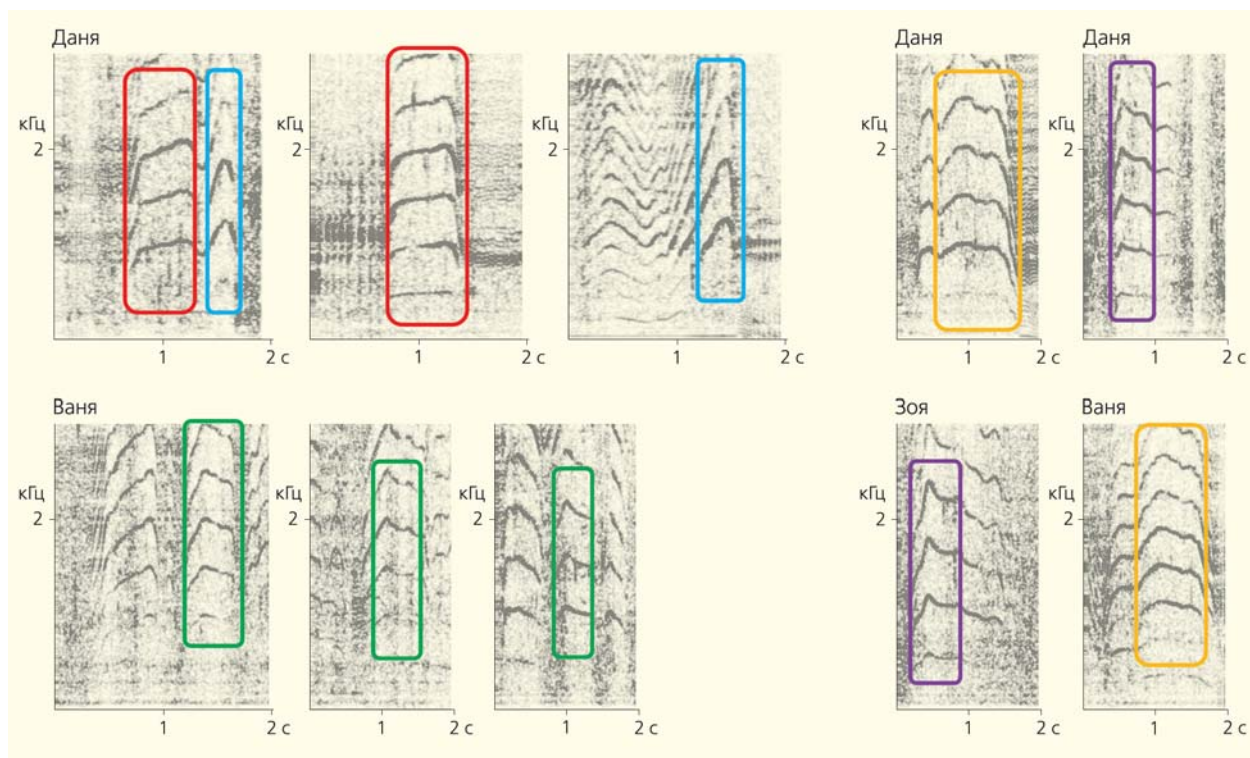


Рис.8. Сходные элементы, выделяемые в импульсно-тональных сигналах разных особей (дельфинарий «Коктебель»).

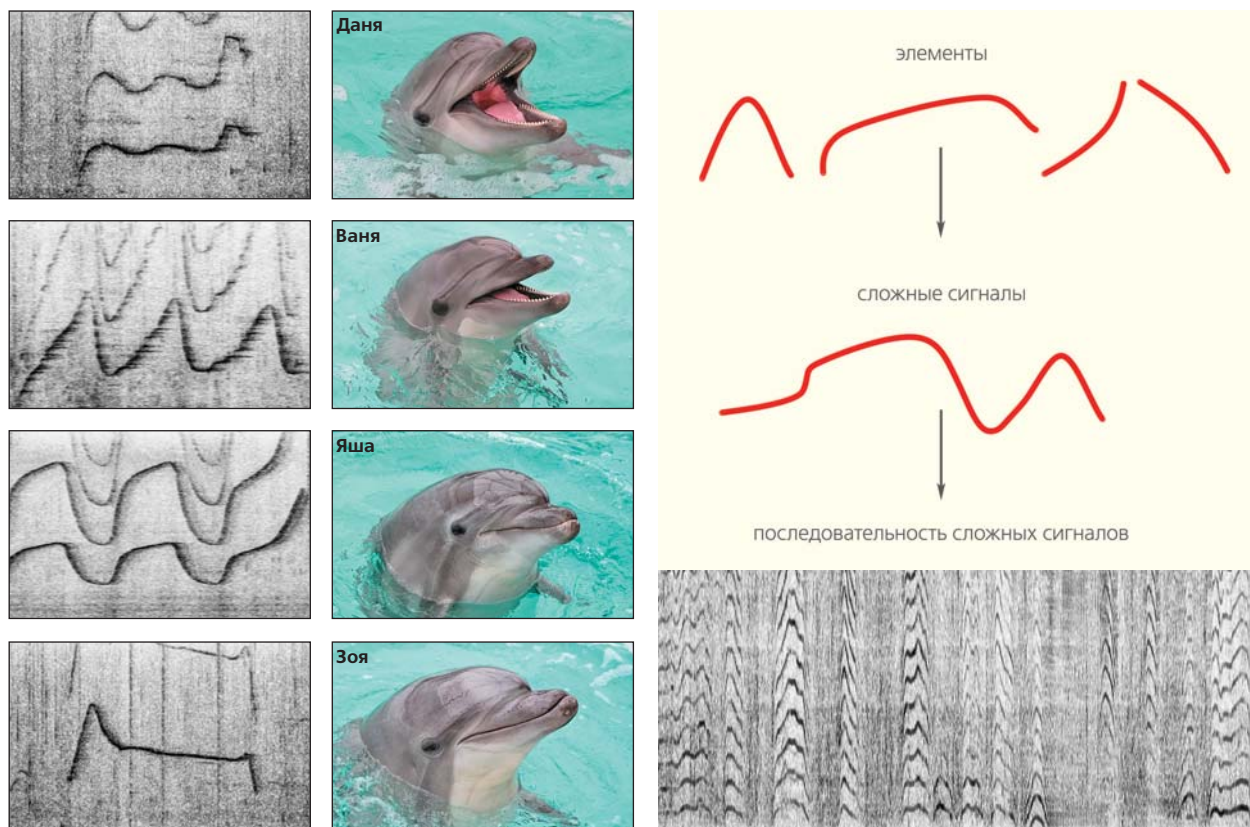


Рис.9. Схематичное изображение структуры акустического репертуара афалин: система свистов (слева) и система импульсно-тональных сигналов (справа).

менты, которые повторяются в разных комбинациях. Сходные элементы могут встречаться и в составе сложных сигналов, и как самостоятельные простые сигналы; в репертуарах разных особей присутствуют сходные сигналы и их элементы (рис.8).

Итак, у нас есть основания рассматривать категорию импульсно-тональных сигналов афалин как определенным образом организованную иерархическую систему. Исходя из вышеназванных свойств, она обладает некоторыми признаками коммуникативной системы открытого типа, к какой относится человеческая речь. Основываясь на самых общих характеристиках любых языков коммуникации, можно предложить следующую совокупность критериев. Во-первых, сигналы по своим физическим характеристикам должны быть однотипными. Во-вторых, они должны продуцироваться всеми носителями языка. Впрочем, эти два признака могут быть присущи и обычным системам коммуникации животных (т.е. системам закрытого типа). Главной отличительной чертой коммуникативной системы открытого типа считается ее иерархичность, многоуровневость [21]. Сигналы, относящиеся к такой системе, можно разложить на элементы, из которых складываются более крупные единицы (а из последних — еще более крупные). Эти элементы, соответственно, должны встречаться в репертуарах всех особей, воспроизводящих сигналы. При увеличении объема «текста» могут периодически появляться одинаковые сигналы, причем чем они проще, тем больше вероятность их повторяемости. И наконец, единицы низшего уровня объединяются в конструкции более высокого уровня не произвольно: есть комбинации, воспроизводимые наиболее часто, а некоторые варианты, напротив, невозможны.

Следует отметить, что по большинству структурных свойств импульсно-тональные сигналы



Во время представлений и тренировок акустическая активность афалин угасает.

афалин вполне удовлетворяют названным критериям. В таком случае эти сигналы могут представлять значительно больший интерес, чем свисты. Принимая во внимание высокий уровень когнитивных способностей афалин, их социальную жизнь и сложные формы поведения, вполне можно допустить: коммуникативная система, сформировавшаяся у этих животных, значительно превосходит формы общения, имеющиеся у других видов млекопитающих. ■

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (№0149-2018-0008).

Авторы глубоко признательны: А.И.Шоповалову (директору дельфинария «Коктебель») за предоставление оптимальных условий для проведения исследований, техническую и организационную помощь; А.Э.Азовцевой и Д.В.Цветковой (главным тренерам дельфинария «Коктебель») за неоценимую помощь в работе с дельфинами; Л.Б.Камаевой (директору Анапского дельфинария); В.Н.Калниболотскому (директору дельфинария «Артбухта», Севастополь); И.В.Масбергу (директору дельфинария Евпатории); М.А.Полякову (заведующему лабораторией морских млекопитающих Карадагской научной станции имени Т.И.Вяземского) за предоставленную возможность проведения работ в дельфинариях; А.С.Малышеву за изготовление и профилактику необходимой аппаратуры; А.П. и И.А.Холоденко за моральную и финансовую поддержку исследований.

Литература / References

1. Roth G., Dicke U. Evolution of the brain and intelligence. Trends of Cognitive Sciences. 2005; 9(5): 250–257. Doi:10.1016/j.tics.2005.03.005.
2. Поведение и биоакустика дельфинов. Ред. В.М.Белькович. М., 1978. [Behavior and bioacoustics of dolphins. Belkovich V.M. (ed.) Moscow, 1978. (In Russ).]
3. Shane S.H., Wells R.S., Würsig B. Ecology, behavior and social organization of the bottlenose dolphin: a review. Mar. Mamm. Sci. 1986; 2(1): 34–63. Doi:10.1111/j.1748-7692.1986.tb00026.x.

4. Крушинская Н.Л., Лисицына Т.Ю. Поведение морских млекопитающих. М., 1983. [Krushinskaya N.L., Lisitsyna T.Yu. The behavior of marine mammals. Moscow, 1983. (In Russ.).]
5. Herman L.M. Cognition and language competencies of bottlenosed dolphins. Dolphin cognition and behavior: A comparative approach. Hillsdale, 1986: 221–252.
6. Kellogg W.N., Kobler R., Morris N.H. Porpoise sounds as sonar signals. Science. 1953; 117: 239–243. Doi:10.1126/science.117.3036.239.
7. Лилли Дж. Человек и дельфин. М., 1965. [Lilly J. Man and Dolphin. Moscow, 1965. (In Russ.).]
8. Вуд Ф.Г. Морские млекопитающие и человек. Л., 1979. [Wood F.G. Marine mammals and human. Leningrad, 1979. (In Russ.).]
9. Панов Е.Н. Знаки, символы, языки. Коммуникация в царстве животных и мире людей. М., 2005. [Panov E.N. Signs, symbols, languages. Communication in the animal Kingdom and the human world. Moscow, 2005. (In Russ.).]
10. Caldwell M.C., Caldwell D.K. Individualized whistle contours in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Nature. 1965; 207: 434–435. Doi:10.1038/207434a0.
11. Janik V.M., Slater P.J.B. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. Animal behavior. 1998; 56: 829–838. Doi:10.1006/anbe.1998.0881.
12. Tyack P. Whistle repertoires of two bottlenosed dolphins, *Tursiops truncatus*: mimicry of signature whistles? Behav. Ecol. Sociobiol. 1986; 18: 251–257. Doi:10.1007/BF00300001.
13. Smolker R., Pepper J.W. Whistle convergence among allied male bottlenose dolphins (Delphinidae, *Tursiops* sp.). Ethology. 1999; 105(7): 595–617. Doi:10.1046/j.1439-0310.1999.00441.x.
14. McCowan B., Reiss D. The fallacy of «signature whistles» in bottlenose dolphins: a comparative perspective of «signature information» in animal vocalizations. Animal Behaviour. 2001; 62: 1151–1162. Doi:10.1006/anbe.2001.1846.
15. Luis A.R., Couchibo M.N., dos Santos M.E. A quantitative analysis of pulsed signals emitted by wild Bottlenosed dolphins. PLOS ONE. 2016; 11(7): 1–11. Doi:10.1371/journal.pone.0157781.
16. McCowan B., Reiss D. Maternal aggressive contact vocalizations in captive Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*): wide-band, low-frequency signals during mother/aunt-infant interactions. Zoo Biology. 1995; 14: 293–309. Doi:10.1002/zoo.1430140402.
17. Blomqvist C., Amundin M. Hi-frequency burst-pulse sounds in agonistic/aggressive interaction in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Echolocation in Bats and Dolphins. Thomas J.A., Moss C.F., Vater M. (eds.). Chicago, 2004.
18. Иванов М.П. Помехозащищенность акустической системы дельфина (эхолокация, ориентация, коммуникация). Научная сессия памяти академика Л.М.Брежневских и проф. Н.А.Дубровского. М., 2009. [Ivanov M.P. The noise immunity of the speaker system Dolphin (echolocation, orientation, communication). Scientific session in memory of academician L.M.Brezhnevskikh and prof. N.A.Dubrovsky. Moscow, 2009. (In Russ.).]
19. Агафонов А.В., Панова Е.М. Тональные сигналы (свисты) афалин (*Tursiops truncatus*) как система персонализированных акустических коммуникативных сигналов // Журнал общей биологии. 2017; 78(1): 38–55. [Agafonov A.V., Panova E.M. Tonal sounds of the bottle-nose dolphins (*Tursiops truncatus*) as a system of personalized acoustic communicative signals. Journal of General Biology. 2017; 78(1): 38–55. (In Russ.).]
20. Наумов Н.П. Биологические (сигнальные) поля и их значение в жизни млекопитающих. Вопросы териологии. Успехи современной териологии. М., 1977: 93–110. [Naumov N.P. Biological (signal) fields and their importance in life of mammals. Questions of mammals. The success of modern teriology. Moscow, 1977: 93–110. (In Russ.).]
21. Солнцев В.М. Язык как системно-структурное образование. М., 1971. [Solntsev V.M. Language as a systemic structural formation Moscow, 1971. (In Russ.).]

How Do the Common Bottlenose Dolphins Communicate?

A.V.Agafonov^{1,2}, E.M.Panova¹

¹Shirshov Institute of Oceanology, RAS (Moscow Russia)

²Vyazemsky Karadag Scientific Station — Nature Reserve, RAS (Crimea, Russia)

There are two categories of signals, with high probability carrying out a communicative role in the acoustic repertoire of Bottlenose dolphins: whistles and burst-pulses. More than 80% of whistles are uttered by concrete individuals. They are strictly individual and their function is to transfer information about the fact of presence and location of each member of the group. They create a certain «signal context» of society to report, probably, about the social and hierarchical status as well as an emotional condition of dolphins. Characteristic properties of burst-pulses, uttered by different individuals, are their high variability and lack of specific features. On a number of formal signs the system of burst-pulses of dolphins reminds an open communicative system.

Keywords: *Tursiops truncatus*, acoustic signals, communication system.

Новое о нитрате: сигнальная роль в растениях

С.Ф.Измайлов¹, А.В.Никитин¹, В.А.Родионов¹

¹Институт физиологии растений имени К.А.Тимирязева РАН (Москва, Россия)

Рассматривается роль нитрата как важнейшего сигнального агента, регулирующего широкий круг жизненно важных процессов в растениях. Среди первичных мишеней нитратного сигнала выделяются гены, ответственные за узнавание и транспорт нитрата, его восстановление, ассимиляцию образуемого при этом аммиака, а также обеспечение углеродом биосинтеза разнообразных аминокислот и амидов. Специальный раздел посвящен действию данного сигнала на вторичный метаболизм. Выявление широты охвата ферментов C- и N-обмена в качестве мишеней нитрата рассматривается как новый, формирующийся, раздел физиологии и биохимии растений, который станет теоретической основой создания перспективных подходов в современных агробиотехнологиях.

Ключевые слова: нитрат, сигнальная роль нитрата, нитратные транспортеры, регуляция метаболизма.

Уже почти 200 лет ученые разных стран мира исследуют усвоение растениями азота. В различные периоды истории отчетливо прослеживается довольно весомый вклад отечественной науки. За последние 15–20 лет выделяются новые направления исследований, благодаря которым стало понятно, что нитрат (NO_3^-) и продукты его превращения — это не только субстраты разнообразных реакций азотного обмена, но и регуляторы процессов, прямо не связанных с усвоением азота. Спектр такого рода действия неожиданно оказался весьма широким. Становилась все более очевидной значимость нитрата и его метаболитов производных как «гормоноподобных» соединений, способных совместно с продуктами фотосинтеза регулировать экспрессию более чем 50% генома растений, что в итоге определяет особенности их роста, развития и продукционного процесса. Роль нитрата как важнейшего сигнального агента проявляется на этапах его узнавания (sensing), поглощения, транспорта, регуляции общего метаболизма, а также запасания впрок в различных клетках, тканях и органах растений.

© Измайлов С.Ф., Никитин А.В., Родионов В.А., 2018



Станислав Федорович Измайлов, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией азотного обмена Института физиологии растений имени К.А.Тимирязева РАН. Область научных интересов — симбиотическая азотфиксация, азотный обмен растений. Лауреат научных премий Президиума РАН, всероссийских и международных научных обществ. Член Творческого союза художников России и Международной федерации художников.



Андрей Валентинович Никитин, научный сотрудник той же лаборатории. Научные интересы связаны с азотным обменом и его взаимодействием с углеродным метаболизмом, сигнальной ролью нитрата и аммония в растениях.



Владимир Александрович Родионов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник той же лаборатории. Занимается азотным обменом в растениях, сигнальной ролью нитрата и аммония в них, рациональным применением азотных удобрений в современных агробиотехнологиях.

Поглощение и транспорт нитрата

Среди первичных клеточных организмов на Земле были, по-видимому, нитрификаторы, окисляющие аммиак до нитрата, и фотосинтезирующие цианобактерии, продуцирующие необходимый для этого кислород. Они и подготавливали основу для дальнейшего развития более разнообразного микробного сообщества. Возникающий в таких условиях нитрат из-за исходно низкой концентрации мог выполнять не столько субстратную, сколько сигнальную роль в живых организмах. По иронии судьбы в природе происходила та последовательность событий, которая была прямо противоположна истории их изучения.

Особенность современной биогеохимической эпохи Земли состоит в высокой вариабельности размеров фондов нитрата в разных типах почв,

сопровождающейся перепадами концентрации от 10 мМ до 100 мМ. Как следствие, растения неизбежно в той или иной степени испытывают дефицит этого источника азота и, не имея возможности передвигаться, вынуждены приспосабливаться к такой нехватке. Их адаптация заключалась в индукции необходимых для узнавания и поглощения нитрата сигнальных систем, которые способствовали максимальному его усвоению для обеспечения роста и развития растений в быстро меняющихся условиях окружающей среды.

Необходимо отметить, что уровень нитрата в почвенном растворе максимален в стадии естественной смены растительности и в сезоны года с оптимальными для роста и развития растений условиями (температура, влажность, аэрация субстрата, отсутствие сомкнутого растительного покрова). Отсюда следует, что узнавание нитрата может использоваться в качестве маркера и своего рода катализатора интенсивного старта вегетации.

Поглощение и распределение нитрата по растению обеспечиваются белками, продуктами пяти генетических семейств, открытых в конце XX — начале XXI в. Эти белки получили название нитратных транспортеров (NitRate Transporter — NRT), и им присвоена последовательная нумерация. Первый из них, NRT1.1, локализован в клетках корня и осуществляет процессы узнавания нитрата, а также первичный акт его поглощения (рис.1). Оптимальная концентрация его сродства к субстрату невысока и составляет 5–10 мМ. Однако, как было установлено позднее, он может участвовать и при поглощении микромолярных концентраций, что достигается его фосфорилированием. Такого рода механизм особенно важен для узнавания нитрата. Экспрессия гена NRT1.1 (преобразование наследственной информации от гена в функциональный продукт, в данном случае — в белок) достигает максимума в растущих верхушках корней и побегов, а также в цветочных почках, определяя развитие основных вегетативных и генеративных органов растения [1].

Еще один выявленный транспортер — NRT2.1 — участвует в узнавании и поглощении нитрата как при низких (0.25–1.00 мМ), так и при высоких (5–25 мМ) его концентрациях (см. рис.1). Однако функции этого транспортера в процессе узнавания, по сравнению с таковыми у NRT1.1, более важны, чем возможность поглощения нитрата при его низком содержании.

Характерная особенность локализованного в клетках поверхности корней и флоэмы побегов транспортера NRT2.4, так же как и NRT2.1, — поглощение низких (менее 0.2 мМ) концентраций нитрата, хотя его сенсорная функция до сих пор не доказана. Ряд транспортеров участвует в межорганном и внутриклеточном распределении нитрата: NRT1.5 — из корня в побег; NRT1.8 — из ксилемы во флоэму корня; NRT1.4 — из побега в черешок листа; NRT1.7 и NRT2.5 — через флоэму

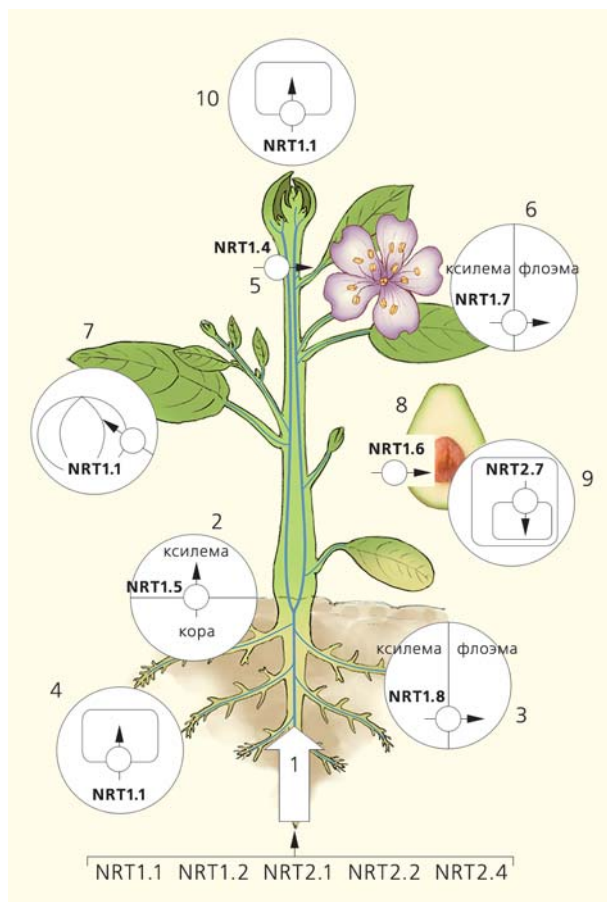


Рис.1. Локализация транспортеров и их участие в переносе нитрата в органах растения. Поток нитрата: 1 — из почвы в корень; 2 — из коры в ксилему корня; 3 — во флоэму корня с формированием нисходящего тока; 4 — в клетки апекса корня; 5 — в черешки листьев; 6 — во флоэму зрелых листьев и далее в растущую верхушку побега; 7 — в замыкающие клетки устьиц; 8 — в семязачатки; 9 — в вакуоли клеток зародыша; 10 — в клетки почек и растущей верхушки побега.

из старых листьев в молодые; NRT1.6 — из побега в семязачатки; NRT2.7 — в вакуоли клеток зародыша, что обеспечивает последующее накопление; NRT1.1 — в замыкающие клетки устьиц, регулируя транспирацию листа (см. рис.1).

Таким образом, если в 1970–1980 гг. высказывались лишь предположения об участии различных гипотетических переносчиков в поглощении и транспорте нитрата, то сейчас известны конкретные белки, действующие в этих процессах. Надо полагать, такая идентификация будет способствовать разработке новых подходов, которые помогут оптимизировать питание культур (поскольку понятна роль обнаруженных транспортеров в распознавании, поглощении разных доз нитрата и его распределении) для получения полноценного экологически безопасного урожая.

Сигнальная регуляция азотного обмена

В 1920-е годы было открыто восстановление нитрата с образованием аммиака. С.П.Костычев (отечественный микробиолог, биохимик, физиолог и ботаник; 1877–1931) обнаружил это у плесневых грибов, а О.Варбург (O. Warburg; немецкий биохимик и физиолог; 1883–1970) — у одноклеточной зеленой водоросли хлореллы. После такого открытия еще долгое время было непонятно, способны ли нитрат и продукты его превращений выполнять роль регуляторов обменных процессов в растении.

Частично ответ на этот принципиальный вопрос был получен экспериментально в 1950–60-е годы. Уже тогда стало очевидным, что NO_3^- способен индуцировать активность нитратредуктазы, вызывая ее синтез *de novo*. Напомним читателю, что речь идет о ферменте, который катализирует первую стадию ассимиляции нитрата — его превращение в нитрит. Образование конечного продукта восстановления — иона аммония (NH_4^+) — осуществляет фермент нитритредуктаза.

После того как в 1970–1990-е годы в практику исследований вошли специфические ингибиторы трансляции и транскрипции, методы иммунохимического и изотопного анализов, а также клонирование гена нитратредуктазы, вывод о регуляторной функции нитрата был подтвержден. Более того, в данный период установлено, что в клетке существуют два фонда NO_3^- — метаболически активный и запасной, причем они пространственно разьединены: первый из них сосредоточен в цитозоле, а второй — в вакуоли. Как выяснилось, именно нитрат первого фонда, значительно меньшего по сравнению со вторым, служит главным регулятором нитратредуктазы [2, 3].

Начиная с 2000-х годов использование дефектных по нитратредуктазе мутантов, у которых субстратная роль NO_3^- минимальна, привело к идентификации более 1000 генов, отвечающих на его

микромольные концентрации в течение минутных и часовых экспозиций. Как оказалось, среди этих генов были и те, которые кодируют ферменты дальнейшего метаболизма нитрата: нитритредуктазу, глутаминсинтетазу, глутаматсинтазу. В пользу сигнального характера такого рода эффектов свидетельствует сходство уровня соответствующих транскриптов в широком диапазоне концентраций нитрата: от 0.01 до 10 мМ.

В итоге постепенно стал вырисовываться круг вопросов, относящихся к множественной регуляции нитратом ферментов азотного обмена. Однако возникли другие, не менее сложные для экспериментального разрешения проблемы:

- играют ли, в свою очередь, продукты обмена нитрата (монооксид азота (NO), нитрит, аммоний, глутамат, гамма-аминобутират и др.) роль сигнальных агентов в регуляции метаболизма;
- как сопряжены механизмы их действия с таковыми у нитрата;
- к каким результирующим изменениям роста и развития растений это может приводить.

Таковы задачи предстоящих масштабных исследований, где необходимы новые подходы системной биологии с изучением генных сетей, регулирующих жизнедеятельность растения.

Сигнальная регуляция углеродного обмена

Участие нитрата в первичном углеродном метаболизме. После открытия роли хлоропласта как поставщика не только углерод-, но и азотсодержащих фотоассимилятов [4, 5] в 1970-е годы была выявлена тесная связь между фотосинтезом и обеспеченностью растений азотом, в том числе нитратным. Нитрат оказывает положительное влияние на биосинтез необходимых для фотосинтетической активности ферментов (рибулозобисфосфаткарбоксилазы, фосфоенолпируваткарбоксилазы и дегидрогеназы фосфоглицеринового альдегида) у растений бобов и кукурузы [6].

В последние 15–20 лет экспериментального поиска спектр ферментов углеродного метаболизма, регулируемых нитратом, значительно расширился. У дефицитного по нитратредуктазе табака нитрат в концентрации 12 мМ индуцировал участвующие в обмене органических кислот ферменты: фосфоенолпируваткарбоксилазу, цитозольную пируваткиназу, цитратсинтазу и НАДФ-зависимую изоцитратдегидрогеназу. Но в то же время он подавлял активность ключевого фермента биосинтеза крахмала — АДФ-глюкопирифосфорилазу. В результате накапливался основной углеродный акцептор аммиака — 2-оксоглутарат, а содержание крахмала снижалось [7]. Как выяснили французские исследователи на том же объекте, нитрат в концентрации 10 мМ индуцировал ряд ферментов цикла Кребса (цитратсинтазу, аконитазу, НАД-зависимую изоцитратдегидрогеназу) [8].

У арабидопсиса (растения из семейства капустных) также была обнаружена быстрая (20 мин) индукция нитратом в концентрации 0.25 мМ широкого круга ферментов пентозофосфатного пути (глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, 6-фосфоглюконатдегидрогеназы, трансальдолазы и транскетолазы), гликолиза (глюкозо-6-фосфатизомеразы, фосфоглицератмутазы), а также фосфоенолпируваткарбоксилазы и хлоропластной НАД-зависимой малатдегидрогеназы [9].

Во всех перечисленных примерах есть общая закономерность: нитрат подавляет депонирование углерода (в форме сахарозы и крахмала) и стимулирует наработку необходимых для усвоения азота восстановительных эквивалентов (углеродных акцепторов аммиака), а также органических анионов (малата, или яблочной кислоты), поддерживающих ионный баланс (рис.2). В итоге создается фундамент для переключения метаболизма в направлении аминокислот, амидов и белка.

Влияние на стартовые ферменты метаболизма углеводов. К настоящему времени получены первые свидетельства того, что от присутствия нитрата зависит активность стартовых фермен-

тов диссимиляции основных депо углерода клетки — сахарозы и крахмала. Так, уже при концентрации нитрата 10 мМ усиливалась светозависимая утилизация крахмала при весеннем выходе из покоя многокоренника (представителя подсемейства рясковых) [10]. В наших опытах нитрат стимулировал и независимое от света прорастание гороха посевного. Кроме того, в первые 24 ч прорастания он уже при концентрации 1 мМ стимулировал в корнях и зародышевых осях гороха активность сахарозосинтазы, сохраняющуюся при последующем переходе к автотрофии [11, 12]. Повышение активности сахарозосинтазы *in vitro* в диапазоне концентраций иона до 5 мМ с выходом на плато при 5–50 мМ характерно для сигнальных эффектов нитрата. Можно предположить, что сахарозосинтаза входит в круг первичных его мишеней — сенсоров. Альтернативные ферменты диссимиляции (распада) сахарозы — кислая и щелочная инвертазы — не были приоритетными мишенями нитрата.

В регуляции нитратом сахарозосинтазы в корнях есть вклад и второй составляющей — сахарозы [11]. В частности, нитратзависимая стимуляция

фермента четко проявлялась при достаточной для фотосинтеза освещенности растений гороха (18–20 клк), но не при световом дефиците (3–6 клк). Одна из возможных причин этого — индукция сахарозой транспортеров и рецепторов нитрата, например, NRT1.1, NRT2.1. В результате создается основа для узнавания указанного иона как непосредственно на плазмалемме, так и внутри клетки. В последнем случае можно предположить, что рецептор поступившего в цитозоль нитрата — сахарозосинтаза.

Дискриминация стартовых ферментов метаболизма сахарозы как мишеней нитрата может быть связана с их биохимической спецификой. Сахарозосинтаза служит важным звеном в наработке УДФ-глюкозы, субстрата для широкого круга биосинтезов. В их числе — образование структурных компонентов апопласта (целлюлозы, каллозы, гемицеллюлоз и пектинов), сахарозы, глико- и сульфоллипидов, гликопротеидов, гликозилированных фенольных соединений, а также конъюгированных форм фитогормонов и выполняющего важную сигнальную роль трегало-6-фосфата. Методами масс-

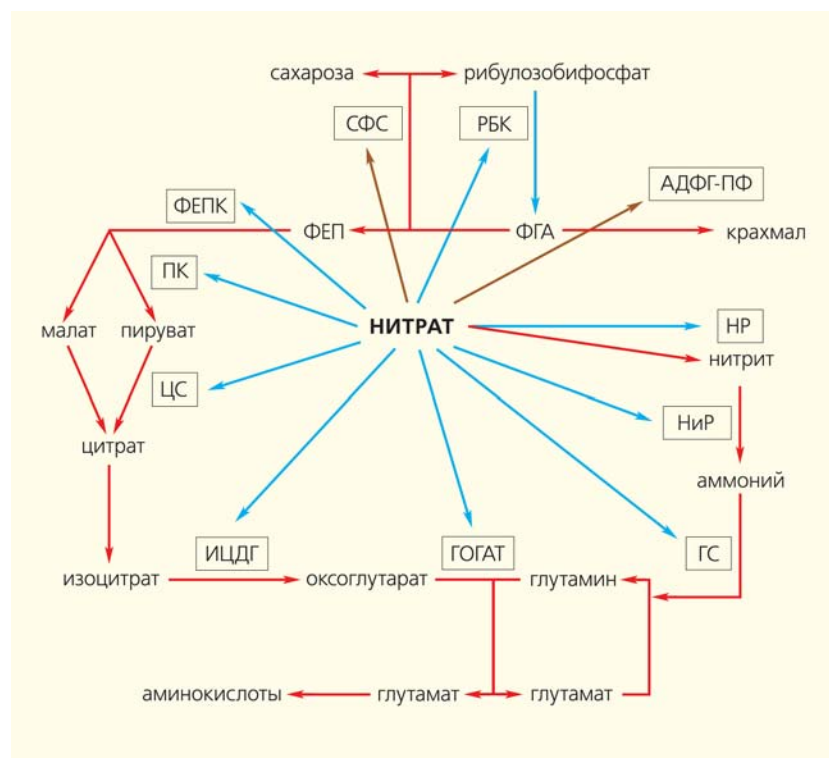


Рис.2. Действие нитрата на первичный метаболизм. Красными стрелками обозначены метаболические пути; синими — позитивное сигнальное действие нитрата; коричневыми — негативное. АДФГ-ПФ — АДФ-глюкопирифосфориллаза; ГОГАТ — глютаминсинтаза; ГС — глютаминсинтаза; ИЦДГ — изокитратдегидрогеназа; НиР — нитритредуктаза; НР — нитратредуктаза; ПК — пируваткиназа; РБК — рибулозобисфосфаткарбоксилаза; СФС — сахарозофосфатсинтаза; ФГА — фосфоглицериновый альдегид; ФЕП — фосфоенолпируват; ФЕПК — ФЕП-карбоксилаза; ЦС — цитратсинтаза.

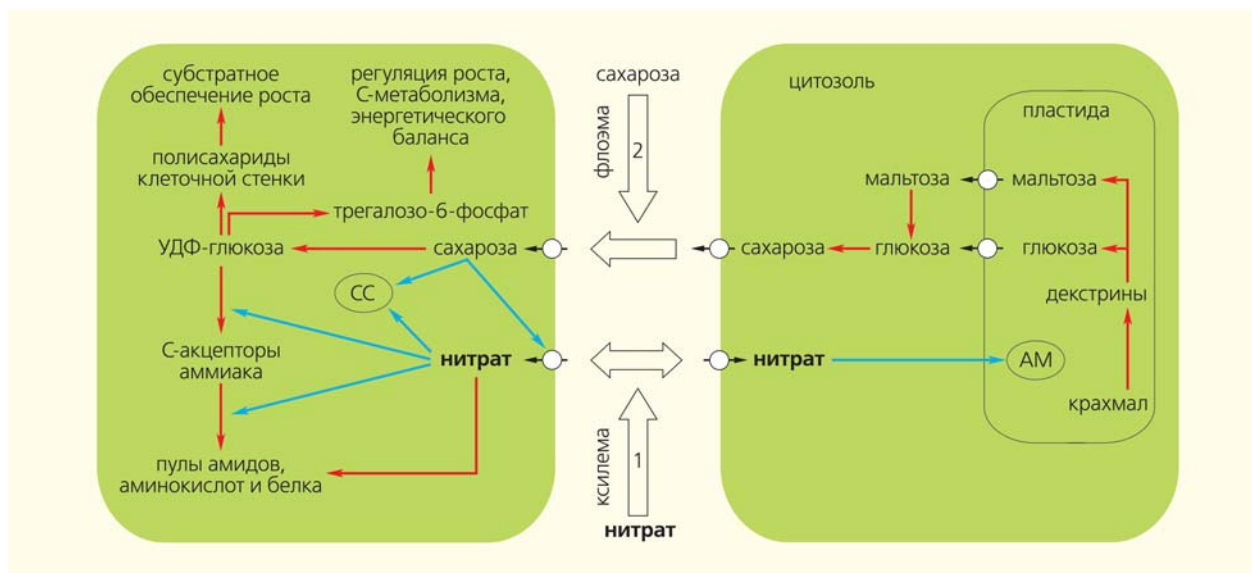


Рис.3. Действие нитрата на стартовые ферменты метаболизма углеводов. Значения стрелок — как на рис.2. Поток: 1 — нитрата по ксилеме, 2 — сахарозы по флоэме. АМ — α -амилаза, СС — сахарозсинтаза.

спектрометрии и иммунохимии доказано, что значительная часть белка сахарозсинтазы находится в комплексе с целлюлозсинтазой и/или каллозсинтазой, обеспечивая субстратом рост клеточной стенки. Это также подтверждает предположение о непосредственном участии сахарозсинтазы в нитратзависимом накоплении фитомассы.

Таким образом, положительное сигнальное действие нитрата на сахарозсинтазу создает основу для субстратного обеспечения не только азотного обмена, но и других реакций образования структурных и сигнальных компонентов растительной клетки (рис.3). Как следствие, формируется метаболический фундамент для нитратзависимой интенсификации ростовых процессов. Утилизация крахмала, зависящая от нитрата, обеспечивает стартовое наполнение пула сахарозы уже в начальный гетеротрофный период онтогенеза. Этим создается основа не только для разнообразных реакций углеродного обмена, но и для сигнального действия нитрата, его узнавания и транспорта.

Сигнальная регуляция вторичного углеродного метаболизма. Для утилизации нитрата необходимы восстановительные эквиваленты и акцепторы аммиака. Однако требующиеся для их образования углеродные субстраты также участвуют в процессах депонирования запасных углеводов и образования многих вторичных метаболитов, прежде всего фенольной природы. Негативное действие нитрата на реакции фенольного обмена было доказано в последнее десятилетие. Так, у табака нитрат в концентрации 12 мМ репрессировал широкий круг ферментов фенилпропаноидного метаболизма (фенилаланинаммиаклиазу, 4-кумарат-КоА-лигазу, хиннатоксидинамоилтрансферазу и др.), у арабидопсиса (в concentra-

ции 10 мМ) — все ферменты пути синтеза антоцианов. В итоге в обоих случаях уменьшалось содержание фенолокислот, флавоноидов и лигнина.

Кроме того, как выявлено на примере арабидопсиса, уже в концентрации 3 мМ нитрат подавляет образование только антоцианов, но не других флавоноидов или лигнина. Вероятно, большинство фенилпропаноидных метаболитов выполняет ряд важных функций, в том числе обеспечение механической прочности тканей, иммунитет к патогенам и снижение пищевой привлекательности для фитофагов. Растения адаптировались к поддержанию необходимой интенсивности большинства реакций фенольного метаболизма при концентрациях нитрата, характерных для их местообитаний. Напротив, накопление антоцианов — это, скорее всего, специфическая защитная реакция в ответ на существенный дефицит азота, распространившаяся в процессе эволюции на сезоны годичного цикла и/или на фазы развития растения, когда концентрации доступного клеткам листа нитрата минимальны.

* * *

Таким образом, выявление значительного количества ферментов углеродного и азотного метаболизма как мишеней действия нитрата, несомненно, приведет к формированию нового раздела в физиологии и биохимии растений. Если бы растения эволюционно не выработали способность усваивать NO_3^- , ответ их генома на дефицит или возрастающие концентрации этого иона в среде представлял бы собой сигнальный механизм, аналогичный тому, каким мы его представляем ныне. Изменение уровня реакции множества генов приводит к тем физиологическим пере-

нам, которые характеризуют нитрат не только как субстрат, но и как важнейший регулятор общего метаболизма, а также баланса азота и углерода. Однако роль нитрата в растении этим не ограни-

чивается. Он ответствен за многие гормональные и морфогенные изменения, которые в конечном итоге обеспечивают рост, развитие и продуктивный процесс растительного организма. ■

Литература / References

1. Guo F.-Q., Wang R., Chen M., Crawford N.M. The *Arabidopsis* dual-affinity nitrate transporter gene *AtNRT1.1 (CHL1)* is activated and functions in nascent organ development during vegetative and reproductive growth. *Plant Cell*. 2001; 13: 1761–1777. Doi:10.1105/TPC.010126.
2. Измайлов С.Ф. Азотный обмен в растениях. М., 1986. [Nitrogen Metabolism in Plants. Moscow, 1986; 320 (In Russ.).]
3. Измайлов С.Ф. Насыщение и использование фондов нитрата в листьях гороха и сахарной свеклы. *Физиология растений*. 2004; 51(2): 211–216. [Izmailov S.F. Saturation and utilization of nitrate pools in pea and sugar beet leaves. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2004; 51(2): 189–193. Doi:10.1023/B:RUPP.0000019212.20774.c7.]
4. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев: 15-е Тимирязевские чтения. М., 1956. [Nichiporovich A.A. Fotosintez i teoriya polucheniya vysokikh urozhayev (Photosynthesis and theory of receiving of high yield): the 15th Timiryazev Readings. Moscow, 1956. (In Russ.).]
5. Bassham J.A., Kirk M. Photosynthesis of amino acids. *Biochim. Biophys. Acta*. 1964; 90(3): 553–562.
6. Авдеева Т.А., Андреева Т.Ф., Ничипорович А.А. Влияние азотного питания на фотосинтез, активность карбоксилирующих ферментов и дегидрогеназы фосfogлицеринового альдегида у растений бобов и кукурузы, выращенных при разной интенсивности света. *Физиология растений*. 1974; 21(2): 308–314. [Avdeeva T.A., Andreeva T.F., Nichiporovich A.A. Vliyanie azotnogo pitaniya na fotosintez, aktivnost' karboksiliruyuschikh fermentov i degidrogenazy fosfoglicerinovogo aldegiда u rastenii bobov i kukuruzy, vyrashchennykh pri raznoi intensivnosti sveta. (Effect of nitrogen nutrition on photosynthesis, carboxylating enzymes, and phosphoglyceric aldehyde dehydrogenase in bean and corn plants cultivated at different light intensities). *Russian Journal of Plant Physiology*. 1974; 21(2): 308–314. (In Russ.).]
7. Scheible W.R., Gonzalez-Fontes A., Lauerer M. et al. Nitrate acts as a signal to induce organic acid metabolism and repress starch metabolism in tobacco. *Plant Cell*. 1997; 9: 783–798. Doi:10.1105/tpc.9.5.783.
8. Lancien M., Ferrario-Mery S., Roux Y. et al. Simultaneous expression of NAD-dependent isocitrate dehydrogenase and other Krebs cycle genes after nitrate resupply to short-term nitrogen-starved tobacco. *Plant Physiology*. 1999; 120: 717–726. Doi:10.1104/pp.120.3.717.
9. Wang R., Okamoto M., Xing X., Crawford N.M. Microarray analysis of the nitrate response in *Arabidopsis* roots and shoots reveals over 1,000 rapidly responding genes and new linkages to glucose, trehalose-6-phosphate, iron, and sulfate metabolism. *Plant Physiology*. 2003; 132: 556–567. Doi:10.1104/pp.103.021253.
10. Appenroth K.J., Ziegler P. Light-induced degradation of storage starch in turions of *Spirodela polyrrhiza* depends on nitrate. *Plant, Cell & Environment*. 2008; 31: 1460–1469. Doi:10.1111/j.1365-3040.2008.01855.x.
11. Брускова Р.К., Никитин А.В., Сацкая М.В., Измайлов С.Ф. Действие нитрата на активность сахарозосинтазы растений гороха. *Физиология растений*. 2009; 56: 85–91. [Bruskova R.K., Nikitin A.V., Satskaya M.V., and Izmailov S.F. Effect of nitrate on pea sucrose synthase. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2009; 56: 74–79. Doi:10.1134/S1021443709010117.]
12. Никитин А.В., Измайлов С.Ф. Ферменты диссимиляции сахарозы как мишени действия нитрата в раннем онтогенезе гороха посевного. *Физиология растений*. 2016; 63: 159–164. [Nikitin A.V., Ismailov S.F. Enzymes of sucrose dissimilation as targets for nitrate in early ontogenesis of garden pea. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2016; 63: 159–164. Doi:10.1134/S1021443715060138.]

Updates about Nitrate: Signal Role in Plants

S.F.Izmailov¹, A.V.Nikitin¹, V.A.Rodionov¹

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Moscow, Russia)

New approaches to the role of nitrate as an important signaling agent, regulating broad functions of essential physiological processes in plants are presented. Genes, primary targets of nitrate signaling, were identified as responsible for nitrate sensing and transportation, its reduction as well as carbon supply for biosynthesis of amino acids and amids. Special chapter is dedicated to the impact of this signaling on the secondary metabolism. The discovery of the broad enzyme spectrum as targets of nitrate in C- and N-metabolism is a new developing area of research in plant physiology and biochemistry; it creates new promising approaches in modern agrobiotechnology.

Keywords: nitrate, nitrate signaling, nitrate transporters, metabolism regulation.

206-суточный лунный цикл в аномалиях погоды

доктора физико-математических наук Н.С.Сидоренков¹, В.В.Чазов²,
кандидат физико-математических наук Л.В.Зотов^{2,3}, И.Вильсон⁴

¹Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ (Москва, Россия)

²Государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга МГУ имени М.В.Ломоносова (Москва, Россия)

³Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики (Москва, Россия)

⁴Астрономический центр Ливерпульских равнин (Ганнеда, Австралия)

В 2016–2017 гг. в аномалиях температуры воздуха и в развитии атмосферных процессов на европейской территории России ярко проявлялся 206-суточный лунный цикл. Ход аномалий температуры воздуха в Москве коррелировал с изменениями перигейного расстояния Луны. 206-суточный цикл прослеживается и в приливных колебаниях уровня морей. Анализ показывает, что связь с перигейным расстоянием Луны должна приводить к восьмилетней цикличности погодных явлений.

Ключевые слова: лунные циклы, солнечно-лунные связи, предсказания погоды, изменение климата.

Весна 2017 г. преподнесла необычный сюрприз в развитии погодных процессов на европейской территории России (ЕТР). Уже со второй декады февраля температура воздуха днем поднималась до оттепелей, а в третьей декаде и среднесуточные значения температуры стали положительными. 1 марта во многих городах ЕТР были перекрыты абсолютные максимумы температуры: она достигла значений, характерных для середины апреля; быстро таял снежный покров. В сверххранние сроки вскрылись реки Дон, Волга, Ока, Днепр, Западная Двина. Во второй декаде апреля рост температуры прекратился, и, наоборот, до последних чисел месяца сохранялись отрицательные температурные аномалии. Затем, после короткой волны летнего тепла, с 4 мая температура снова опустилась до апрельских значений, и возвращение ее к нормальным показателям началось лишь в третьей декаде мая. Но в первых числах июня вторглась новая волна холодного арктического воздуха, приблизив значения температуры к экстремально низким. Во многих областях ЕТР в июне еще отмечались заморозки.

В средствах массовой информации аномальное течение погоды весной и летом 2017 г. широко обсуждалось. Высказывались различные мнения: и что это результат действия климатического оружия, и что это один из признаков наступления холодного цикла продолжительностью в 35 лет*, но в большинстве случаев утверждалось: это обычная, свой-



Первый день лета. 2017 г.

ственная погодным процессам, случайная флуктуация температуры. Однако в природе нередко процессы, считающиеся из-за их неизученности случайными, оказывались вполне объяснимыми и закономерными. Поэтому рассмотрим более внимательно эволюцию аномалий температуры на ЕТР.

Что показывают данные наблюдений

В Гидрометцентре России ведется база MIDL, в которой в оперативном режиме по технологии А.Н.Багрова [1] вычисляются аномалии среднесуточной температуры (отклонения от нормальных значений) по данным примерно 2700 метеорологических станций, расположенных в Северном полушарии. Среднесуточные нормы температуры для местоположения каждой станции вычислены по среднемесячным нормам методом кусочно-параболической аппроксимации [2]. В своем анализе мы использовали данные базы MIDL по нескольким станциям ЕТР.

* Подробнее см.: cadaily.com/ru/news/2017/05/30/ (Академик РАН: Ураган в Москве — признак перехода к холодному циклу в 35 лет).



Николай Сергеевич Сидоренков, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Гидрометцентра России. Основные работы посвящены исследованиям неравномерности вращения Земли, движения полюсов и глобальных геофизических процессов. Неоднократно публиковался в «Природе».



Вадим Викторович Чазов, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института имени П.К.Штернберга Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Занимается определением параметров вращения Земли на основе наблюдений искусственных спутников Земли.



Леонид Валентинович Зотов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института, доцент Московского института электроники и математики имени А.Н.Тихонова НИУ Высшая школа экономики. Область научных интересов — вращение Земли, климатические изменения, математическая обработка данных.



Иан Вильсон (Ian Robert George Wilson), сотрудник Астрономического центра Ливерпульских равнин (Ганнеда, Австралия). Научные интересы связаны с изучением солнечно-земных связей и лунно-солнечных приливов.

тремумами) — около 204 сут. Этот интервал практически совпадает с 206-суточным периодом, полученным нами ранее при вычислении периодограммы 43-летнего ряда аномалий температуры Москвы [3, 4, 8]. На том же рисунке приведены расстояния между Землей и Луной в ближайшей к нашей планете точке лунной орбиты.

Опыт показывает, что радиус корреляции аномалий температуры на ЕТР составляет свыше 1000 км. Поэтому московский график хода аномалий удовлетворительно характеризует их сглаженные изменения на всей ЕТР. Однако оппоненты скептически относятся к этому положению. Поэтому мы дополнительно построили графики, аналогичные рис.1, для станций в Краснодаре, Ростове-на-Дону и Самаре (рис.2). Они оказались различными только по величине и срокам суточных флуктуаций, а по ходу скользящих средних за 27 сут аномалий температуры — очень схожими друг с другом. Видно, что аномалии температуры всех станций следуют за изменениями перигейного расстояния Луны. Лишь в сентябре—октябре 2017 г. наметилась тенденция более быстрого похолодания, хотя во время максимума перигейного расстояния 13 сентября 2017 г., как и ранее (3 марта 2017 г. и 27 июля 2016 г.), были побиты рекорды максимальной температурой во многих городах ЕТР.

На рис.1 представлен ход аномалий средне-суточной температуры в Москве за последние 16 мес. Видны их большие межсуточные флуктуации. В работах одного из авторов [3, 4] показано, что внутримесячные (полумесечные и квазинедельные) изменения температуры могут быть связаны с лунно-солнечными приливами. Поэтому ежедневные аномалии температуры сглаживались путем вычисления их скользящих средних за 27 сут значений. Видно, что сглаженная кривая выписывает отчетливую волну с минимумами в ноябре 2016 г. и мае—июне 2017 г. и максимумами в марте и сентябре 2017 г. Размах колебаний аномалий температуры достигает 10°C, а период (интервал времени между одноименными экс-

Природа 206-суточного лунного цикла

Цикл 206 суток известен в астрономии как половина главного лунного цикла (412 сут, периода изменчивости длительности лунного месяца). С физической точки зрения цикл 206 суток — это период биений частот аномалистического месяца (промежутка времени между двумя последовательными прохождениями Луны через перигей — 27.55 сут) и синодического месяца (связанного с движением Луны относительно Солнца и соответствующего изменению лунных фаз; он равен 29.53 сут) [4, 8] либо синодического месяца и периода эвекции (искажения орбиты, вызванного влиянием притяжения Солнца) в параллаксе Луны (31.81 сут).

Перигейный конец линии апсид (линии, соединяющей перигей с апогеем) лунной орбиты непрерывно перемещается по небесной сфере с запада на восток, возвращаясь примерно к тому же самому положению относительно звезд через каждые 8.85 года. Наше светило совершает оборот по созвездиям зодиака в том же направлении за 1 год. Поэтому, если перигейный конец линии апсид стар-тует в момент, когда он повер-нут к Солнцу, потребуется еще 1.127 года (411.8 дня), чтобы он снова вернулся в исходную кон-фигурацию. Это верно, потому что частоты (обратные перио-дам) двух рассматриваемых об-ращения вычитаются:

$$\frac{1}{1} - \frac{1}{8.85} = \frac{1}{1.127}.$$

Понятно, что через 206 сут перигейный конец лунной орбиты сделает половину оборота и будет повернут в противополо-жном от Солнца направлении. Фаза Луны при этом сместится на противоположную (повторится она через 412 дней).

Детали приливной цикличности

Описанная цикличность взаим-ных конфигураций двух орбит воздействует на лунные и зем-ные процессы. Например, рас-стояние между Луной и Землей при прохождении перигея изме-няется от 370 тыс. до 356 тыс. км с периодом 206 сут. Этот фено-мен иллюстрирует рис.1, где ромбиками нанесены отклоне-ния перигейных расстояний от их среднего значения, составляющего 362 464 км, а динамика изменений изображена пунктирной кривой. Продолжительность лунного аномалисти-ческого месяца тоже изменяется от 28.5 до 24.8 сут с периодом 206 сут. Земля в своем движении вокруг барицентра системы Земля—Луна отражает все движения Луны в масштабе 1:81. Поэтому планета имеет аналогичные вариации перицентрического расстояния и угловой скорости месячного обра-щения вокруг барицентра с периодом 206 сут [4, 8].

206-суточная цикличность особенностей ме-сячного обращения Земли отражается на процес-

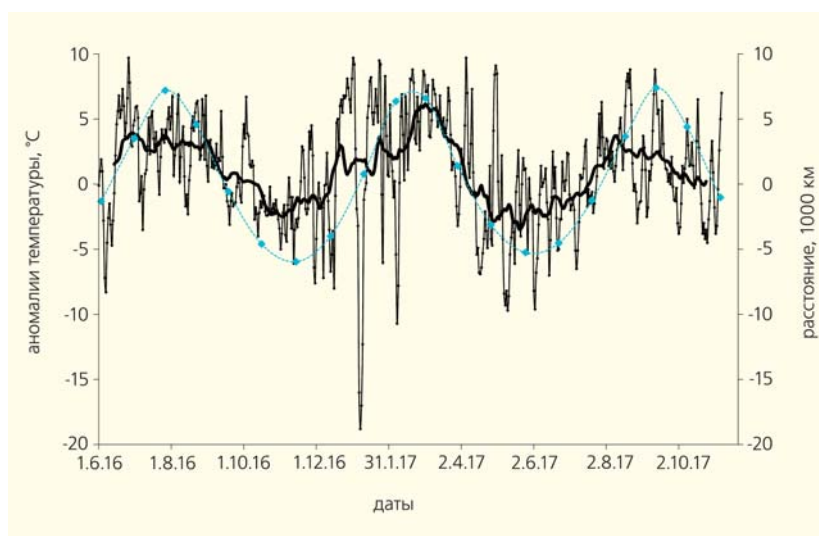


Рис.1. Отклонение перигейного расстояния Луны от 362 464 км (синие ромбики) и ход аномалий среднесуточной температуры воздуха в Москве в 2016–2017 гг. (тонкая кривая — среднесуточные значения, толстая кривая — скользящие средние за 27 сут значения).

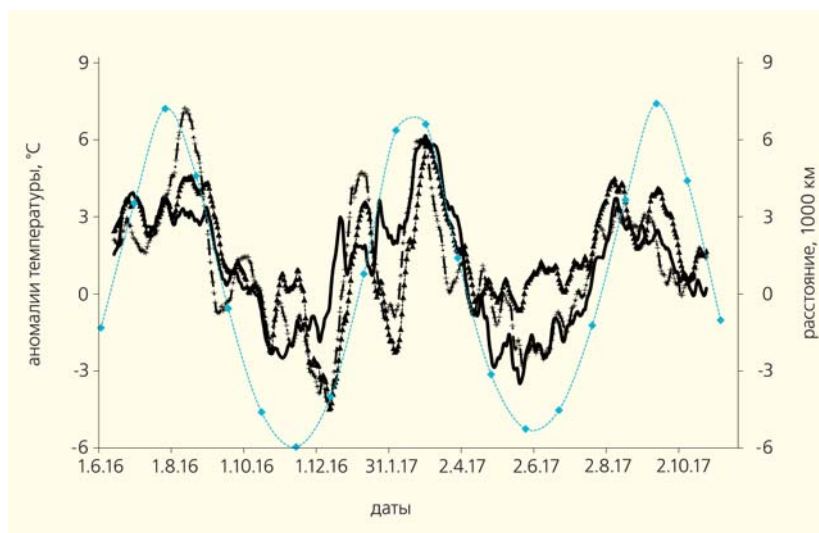


Рис.2. Ход скользящих средних за 27 сут аномалий температуры в Москве (сплошная линия), в Краснодаре (треугольники), в Самаре (плюсы) в сравнении с перигейным расстоянием Луны (синие ромбики).

сах в земных оболочках, прежде всего в атмосфере и гидросфере. Посмотрим, например, как (по данным работы Ю.Н.Авсюка и Л.Н.Маслова [7]) изменяется наибольший размах колебаний уровня моря во время полнолуний и новолуний в различных портах земного шара.

На рис.3 видно, что все приливные кривые одинаковых фаз Луны хорошо аппроксимируются синусоидой с периодом примерно 412 сут и амплитудой около 60 см. Период биений (промежуток времени между соседними узлами или пучностями) сизигийных (относящихся к ново- или

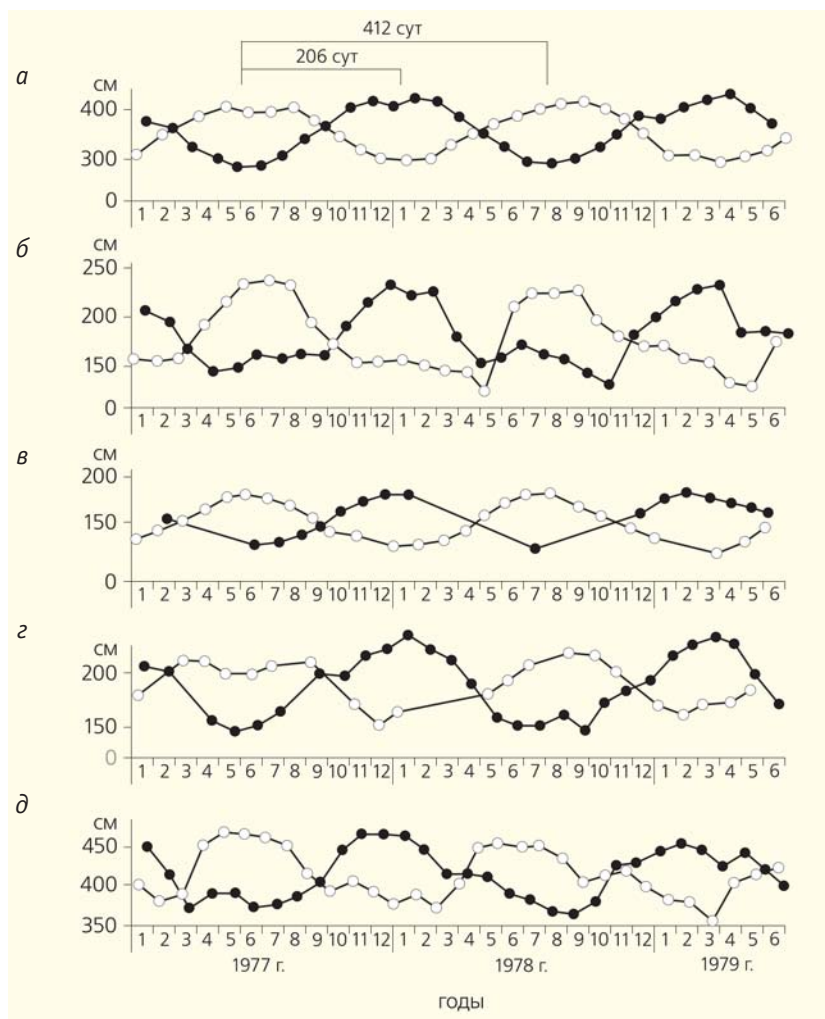


Рис.3. Размах наибольшего сизигийного прилива в моменты полнолуний (белые кружки) и новолуний (черные) в Мурманске (а), Пуэрто-Вильямсе, Чили (б), Суве, Фиджи (в), Лервике, Шотландия (з) и Магадане (д) [7].

полнолуниям) кривых равен 206 сут. Этот рисунок информативен в плане зацепки к исследованию механизма формирования 206-суточного цикла аномалий температуры. Он наводит на мысль, что колебания атмосферной циркуляции повторяют динамику сизигийных (самых мощных, поскольку приливообразующие силы Земли и Солнца действуют вдоль одного направления) приливов в океане, что может привести к формированию 206-суточных колебаний температуры воздуха. В частности, на рис.3 видно, что в полнолуния и новолуния в периоды пучностей сизигийные приливы имеют противоположные фазы, а вблизи узлов эти приливы практически одинаковы. При подобном поведении атмосферного давления это может означать, что в периоды пучностей сизигийных приливов преобладает чередование полумесячных циклонических и антициклонических процессов, а вблизи узлов — их замирание. Такая динамика атмосферных процес-

сов может привести к значительному отличию формирования температурного режима воздуха «во время пучностей» от режима формирования «вблизи узлов». Период этих различий и будет 206 сут.

Однако исследование физического механизма возникновения 206-суточных колебаний температуры воздуха — это задача дальнейшего изучения. Цель нашего сообщения — проинформировать о впервые замеченном явном проявлении 206-суточного лунного цикла в развитии погодных процессов на европейской территории России.

Влияние на сезоны

206-суточный цикл аномалий температуры приводит к нарушению сезонного температурного хода. Например, на ЕТР в 2016 г. вследствие его вклада зима наступила почти на месяц раньше, а лето 2017 г. — на месяц позже обычных сроков. За этим последовал сдвиг лета на август и задержка в наступлении осени. В январе 2018 г. фазы 206-суточного лунного и годового солнечного циклов совпали, и зима, хоть и мягкая и малоснежная вначале, но многоснежная и морозная в конце, состоялась.

На рассмотренном интервале времени совпали два экстремума (максимумы или минимумы) перигейного расстояния и температуры на ЕТР. Вырисовывается интересная зависимость: тяга случаев с рекордной максимальной температурой к максимумам перигейного расстояния, а случаев минимальной температуры — к его минимумам. Так, по данным ежедневного Гидрометеорологического бюллетеня Гидрометцентра России, вблизи максимума перигейного расстояния 1 марта 2017 г. были побиты абсолютные максимумы температуры в Москве, Санкт-Петербурге, Брянске, Ростове-на-Дону, Кирове и ряде других городов. Около последующего максимума расстояния (13 сентября) температура снова превысила установленные ранее для 12 сентября значения максимальной температуры в Великих Луках, Смоленске, Твери, Рыбинске, Симферополе, Анапе, Краснодаре и др. Случаи обновления абсолютных минимумов температуры происходят значительно реже — вероятно, вследствие глобального потепления климата. Около минимума расстоя-

ния 26 мая — 20 июня 2017 г. отмечались заморозки на ЕТР и обновлены рекорды минимальной температуры в Архангельске, Липецке, Пскове, Тамбове, Уфе и др.

Однако было бы неверно думать, что корреляция перигейного расстояния Луны с аномалиями температуры, представленная на рис.1 и 2, может существовать постоянно. Весьма вероятно, что описанный случай есть редкий эпизод синхронизации колебаний атмосферной циркуляции с колебаниями геодинимических сил в системе Земля—Луна—Солнце. Некоторые примеры такой синхронизации приведены в работах одного из авторов [4–6]. Понятно, что возможность синхронизации зависит от сезона года. 206-суточный цикл кратен четырем годам в отношении 1:7. Через четыре года фаза данного цикла становится

близкой к исходному сезону года. Казалось бы, максимальная корреляция аномалий температуры с перигейным расстоянием должна была бы иметь четырехлетнюю цикличность. Но оказалось, что она тяготеет к восьмилетнему циклу. Через четыре года фазы Луны изменяются на противоположные (вместо новолуний наблюдаются полнолуния). Напомним, что при новолунии Луна находится между Солнцем и Землей, а при полнолунии между Солнцем и Луной оказывается Земля. В этих случаях конфигурация гравитационных сил совершенно разная. Только через восемь лет повторяются и сезоны года, и одноименные фазы Луны, а 206-суточный цикл в изменениях аномалий температуры и перигейного расстояния проявляется при повторении взаимных конфигураций расположения Земли, Луны и Солнца. ■

Авторы выражают благодарность О.В.Микушиной за помощь в построении графиков.

Литература / Reference

1. Багров А.Н., Локтионова Е.А. Новая технология подготовки исходной информации для долгосрочных прогнозов погоды. Метеорология и Гидрология. 1994; 11: 100–109. [Bagrov A.N., Loktionova E.A. A new approach to information preparation for long-term weather forecasts, Russian Meteorology and Hydrology. 1994; 11: 100–109. (In Russ.).]
2. Гордин В.А. Об обратной интерполяции осредненных значений применительно к климатической информации. Метеорология и Гидрология. 1994; 11: 110–114. [Gordin V.A. On inverse interpolation of averaged data, applied to climatic information. Russian Meteorology and Hydrology. 1994; 11: 67–70.]
3. Сидоренков Н.С., Сумерова К.А. Биения колебаний температуры как причина аномально жаркого лета 2010 г. на европейской территории России. Метеорология и Гидрология. 2012; 6: 81–94. [Sidorenkov N.S., Sumerova K.A. Temperature fluctuation beats as a reason for the anomalously hot summer of 2010 in the European part of Russia. Russian Meteorology and Hydrology. 2012; 6: 81–94. (In Russ.).]
4. Сидоренков Н.С. Небесно-механические причины изменений погоды и климата. Геофизические процессы и биосфера. 2015; 14(3): 5–26; Sidorenkov N.S. Celestial mechanical causes of weather and climate change. Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2016; 52(7): 667–682. Doi:10.1134/S0001433816070094.
5. Сидоренков Н.С. О синхронизации атмосферных процессов с частотами системы Земля—Луна—Солнце. Труды Гидрометцентра России. 2016; 359: 33–47. [Sidorenkov N.S. Synchronization of atmospheric processes with frequencies of the Earth—Moon—Sun system. Proceedings of Hydrometcentre of Russia. 2016; 359: 33–47. (In Russ.).]
6. Сидоренков Н.С. О синхронизации частот земных и небесных процессов. Система «Планета Земля». М., 2017; 58–66. [Sidorenkov N.S. On synchronization of frequencies of Earth and Celestial processes. System «Planet Earth». M., 2017; 58–66. (In Russ.).]
7. Avsuk Yu.N., Maslov L.A. Long period tidal force variations and regularities in orbital motion of the Earth-Moon binary planet system. Earth, Moon, and Planets. 2011; 108(1): 77–85. Doi:10.1007/s11038-011-9381-8.
8. Sidorenkov N.S. The interaction between Earth's rotation and geophysical processes. Weinheim, 2009.

206-day Lunar Cycle in Weather Anomalies

N.S.Sidorenkov¹, V.V.Chazov², L.V.Zotov^{2,3}, I.Wilson⁴

¹Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation (Moscow, Russia)

²Sternberg Astronomical Institute of Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

³National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russia)

⁴Liverpool Plains Daytime Astronomy Centre (Gunnedab, NSW, Australia)

We report a vivid manifestation of 206-day lunar cycles in air temperature and weather anomalies over European Russia in 2016–2017. It is shown that air temperature anomalies in Moscow were highly correlated with variations in the lunar perigee distance. The analysis of this processes interconnection predicts the eight-year oscillations in weather conditions.

Keywords: lunar cycles, lunar-solar connections, weather prediction, climate change.

Лютики, цветущие в морозы

Е.А.Андриянова¹, О.А.Мочалова¹

Институт биологических проблем Севера ДВО РАН (Магадан, Россия)

Зимние местообитания лютиков.
Здесь и далее фото авторов



Возможны ли круглогодичная вегетация и цветение растений на северном побережье Охотского моря, на 59° с.ш., где снег лежит более полугода, а многолетняя мерзлота распространена почти повсеместно? Оказывается, возможны — в ручьях и реках, где образуются не замерзающие всю зиму участки с открытой водой, которые поддерживаются речными таликами. Температура воды в таких местообитаниях зимой колеблется от 0.1°C до 3°C, а воздух над водой может охлаждаться до -20°C и даже до -30°C. Здесь отмечена круглогодичная вегетация восьми видов растений, способных к росту и развитию под водой. Некоторые виды из семейства лютиковых (*Ranunculaceae*) способны не только расти, но и цвести в таких экстремальных условиях. Лютик Гмелина (*Ranunculus gmelinii*) и калужница болотная (*Caltha palustris*) могут образовывать отдельные бутоны уже в начале апреля, а шелковник, или водяной лютик японский (*Ranunculus nipponicus*), формирует бутоны почти постоянно в течение всего года. Благодаря характерному для шелковников подводному клейстогамному цветению этот вид потенциально способен цвести круглый год, даже зимой, при температуре воды около 0.5–2.5°C. Изредка из таких цветков образуются плоды, хотя семена в них, как правило, не вызревают.

Ключевые слова: водные сосудистые растения, шелковник, сезонное развитие, круглогодичное цветение, северное побережье Охотского моря.

Северное побережье Охотского моря зимой представляет собой безрадостное зрелище для непривычного глаза. С ноября до мая здесь лежит постоянный снежный покров, а реки и озера скованы льдом. Почти постоянно дует пронизывающий ледяной ветер. Возможны ли в таких условиях круглогодичные вегетация и цветение растений? Казалось бы, единственный правильный ответ на этот вопрос — «нет». Но, оказывается, иногда, при сочетании определенных природных условий и особенностей биологии растений, некоторые виды могут расти и даже цвести в холодное время года. Где же можно найти условия, позволяющие растениям вегетировать круглый год в краю, в котором снег лежит более полугода, а многолетняя мерзлота распространена почти повсеместно?

Незамерзающие водотоки — оазисы в снежной пустыне

В долинах многих рек на северо-востоке Азии всю зиму встречаются участки открытой воды, не покрывающиеся льдом в самые сильные морозы. Их существование обеспечивается постоянным поступлением воды из непромерзающих зон грунта, окруженных многолетней мерзлотой, —

© Андриянова Е.А., Мочалова О.А., 2018



Елена Александровна Андриянова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории ботаники Института биологических проблем Севера ДВО РАН. Область научных интересов — флора северо-востока Азии, биология и экология растений.



Ольга Александровна Мочалова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник той же лаборатории. Занимается изучением флоры северо-востока Азии, систематики и экологии водных сосудистых растений.

пойменных таликов. Это уникальное явление, распространенное преимущественно на северо-востоке континента, возникает потому, что значительная часть стока большинства рек этого региона идет не в их русле, а в толще аллювиальных отложений, как под руслом, так и рядом с ним. Летом за счет конвективного теплообмена между грунтовыми и поверхностными водами аллювиальные отложения хорошо прогреваются. Запасов тепла во многих пойменных таликах хватает на поддержание системы открытых всю зиму полыней [1].

Полыни, расположенные в центральной части русел крупных рек, не входили в сферу наших интересов, поскольку растения там почти не растут из-за слишком интенсивного переотложения грунта во время паводков. Мы изучали небольшие незамерзающие водотоки, глубиной от нескольких сантиметров до 1 м и шириной от 1–2 до 10–15 м. Зимой они выглядят как обычные реки и ручьи, текущие между покрытыми снегом берегами. Протяженность незамерзающих участков водотоков может составлять от нескольких десятков метров до нескольких километров. Вдоль берегов и на отмелях в морозы может образоваться тонкий слой льда, но большая часть русла остается открытой. Во время оттепелей лед полностью или частично тает, даже если температура воздуха не поднимается выше 0°C. Температура воды в незамерзающих водотоках, по данным наших измерений с помощью автоматических регистраторов температуры, с октября по май составляет от 0.1°C до 2.5°C, в зависимости от глубины и расстояния до выхода таликовых вод.

Вокруг незамерзающих участков рек и ручьев часто крутятся оляпки, на берегу можно встретить следы норки или выдры. Люди зимой обходят открытую воду стороной. И лыжники, и водители снегоходов держатся подальше, опасаясь провалиться под ненадежный тонкий лед по краям.

Несколько лет назад такие места привлекли внимание ботаников. Мы обнаружили, что в незамерзающих водотоках на протяжении зимы можно встретить не только водоросли и мхи, но и цветковые растения [2]. В этой статье мы расскажем именно о последних. В отличие от водорослей и мхов, у цветковых растений есть настоящие корни, стебли, листья, цветки и плоды. Зеленеющие всю зиму растения были найдены на свободных ото льда участках нескольких притоков рек Олы и Ямы, впадающих

в Охотское море (59° с.ш.). Живые растения были также обнаружены зимой в верховьях притока р.Колымы, в незамерзающем ручье возле выходов термальных источников у пос.Талая (61° с.ш.). Заинтересовавшись этими фактами, мы начали более подробное изучение зимнезеленых растений в условиях климата североохотского побережья, не способствующего зимней вегетации.

О зимних наблюдениях за растениями

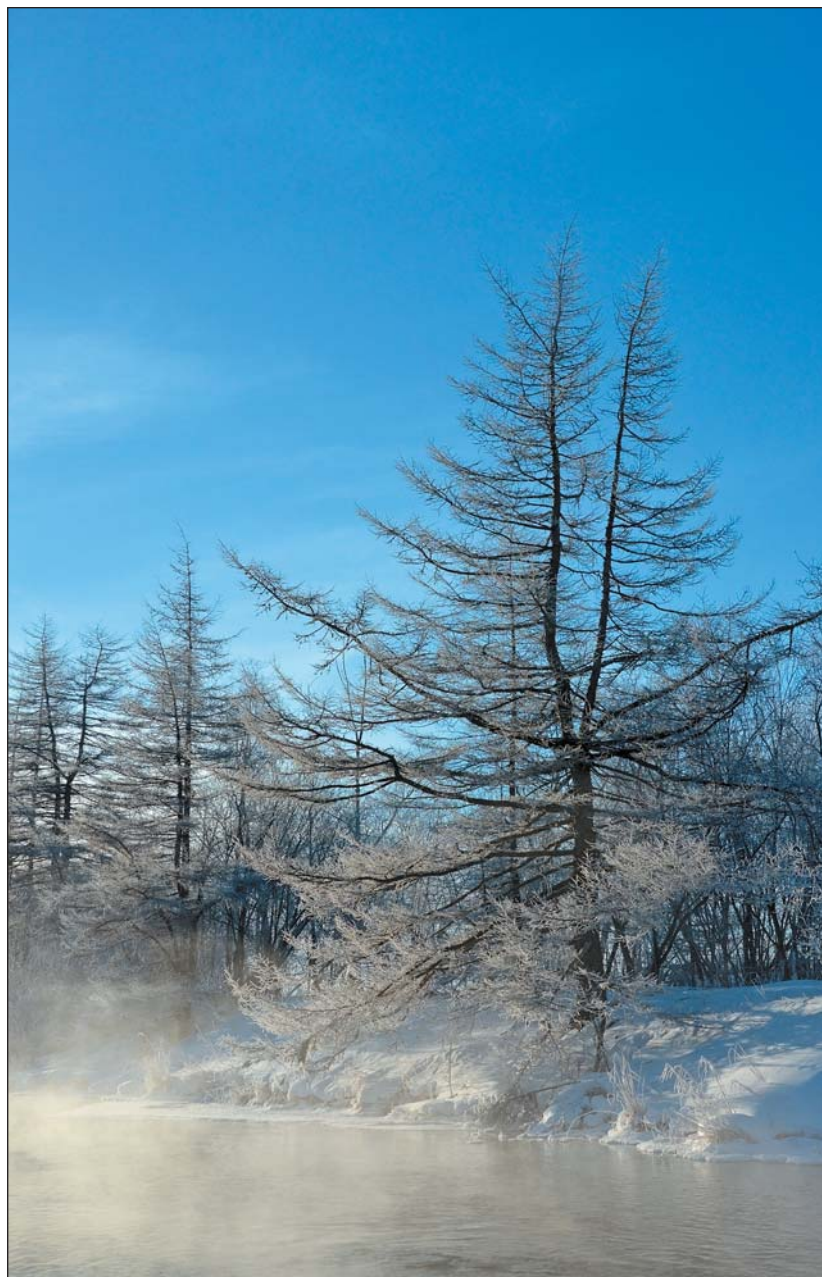
Основная часть работ проводилась на р.Угликан, притоке р.Олы, в 30 км от Магадана. Температура воды на незамерзающих перекатах этой реки в месте наших работ падает ниже 1°C в середине октября, а поднимается выше 1°C в середине-конце апреля. В декабре—феврале температура воды наиболее близка к точке замерзания (0.5°C и ниже). Температура воздуха превышает –20°C лишь в редкие оттепели. По многолетним данным, средняя температура января в Магадане составляет около –15°C.

Растения встречаются на небольшой глубине, от 5–10 до 40–50 см. Поначалу трудно было поверить, что нежные листья, отделенные от убийственного мороза всего несколькими сантиметрами ледяной воды, живы. Поняв, что в растениях теплится жизнь, мы стали выяснять, находятся ли они зимой в состоянии покоя или продолжают расти, несмотря на низкие температуры воды. Ежемесячные круглогодичные наблюдения показали, что ростовые процессы в зимующих растениях не прекращаются, хотя их интенсивность изменяется в зависимости от времени года.

При каждом визите мы проверяли наличие у растений растущих корней, молодых и отмирающих листьев, а также бутонов и цветков. Чтобы отследить изменения интенсивности ростовых процессов, раз в месяц определялся митотический индекс в зоне роста корней самого обычного из вегетирующих зимой видов — шелковника японского, или водяного лютика (*Ranunculus nipponicus*). Для сравнения дважды определяли митотический индекс для лютика Гмелина (*R. gmelinii*). Митотический индекс представляет собой отношение количества делящихся клеток к общему количеству клеток в зоне роста.

Изучение вегетирующих зимой растений растянулось на несколько лет из-за непривычных условий работы, с которыми мы столкнулись. Оказалось, что не так-то просто проводить наблюдения за водными растениями на морозе, стоя почти по колено в ледяной воде. Сбор гербария и живых растений для измерений в таких условиях требует особых навыков. Замороженные растения не пригодны ни для закладки в гербарий, ни для изучения деталей их строения, не говоря уже о выращивании в лабораторных условиях. Если нежные водные растения вынуть из воды при температуре ниже -20°C , они ледеенеют менее чем за минуту. Нужно как можно быстрее снова опустить их в воду. Вода в емкости для сбора образцов покрывается корочкой льда уже через 10–15 мин. В марте—апреле, при дневной температуре -5°C или -10°C , работать значительно легче, хотя о возможности замерзания растений забывать нельзя. Некоторые места исследований находились вдали от дорог, и до них приходилось добираться на лыжах. В таких случаях до машины или до зимовья живые неповрежденные растения можно было донести лишь в термосе.

Регистраторы температуры не раз смывались паводками или вмерзали в лед, поэтому данные о температурном режиме воды получились фрагментарными. Тем не менее через три года у нас сложилась более-менее цельная картина особенностей жизни растений в незамерзающих водотоках.



Река Угликан в январе.

Чаще всего зимой можно встретить живые растения из семейства лютиковых. Из восьми видов, обнаруженных нами в незамерзающих водотоках, к лютиковым относятся пять. Кроме шелковника японского и лютика Гмелина здесь обычна калужница болотная (*Caltha palustris*). В определенных условиях к зимней вегетации способны лютики гиперборейский (*Ranunculus hyperboreus*) и ползучий (*R. reptans*). Все вегетирующие зимой виды могут образовывать водные, т.е. полностью погруженные, формы. При отрицательной температуре воздуха любая часть растения, поднявшаяся над водой, тут же обмерзает и отмирает.



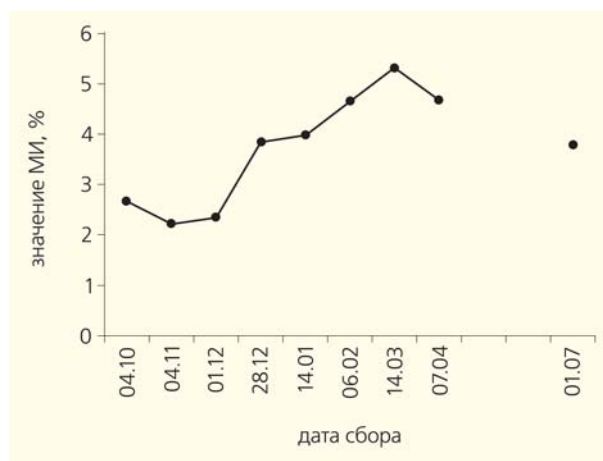
На лыжах за гербарием (ручей Неутер).

Цветение в любое время года

Лучше остальных видов приспособлен к подводному существованию шелковник японский. Наземные формы этот вид образует в исключительных случаях, при необычайно низком уровне воды. Обычно же шелковник представляет собой полностью погруженное растение. В стоячей воде тонкие побеги шелковника растут почти вертикально вверх, от дна к поверхности. От узлов отходят боковые побеги, корни и листья, рассеченные на тончайшие, как ниточки, сегменты. Со стороны шелковник напоминает продолговатое зеленое облачко, покачивающееся в воде. В проточной воде побеги растения вытянуты по течению, многочисленные корни при любой возможности уходят в грунт, чтобы растение могло удерживаться на месте. Нередко шелковник растет в густых зарослях водных мхов. Тогда часть корней держится за грунт, а остальные, спиралевидно изгибаясь, удерживают растение в толще моховой подушки.

На северо-западе России и на севере Европы виды рода шелковников проводят зиму в покоящейся фазе, в виде укороченного побега [3]. У шелковника японского в незамерзающих водотоках северо-хотского побережья фазы зимнего покоя нет. Рост корней и побегов не прекращается круглый год. Интенсивность роста корней иллюстрирует график изменения митотического индекса в зоне роста корня [4]. Наименьшие значения индекса отмечены в ноябре—декабре, наибольшие — в марте.

Внешне зимние растения шелковника почти не отличаются от летних. Зимние листья шелковника более жесткие, стебли и корни часто приобретают бурый оттенок. Весной и осенью побеги становятся ломкими и легко делятся на небольшие фрагменты. Отделившиеся кусочки уносятся течением и могут где-нибудь укорениться — так растение размножается вегетативно. Этот способ размножения занимает в жизненном цикле шелковника более важное место, чем размножение генеративное.



Динамика митотического индекса (МИ) шелковника японского в разное время года.

Преобладание вегетативного размножения над семенным характерно для многих видов шелковника, особенно в северных регионах, где подходящие для цветения и плодоношения условия случаются не каждое лето. Так, на североохотском побережье массовое цветение шелковников возможно при низком уровне воды и теплой погоде в середине лета. Такое сочетание благоприятных условий случается нечасто — раз в несколько лет.

Во время цветения над зарослями шелковника поднимаются многочисленные белые с желтой серединой цветки. Растущие под водой листья и стебли почти не видны, и кажется, что цветоножки появляются прямо из воды. Семена вызревают через 1–1,5 месяца после начала цветения при условии отсутствия больших паводков. На североохотском побережье семена шелковника японского могут созреть в конце августа — начале сентября.



Измерение лютиков в ноябре.

Круглогодичные наблюдения за сезонным развитием шелковника показали, что появление цветов возможно не только летом. Мы обнаружили, что на растущих зимой молодых побегах шелковника постоянно образуются не только листья, корни,



Трудно поверить, но в этой воде скрываются живые растения с бутонами. На вставке — шелковник японский.



Так шелковник цветет летом.

но и бутоны! Впервые увидев бутоны шелковника в холодное время года, мы решили, что это случайность, сбой в налаженном ритме сезонного развития. В дальнейшем стало понятно, что бутоны образуются непрерывно всю зиму. Более того, время от времени бутоны раскрываются в одиночные самооплодотворяющиеся (клеистогамные) цветки с зеленоватыми лепестками. От обычных клеистогамные цветки шелковника отличаются в первую очередь тем, что все фазы развития они проходят в полураскрытом состоянии под водой. Образование

ми. Даже завязавшиеся семена вызревают далеко не всегда. Плоды, образовавшиеся из клеистогамных подводных цветков, были найдены нами в июне 2016 г. в истоках р.Ланковой и в апреле 2017 г. в нескольких географических точках, количество плодов было около десятка в одном месте. К сожалению, некоторые семена были пустыми, остальные на момент сбора были недозрелыми, и мы не смогли определить их жизнеспособность. Пытаясь собрать плоды шелковника, мы заметили, что при созревании плода плодоножка начинает гнить и легко обрывается. Подводное цветение чаще всего отмечалось на перекатах с быстрым течением, ускоряющим обрыв отмирающих частей растения. Вероятно, плоды обычно отрываются от растения и уносятся течением еще до полного созревания семян.

Цветки шелковника могут раскрываться и в открытых полыньях, и под тонким слоем полупрозрачного льда. А вот такое редкое явление, как образование плодов, отмечалось нами лишь при полном отсутствии ледяного покрова. Возможно, для завязывания плодов и семян решающее значение имеют достаточное освещение и аэрация. Март и апрель, месяцы, в которые изредка происходит созревание семян шелковника, в Магаданской обл. — самое солнечное время года.



Шелковник на мелководье зимой.

Вегетация и цветение круглый год

Круглогодичная вегетация характерна для многих видов растений, произрастающих в условиях субтропического или тропического климата. Водные растения могут вегетировать всю зиму при условии существования незамерзающих водоемов. В северных регионах большинство водных растений зимуют в покоящейся стадии — в виде корневищ, укороченных побегов или специальных зимующих почек, называемых турионами. О возможности круглогодичной вегетации растений в условиях многолетней мерзлоты и при температуре воды, крайне близкой к точке замерзания, до наших работ не было известно.

В растительном мире чаще встречается ежегодное цветение, когда растения цветут один раз в год, в самый благоприятный период. Непрерывное цветение в течение всего года — редкое явление, которое широко распространено только в некоторых типах тропических лесов. Но отдельные виды, непрерывно цветущие в течение всего вегетационного периода, встречаются во всех климатических зонах от тропиков до тундр [7]. Самый известный из них — звездчатка средняя.

К видам, для которых характерно непрерывное цветение, можно отнести и некоторые шелковники. Имеются данные об отсутствии периода покоя и образовании цветков в течение всего года для нескольких видов шелковников в Великобритании [5] и в Японии [8]. В Японии, на 35° с.ш., описано два варианта сезонного развития шелковника японского. В р.Хонгу при стабильных температурных условиях (большую часть года температура воды — 13–15°C, иногда опускается до 9°C или поднимается до 16°C) для шелковника японского характерно круглогодичное цветение с пиком в июне—июле. В р.Утсуми с более изменчивыми температурами (2–8°C зимой и 10–20°C летом) растения того же вида цвели с мая по ноябрь. Рост растений в обеих популяциях не прекращался круглый год.

Для шелковника японского, как и для некоторых других видов рода, круглогодичные вегетация и цветение известны, хотя и для мест с более теплым климатом. В нашем случае удивителен факт, что растения шелковника японского непрерывно растут и образуют бутоны и цветки в условиях сурового климата и при температуре воды, близкой к 0°C. Вероятно, именно из-за низкой температуры воды плоды со зрелыми семенами зимой формируются очень редко и растения цветут «впустую».

Какие еще виды могут цвести зимой?

Шелковник — явный рекордсмен по количеству цветков в холодное время года благодаря способности к подводному цветению. Для остальных вегетирующих зимой семи видов растений водная форма роста является факультативной. Всем им для формирования цветков и плодов, как правило, необходимо поднять цветоносы над уровнем воды. К семенному размножению чаще всего приступают растения, растущие на берегу или поднявшиеся над водой в результате падения уровня воды. Как же эти виды, относящиеся к трем разным семействам, приспосабливаются к необычным для них условиям зимнего подводного существования?

Лютики Гмелина и гиперборейский летом растут преимущественно по берегам неглубоких водоемов, иногда образуя и водные формы. Вегетирующие зимой водные формы лютика гиперборейского были найдены лишь в одном месте — на незамерзающем ручье, впадающем в р.Ланковую, на глубине 0.4–0.5 м. На растениях были растущие корни и молодые листья, бутоны не обнаружены ни разу.

Водная форма лютика Гмелина внешне напоминает шелковник. Полностью погруженные растения лютика Гмелина растут всю зиму, на растении появляются новые корни и листья. В ноябре—феврале все листья остаются ярко-зелеными, в марте—апреле часть листьев краснеет и отмирает. Бутоны образуются крайне редко. За три года изучения зимней вегетации растений всего один раз были обнаружены два бутона — в апреле 2017 г. Возможно, в течение зимы лютик Гмелина



Лютик Гмелина у заснеженного берега.



Калужница под снегом в начале апреля.

время от времени образует бутоны, но при отрицательных температурах воздуха над водой они сразу же обмерзают.

Калужница болотная чаще всего растет по берегам у самого уреза воды. Изредка калужница может расти на дне ручьев. Летом такие растения малозаметны на фоне пышных береговых зарослей, но именно они зеленеют всю зиму. Для зимних растений калужницы характерны многочисленные длинные корни и несколько небольших молодых листьев. Подрастающие листья приподнимаются над водой и обмерзают. В холодное время года, в апреле 2017 г., было зафиксировано образование многочисленных бутонов калужницы в ручье Неутер в долине р. Ямы и в окрестностях пос. Снежная Долина на притоке р. Дукчи. В обоих местообитаниях часть растений росла под нависшим над водой сугробом, так что корни и основания побегов находились в воде, а листья — в толще сугроба. Остальные растения росли посреди ручьев. Бутоны формировались как под водой на некоторых полностью погруженных растениях, так и у берега под толстым слоем снега. На одном растении калужницы, у самого берега, бутон начал раскрываться под водой в цветок с желтовато-зелеными мелкими лепестками.

Зимой на дне ручьев можно встретить живые растения из семейства злаковых — лисохвост равный (*Alopecurus aequalis*) и щучку северную (*Deschampsia borealis*). Активный рост корней и листьев у этих видов начинается в марте—апреле. Летом, при высоком уровне воды, растения лисохвоста и щучки выглядят примерно так же, как зимой или весной. Поднять над водой листья и сформировать колоски они могут при существенном понижении уровня воды, когда обнажаются отмели и косы.

В незамерзающем ручье возле пос. Талая, кроме известных ранее вегетирующих зимой видов, в декабре 2016 г. были собраны лютик ползучий и водяная звездочка болотная (*Callitriche palustris*). Последние два вида пока не отмечены нигде более, поэтому мы не знаем,

могут ли они расти зимой в водотоках, лишенных притока термальных вод.

Таким образом, на северном побережье Охотского моря (59° с.ш.) возможна круглогодичная вегетация не менее чем восьми видов цветковых растений, способных к образованию водных форм. Необычный для высоких широт ритм сезонного развития возможен в специфических местообитаниях — незамерзающих водотоках, связанных с пойменными таликами и распространенных по всему северо-востоку Азии.

В холодное время года у некоторых видов растений могут даже образоваться бутоны. Бутоны калужницы и лютика Гмелина отмечались однажды, в апреле. У шелковника японского бутоны образуются в течение всего года. Благодаря характерному для шелковника подводному клейстогамному цветению этот вид потенциально способен цвести круглый год при температуре воды около 0.5–2.5°C. Единичные клейстогамные цветки шелковника могут появляться в любое время года. Изредка из таких цветков даже образуются плоды.

Жаль, что цветы шелковника и калужницы, появляющиеся в холодное время года, малы и невзрачны и не могут служить основой для легенды о зимних подснежниках. ■

Авторы благодарны О.Н.Вохминой и Л.А.Зеленской за помощь в проведении полевых работ, а также инспекторам заповедника «Магаданский» И.В.Учуеву и В.А.Остапчене — за возможность проведения исследований в бассейне р. Ямы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 15-29-02498-офи_м).

Литература / References

1. Михайлов В.М. Теплые поймы холодных рек. Природа. 2009; 5: 32–38. [Mikhailov V.M. Warm flood-lands of cold rivers. Priroda. 2009; 5: 32–38. (In Russ.).]
2. Мочалова О.А., Андриянова Е.А., Бобров А.А. Экология и фенология гетерофильного речного шелковника *Batrachium nipponicum* (Ranunculaceae) на юге Магаданской области. Гидробиотика-2015: Материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием по водным макрофитам. Ярославль, 2015; 187–189. [Mochalova O.A., Andrianova E.A., Bobrov A.A. Ecology and phenology of heterogenic *Batrachium nipponicum* (Ranunculaceae) in the southern part of Magadan region. Hydrobotany-2015: Proceedings of VIII all-russian conference with international participation on aquatic macrophytes. Yaroslavl, 2015; 187–189. (In Russ.).]
3. Мовержоз Е.А., Бобров А.А. Сравнительная морфология и биология водяных лютиков *Ranunculus circinatus*, *R. trichophyllus* и *R. kauffmannii* (*Batrachium*, Ranunculaceae) в Средней России. Экология, морфология и систематика водных растений: Труды Института биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН. Ярославль, 2016. 76 (79): 93–118. [Movergoz E.A., Bobrov A.A. Comparative morphology and biology of water crowfoots *Ranunculus circinatus*, *R. trichophyllus* и *R. kauffmannii* (*Batrachium*, Ranunculaceae) in Central Russia. Ecology, morphology and systematics of aquatic plants: Transactions of I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS. Yaroslavl, 2016. 76 (79): 93–118. (In Russ.).]
4. Андриянова Е.А. Динамика митотической активности у зимующих растений *Batrachium nipponicum* (Ranunculaceae). Современные проблемы биоморфологии: Материалы научной конференции с международным участием. Владивосток, 2017; 5–6. [Andrianova E.A. Dynamics of mitotic activity at wintering plants *Batrachium nipponicum* (Ranunculaceae). Contemporary Issues in Biomorphology: Proceedings of Conference with International Participation. Vladivostok, 2017; 5–6. (In Russ.).]
5. Cook C.D.K. Studies in *Ranunculus* subgenus *Batrachium* (DC) A. Gray. II. General morphological considerations in the taxonomy of the subgenus. Watsonia, 1963; 5(5): 294–303.
6. Wiegand G. Notes on Japanese *Ranunculus* subgenus *Batrachium*. Acta Phytotaxonomica et Geobotanica. 1988; 39(4–6): 117–132.
7. Жмылев П.Ю., Карпухина Е.А., Жмылева А.П. Вторичное цветение: индукция и нарушение развития. Журнал общей биологии. 2009; 70(3): 262–272. [Zhmilyov P.Y., Karpukhina E.A., Zhmilyova A.P. Secondary flowering: the induction and development abnormalities. Journal of General Biology. 2009; 70(3): 262–272. (In Russ.).]
8. Kimura Y., Kunii H. Comparison of morphological traits and growth characteristics in *Ranunculus nipponicus* var. *submersus* and *R. nipponicus* var. *okayamaensis*. Japanese Journal of Ecology. 1998; 48: 257–264.

The Frost Flowering Buttercups

E.A. Andrianova¹, O.A. Mochalova¹

¹Institute of Biological Problems of the North, Far Eastern Branch of RAS (Magadan, Russia)

Is the all-year vegetation and flowering of plants possible at 59°N on the northern coast of the Sea of Okhotsk, where the snow lies for more than half a year, and the permafrost is widespread almost everywhere? It turns out that it is possible — in streams and rivers, where there are ice-free all winter areas with open water, supported by floodplain taliks. The water temperature in such habitats ranges from 0.1°C to 3°C in winter, and the air above the water can be cooled to –20°C or –30°C. Here was noticed the year-round vegetation of 8 vascular plant species, capable of growth and development, being completely submerged. Some species from the Ranunculaceae Family can not only grow but also bloom in such extreme conditions. *Ranunculus gmelinii* and *Caltha palustris* can form separate flower buds in April, when everything is still covered with snow. However, Japanese Water-crowfoot *Ranunculus nipponicus* form buds almost constantly throughout the year. Through the underwater cleistogamous flowering typical for Water-crowfoot, this species is potentially able to bloom all year round, even in winter at the water temperature approximately 0.5–2.5°C. Occasionally, such flowers formed fruits, although the seeds in them, as a rule, do not ripen.

Keywords: aquatic vascular plants, Water-crowfoot, seasonal development, all-year flowering, coast of the Sea of Okhotsk.

Древнейшие плацентарные: начало истории успеха

академик А.В.Лопатин¹, А.О.Аверьянов²

¹Палеонтологический институт имени А.А.Борисяка РАН (Москва, Россия)

²Зоологический институт РАН (Санкт-Петербург, Россия)

Анализ находок древнейших плацентарных млекопитающих в нижнем мелу Азии (возраст 110–130 млн лет назад) позволяет предположить, что начало их эволюционному успеху положили как физиологические преимущества, связанные с совершенствованием теплокровности, органов чувств и зубной системы, так и особая стратегия размножения, включающая быстрый ювенильный рост, ускоренное взросление и развитую заботу о потомстве.

Ключевые слова: плацентарные млекопитающие, мезозой, ранний мел, происхождение, эволюция, репродуктивная стратегия, онтогенез.

Большинство современных млекопитающих (включая человека) плацентарные. Если уподобить эволюционное древо плацентарных обычному дереву, то можно выделить на нем крону (в современной филогенетической систематике крону — группу) и ствол с опавшими ветками (стволовую группу). К кроне относятся как все современные плацентарные и их ближайший общий предок, так и все вымершие потомки этого предка. Остальная, полностью вымершая, часть древа — стволовые эутерии. Это таксоны, которые филогенетически ближе к современным плацентарным, чем к современным сумчатым. Кроне и стволовой группы вместе называются общей, или тотальной, кладой Pan-Placentalia (=Eutheria). Сумчатые млекопитающие (Metatheria) — это сестринская клада для Eutheria. Обе они объединяются в кладу териевых и вместе со своим гипотетическим общим предком формируют крону зверей (Theria). В свою очередь, стволовыми териями именуются вымершие таксоны, филогенетически более близкие к общему предку современных териевых, чем к другим млекопитающим, например однопроходным, или яйцекладущим (Monotremata). Клады и группы филогенетической систематики отличаются от традиционных таксонов высокого ранга (классов, подклассов, от-



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, антропогенез.



Александр Олегович Аверьянов, профессор РАН, доктор биологических наук, заведующий лабораторией териологии Зоологического института РАН, профессор Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета. Научные интересы связаны с морфологией и эволюцией позвоночных животных.

рядов, семейств и так далее) тем, что все виды или роды в конкретной группе имеют общего предка, который обязательно включается в такую группу.

Теперь, когда мы договорились о том, кого считать «своими», отметим следующие неожиданные факты. Если вымершие млекопитающие считаются эутериями в систематическом смысле, то это вовсе не означает, что они обязательно имели плаценту. А если метатериями, то не обязательно имели сумку. Первично все млекопитающие были яйцекладущими, как современные утконос и ехидна, и в основании эволюционных вет-

вей как плацентарных, так и сумчатых тоже находились яйцекладущие звери.

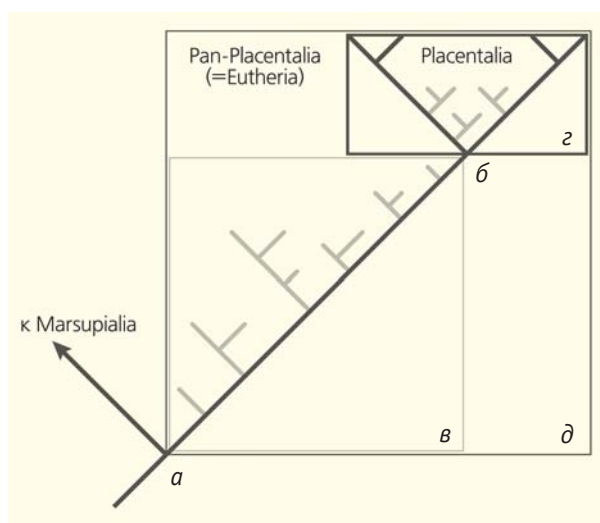
По данным молекулярной биологии предполагается, что дивергенция сумчатых и плацентарных млекопитающих могла произойти 147 млн лет назад [1]. Примерно тем же временем, т.е. раннемеловой эпохой, датируется появление в геологической летописи первых стволовых эутериевых млекопитающих. Тогда сушей безраздельно владели рептилии — многочисленные динозавры и их родственники. Для представителей древних групп млекопитающих (триконодентов, симметродонтов, мультитуберкулят и др.) оставалась возможность развиваться лишь в мелком размерном классе, что они и делали уже многие миллионы лет. Древние плацентарные довольно быстро заняли важное место в сообществах. Но почему и как это произошло? Чтобы ответить на эти вопросы, нужно проанализировать некоторые аспекты строения скелета, репродуктивной биологии и образа жизни этих вымерших существ.

Пересчитать все зубы

Прежде всего отметим, что большинство находок мезозойских млекопитающих составляют фрагменты челюстей или даже изолированные зубы. Находки целых черепов и скелетов исключительно редки. Поэтому выводы об образе жизни этих древних форм несут преимущественно гипотетический характер. Удивительным образом способ размножения сумчатых млекопитающих нашел отражение в их зубной системе. Дело в том, что новорожденные детеныши сумчатых проводят один-два месяца в сумке матери, прикрепившись к ее соску. Из-за этого у них нарушается нормальная для стволовых териев смена зубов, в результате чего трансформируется зубная формула: у сумчатых в каждой половине челюсти всего три премоляра (предкоренных зуба) и четыре моляра (коренных), первый из которых, на самом-то деле, — несменяемый предкоренной зуб. Соответственно, если мезозойское млекопитающее обладало такой зубной формулой, его определенно следует относить к сумчатым. Также у древних сумчатых было больше резцов (пять верхних и четыре нижних), чем у ранних плацентарных (обычно четыре верхних и три нижних, хотя есть исключения).

Способ размножения плацентарных млекопитающих никак не отразился на их зубной системе. Они унаследовали от стволовых териев зубную формулу с пятью премолярами (сократившимися до четырех лишь у более поздних форм) и тремя молярами. Это создает определенные трудности при идентификации древнейших стволовых плацентарных.

Яркий пример таких трудностей — история с юрмайей (*Juramaia sinensis*), чей почти полный скелет был обнаружен в китайской провинции Ля-



Основные группы плацентарных: *a* — общий предок Theria (Metatheria + Eutheria), *b* — общий предок Placentalia, *c* — стволовые эутерии, *d* — кроновые плацентарные, *e* — общая (тотальная) группа Pan-Placentalia, или Eutheria. Серым цветом отмечены вымершие таксоны.

онин в верхнеюрских (оксфордских) отложениях возрастом около 160 млн лет [2]. Это был мелкий зверек с длиной тела 7–10 см (без учета длины хвоста) и массой около 15 г. По характеру локомоции он напоминал современных крыс [3], а судя по строению зубов, питался насекомыми. При первоописании в 2011 г. этот род был отнесен к стволовым плацентарным млекопитающим, что вызвало сенсацию. Действительно, остатки эутериев еще никогда не находили в юрских отложениях.

Однако строение зубов юрмайи соответствует не эутериям, а примитивным стволовым териям — т.е. группе зверей, существовавших до расхождения ветвей сумчатых и плацентарных [4]. Несколько форм млекопитающих из раннего мела Северной Америки, обычно относимых к Eutheria [5, 6], — монтаналестес (*Montanalestes keeblerorum*), голоклеменсия (*Holoclemensia texana*) и паппотерий (*Pappotherium pattersoni*) — также должны рассматриваться среди стволовых териев [4].

Есть еще два кандидата на статус древнейших эутериев. Это дурлстотерий (*Durlstotherium newmani*) и дурлстодон (*Durlstodon ensomi*), описанные в 2017 г. из нижнемеловых (берриасских) отложений возрастом около 145 млн лет с побережья залива Дурлстон в Южной Англии [7]. Они плохо охарактеризованы: каждый вид представлен всего одним зубом, причем в обоих случаях это последний верхний моляр, диагностическое значение которого нельзя переоценивать. Однако и они демонстрируют по меньшей мере один очень продвинутый признак, неожиданный для столь древних эутериев, — дополнительные бугорки (конули) между внутренним бугорком (протоконом) и наружными (параконом и метаконом)

у них приближены к последним. Этой особенностью оба английских вида напоминают так называемых желестид (*Zhelestidae*) из верхнего мела Центральной Азии. Безусловно, нужны новые находки дурлстотерия и дурлстодона, чтобы точнее понять их положение на филогенетическом древе *Eutheria*.

Находки несомненных древних эутериев отстоят от начала мелового периода на 15–35 млн лет. Наиболее полные происходят из китайской провинции Ляонин (там, напомним, была найдена юрмайя). Эомайя (*Eomaia scansoria*) из барремских отложений (возраст 125.5–130 млн лет) известна по целому скелету с отпечатком контуров тела и шерсти [8]. Судя по строению костей конечностей, эомайя вела древесный образ жизни и умела хорошо прыгать. Длина ее тела была около 10 см, а вес составлял 20–25 г. В отличие от более поздних плацентарных, животное имело по пять верхних резцов в каждой половине челюсти и по четыре нижних. Иногда считается, что строение костей таза эомайи (а именно наличие сумчатых костей) определенно свидетельствует, что эти животные не могли рожать крупных детенышей, а значит, физиологически не были плацентарными. Однако сумчатые кости связаны с кожной мускулатурой и поэтому никак не характеризуют размер детородного канала. Судя по зубной формуле (пять премоляров и три моляра в каждой половине челюсти), эомайя не была сумчатой. Это может означать, что эти млекопитающие либо имели плаценту, либо откладывали яйца, подобно однопроходным.

У плацентарных все три гена вителлогенина (белка-предшественника, служащего для построения желтка в ооците) — это псевдогены, утратившие кодирующую способность; у однопроходных работает один из этих генов. По генетическим оценкам [9], инактивация последнего из трех генов у сумчатых произошла не ранее 70 млн лет назад (т.е. в конце мелового периода), а у плацентарных — более 100 млн лет назад (т.е. в его середине). Такая инактивация должна соответствовать рубежу, когда предки этих групп перестали производить желток и откладывать яйца.

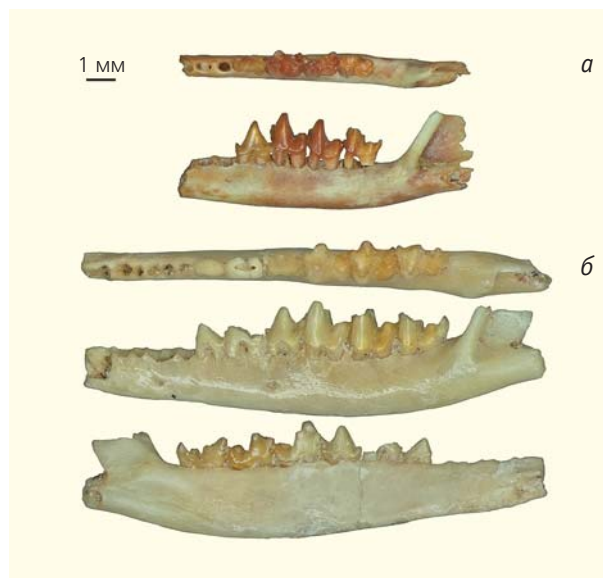
Акристатерий (*Acristatherium yanensis*) найден в отложениях нижнего апта (122.5–125.5 млн лет назад). Известен всего один череп довольно хорошей сохранности [10]. У акристатерия было по четыре верхних резца в каждой половине челюсти и по три нижних. На нижних коренных зубах акристатерия отмечен маленький дополнительный бугорок, служивший для усиления межзубного сцепления в нижнем зубном ряду. Почему-то этот бугорок исчез у других эутериев, исключая ховурлеста, о котором рассказывается ниже.

В России, в Бурятии, был обнаружен муртойлест (*Murtoilestes abramovi*), чьи остатки представлены тремя изолированными коренными зубами из пограничных отложений баррема и апта (около 122.5 млн лет назад) [11].

Сасаямамил (*Sasayamamylos kawaii*) был найден в 2007 г. в Японии, в префектуре Хёго, в серии Сасаяма раннеальбского возраста (около 112 млн лет назад) [12]. Описано несколько довольно полных нижнечелюстных фрагментов, по величине которых реконструируется длина тела в 10–15 см. Передняя часть нижней челюсти сасаямамила необычным образом вздернута вверх, из-за чего резцы поставлены почти вертикально, а клык и вовсе загибается назад. На рентгенографии видно, что задний наклон клыков всех экземпляров существенно усилен из-за фрагментации корневой части, но и его вертикальная постановка (в меньшей степени выраженная также у эомайи) свидетельствует о какой-то особой пищевой специализации — возможно, о питании сравнительно крупными насекомыми, например жуками.

И числом, и умением

Уникальный источник сведений о раннемеловых млекопитающих представляет собой местонахождение Ховур, расположенное на севере пустыни Гоби в Монголии. Возраст местонахождения определяется в пределах аптского—альбского веков раннего мела (110–120 млн лет назад). Здесь найдены многие сотни ископаемых остатков, принадлежащих представителям нескольких групп млекопитающих, в том числе относящихся к древнейшим стволовым плацентарным. Численно доминируют остатки плацентарных, принадлежащие двум видам рода прокенналестов — маленьким зверькам, питавшимся в основном насекомыми и другими наземными беспозвоночными животными. Прокен-



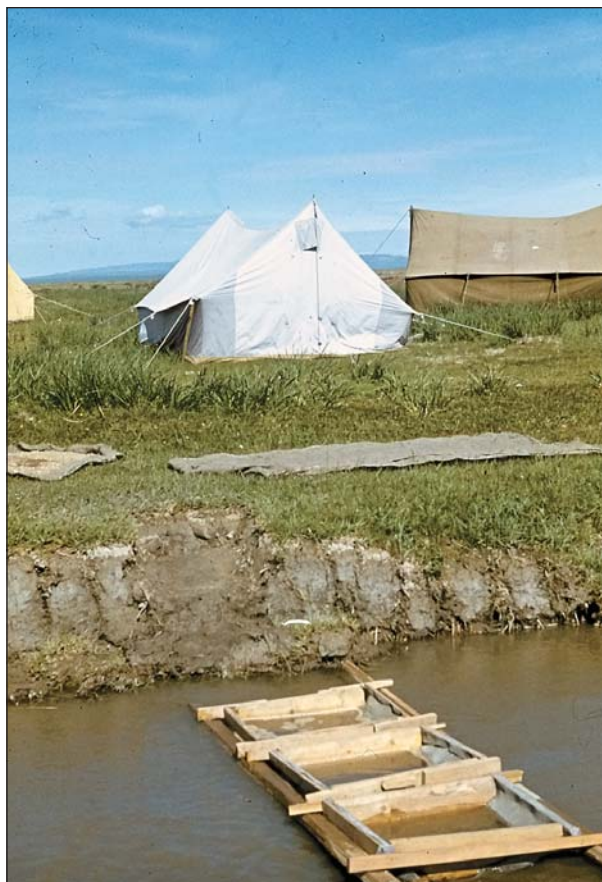
Фрагменты нижних челюстей прокенналеста малого (а) и прокенналеста Трофимова (б).

Фото А.О.Аверьянова

налест малый (*Prokennalestes minor*) не превышал величиной современных землероек среднего размера. Прокенналест Трофимова (*Prokennalestes trofimovi*) был приблизительно на четверть больше. В коллекциях Палеонтологического института имени А.А.Борисяка РАН в Москве и Геологического института Академии наук Монголии в Улан-Баторе хранятся более 500 экземпляров их челюстей и зубов, примерно поровну от каждого вида. Раскопочные работы в урочище Ховур велись Совместной Советско-Монгольской палеонтологической экспедицией в 1969–1971 гг. и возобновились Совместной Российско-Монгольской палеонтологической экспедицией в 2012 г. в новой точке — Зун-Ховур [13].

Детальное исследование всех образцов прокенналестов из Ховура позволило нам получить первые статистически достоверные результаты по изменчивости признаков столь древних млекопитающих на массовом материале (как мы уже отмечали, обычно находки раннемеловых эутериев единичны, если не уникальны) [14]. Также нами описан еще один вид плацентарных, названный ховурлестом (*Hovurlestes noyon*). Он отличается от прокенналестов более крупными клыками и наличием на коренных зубах маленького бугорка, усиливающего межзубное сцепление [15].

На внутренней стороне нижнечелюстных костей прокенналестов (и других раннемеловых эутериев) есть характерный для древних млекопитающих признак — отчетливая меккелева борозда. Это тянущийся вдоль нижнего края кости длинный, узкий и неглубокий желобок, служивший для прикрепления передней части окостенелого меккелева хряща, к заднему концу которого были подвешены слуховые косточки. У взрослых современных млекопитающих слуховые косточки находятся в полости среднего уха и полностью обособлены от нижней челюсти, но в эмбриогенезе рекапитулируется описанное состояние, свойственное прокенналестам и многим другим мезозойским млекопитающим [16]. Резорбция меккелева хряща у современных млекопитающих обеспечивается специальными клетками — хондрокластами. Если по генетическим или фармакологическим причинам хондрокласты утрачиваются, эмбриональный меккелев хрящ сохраняется и окостеневает на взрослой стадии, формируя на нижней челюсти отчетливую борозду [17]. Эволюционный переход к «современному» состоянию косточек среднего уха про-



Полевой лагерь Совместной Советско-Монгольской палеонтологической экспедиции на р.Аргуин-гол. Промывка костеносной породы из местонахождения Ховур. 1971 г.

Фото Е.Л.Дмитриевой



А.В.Лопатин на местонахождении Зун-Ховур, открытом в ходе работ Совместной Российско-Монгольской палеонтологической экспедиции. 2013 г.

Фото А.А.Карху



Фрагмент нижней челюсти ховерлеста.

Фото А.О.Аверьянова

исходил у плацентарных и сумчатых независимо. Эти преобразования способствовали усилению передаваемого звукового сигнала, увеличивая остроту слуха. Вероятно, они были сопряжены с увеличением и усложнением головного мозга.

Вряд ли факт подавляющего численного превосходства остатков прокенналестов в Ховуре связан с условиями захоронения или особенностями распространения тех или иных групп млекопита-

ющих. По геологическим данным, все эти зверьки вместе с многочисленными ящерицами и мелкими динозаврами жили по берегам озер и проток, существовавших в раннемеловую эпоху на месте нынешней пустыни Гоби, и одновременно гибли во время сезонных наводнений. Тонкие кости их челюстей со слабо закрепленными в альвеолах зубами не вынесли бы переноса водными потоками на большое расстояние. Видимо, массовость остатков прокенналестов действительно отражает их обилие в древнем биоценозе.

Можно предположить, что представители архайчных групп млекопитающих росли несколько медленнее и жили дольше современных зверей такого же размера. Такую «жизненную стратегию» они унаследовали от своих предков — цинодонтов, имевших замедленный по сравнению с современными млекопитающими ювенильный рост и более продолжительный рост у взрослых особей [18]. Анализ возрастной индивидуальной из-



Реконструкции внешнего вида прокенналеста Трофимова (слева) и ховерлеста.

Рисунок А.А.Атучина по эскизу А.В.Лопатина

менчивости у представителей архаичного рода *Morganucodon* по высоте зубной кости нижней челюсти показал, что переход к свойственной млекопитающим модели произошел уже на эволюционном уровне морганукодонтов в поздне триасовую эпоху, т.е. сразу же при появлении млекопитающих [18]. Однако некоторые ранние млекопитающие сочетали быстрый ювенильный рост и некоторое его замедление у взрослых особей. Например, хищные триконодонты рода *Gobiconodon*, достигавшие размеров енота, продолжали активно расти и во взрослом состоянии. При этом у них несколько раз за жизнь сменялись коренные зубы, обеспечивая возможность нормально питаться, несмотря на снашивание зубных коронок [19].

Для млекопитающих в целом характерно сочетание быстрого ювенильного роста с детерминированной остановкой роста при достижении взрослого состояния. Еще предки плацентарных, стволовые териевые млекопитающие, приобрели совершенную зубную систему, называемую трибосфенической [20]. При таком строении зубов внутренний бугорок на верхних молярах взаимодействует с углубленным задним выступом на нижних молярах по принципу пестика в ступке, что позволяет эффективно обрабатывать пищу путем ее перетирания и в итоге дает значимые энергетические преимущества. Вероятно, древние плацентарные производили быстро созревшее потомство, достигавшее взрослой стадии скорее, чем в других группах. Можно предположить, что с этим связана массовость находок плацентарных в таких местонахождениях, как Ховур и Зун-Ховур.

Большинство найденных остатков обоих видов прокенналестов принадлежат взрослым особям, у которых молочные зубы уже сменялись на постоянные; при этом средний из пяти премоляров оставался молочным во взрослом состоянии либо выпадал без соответствующей замены [13]. У более поздних эутериев (начиная с сасаямиды) этот зуб вообще исчезает, и в каждой половине челюсти остается только по четыре премоляра. Не исключено, что сокращение числа предкоренных зубов эволюционно связано с ускорением онтогенеза. У современных землероек, живущих всего лишь 1.5 года и становящихся самостоятельными в четырехнедельном возрасте, смены зубов не происходит, так как закладки молочных зубов редуцируются еще на эмбриональной стадии.

Отсутствие остатков молоди прокенналестов в Ховуре может свидетельствовать о низкой ювенильной смертности и указывать на высокий уровень заботы о потомстве, характерный для так называемой *K*-стратегии размножения, при которой относительно низкая численность приплода компенсируется высоким уровнем его доживания до взрослого состояния. Противоположна ей *r*-стратегия, суть которой состоит в производстве многочисленного потомства, как правило быстро достигающего самостоятельности и широко расселяющегося, но подверженного высокой смертности в ювенильном возрасте.

Следует также отметить, что с репродуктивно обусловленным усилением метаболизма первично могло быть связано развитие совершенной теплокровности у плацентарных [21].

* * *

В итоге можно предположить, что начало эволюционного успеха предковых плацентарных было связано не только с физиологическими преимуществами, обусловленными совершенствованием зубной системы, органов чувств и теплокровности, но и с новой стратегией размножения, включающей относительно длительное эмбриональное созревание, быстрый ювенильный рост, ускоренное взросление и развитую заботу о потомстве.

Последующая эволюционная история плацентарных млекопитающих в меловом периоде на всех северных континентах отражена многочисленными находками весьма разнообразных форм мелкого размера, среди которых преобладали группы, полностью угасшие еще до начала кайнозойской эры. Меловых млекопитающих, явно относящихся к кроновой группе плацентарных, пока неизвестно. Однако при этом уже в первой половине палеоцена отмечается взрывное увеличение разнообразия плацентарных и появление предков некоторых современных таксонов уровня отрядов и надотрядов (в частности, насекомоядных, хищных, копытных, грызунов, приматов, шерстокрылов). Данные молекулярной биологии свидетельствуют, что ответвление основных крупных групп современных Placentalia произошло более 65 млн лет. Поэтому прослеживание филогенетических линий современных отрядов плацентарных и предковых для них групп в поздний мел потенциально возможно. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-04-00294).

Литература / Reference

1. Bininda-Emonds O.R.P., Cardillo M., Jones K.E. et al. The delayed rise of present-day mammals. *Nature*. 2007; 446(7219): 507–512.
2. Luo Z.-X., Yuan C.-X., Meng Q.-J., Ji Q. A Jurassic eutherian mammal and divergence of marsupials and placentals. *Nature*. 2011; 76(7361): 442–445.

3. Bonnan M.F., Shulman J., Varadharajan R. et al. Forelimb kinematics of rats using XROMM, with implications for small eutherians and their fossil relatives. *PLoS ONE*. 2016; 11(3): e0149377.
4. Averianov A.O. Taxonomic revision of tribosphenic mammals from the Lower Cretaceous Antlers Formation of Texas and Oklahoma, USA. *Proceedings of the Zoological Institute RAS*. 2015; 319: 141–181.
5. Davis B.M., Cifelli R.L. Reappraisal of the tribosphenidan mammals from the Trinity Group (Aptian—Albian) of Texas and Oklahoma. *Acta Palaeontologica Polonica*. 2011; 56(3): 441–462.
6. Cifelli R.L., Davis B.M. Tribosphenic mammals from the Lower Cretaceous Cloverly Formation of Montana and Wyoming. *Journal of Vertebrate Paleontology*. 2015; 35(3): e920848.
7. Sweetman S.C., Smith G., Martill D.M. Highly derived eutherian mammals from the earliest Cretaceous of southern Britain. *Acta Palaeontologica Polonica*. 2017; 62(4): 657–665.
8. Ji Q., Luo Z.-X., Yuan C.-X., et al. The earliest known eutherian mammal. *Nature*. 2002; 416(6883): 816–822.
9. Brawand D., Wabli W., Kaessmann H. Loss of egg yolk genes in mammals and the origin of lactation and placentation. *PLoS Biol*. 2008; 6(3): e63.
10. Hu Y., Meng J., Li C., Wang Y. New basal eutherian mammal from the Early Cretaceous Jehol biota, Liaoning, China. *Proceedings of the Royal Society. Series B*. 2010; 277: 229–236.
11. Averianov A.O., Skutschas P.P. A new genus of eutherian mammal from the Early Cretaceous of Transbaikalia, Russia. *Acta Palaeontologica Polonica*. 2001; 46(3): 431–436.
12. Kusubashi N., Tsutsumi Y., Saegusa H. et al. A new Early Cretaceous eutherian mammal from the Sasayama Group, Hyogo, Japan. *Proceedings of the Royal Society. Series B*. 2013; 280(1759): e20130142.
13. Лопатин А.В. Новые находки раннемеловых млекопитающих в Монголии. Доклады Академии наук. 2013; 449(4): 491–493. [Lopatin A.V. New finds of Early Cretaceous mammals in Mongolia. *Doklady Biological Sciences*. 2013; 449: 103–105.]
14. Lopatin A.V., Averianov A.O. The stem placental mammal *Prokennalestes* from the Early Cretaceous of Mongolia. *Paleontological Journal*. 2017; 51(12): 1293–1374.
15. Лопатин А.В., Аверьянов А.О. Новое стволовое плацентарное млекопитающее из раннего мела Монголии. Доклады Академии наук. 2018; 478(1): 117–120. [Lopatin A.V., Averianov A.O. A new stem placental mammal from the Early Cretaceous of Mongolia. *Doklady Biological Sciences*, 2018; 478: 8–11.]
16. Лопатин А.В. Происхождение и ранние этапы эволюции млекопитающих: современное состояние проблемы. Эволюционная и функциональная морфология позвоночных. М., 2017: 182–189. [Lopatin A.V. The origin and early evolution of mammals: current state of the problem. *Evolutionary and functional morphology of vertebrates*. Moscow, 2017: 182–189. (In Russ.)]
17. Anthwal N., Urban D.J., Luo Z.-X et al. Meckel's cartilage breakdown offers clues to mammalian middle ear evolution. *Nature Ecology & Evolution*. 2017; 1(Art. №0093): 1–6.
18. O'Meara R.N., Asber R.J. The evolution of growth patterns in mammalian versus nonmammalian cynodonts. *Paleobiology*. 2016; 42(3): 439–464.
19. Lopatin A.V., Averianov A.O. *Gobiconodon* (Mammalia) from the Early Cretaceous of Mongolia. *Journal of Mammalian Evolution*. 2015; 22(1): 17–43.
20. Lopatin A.V., Averianov A.O. An aegialodontid upper molar and the evolution of mammal dentition. *Science*. 2006; 313(5790): 1092.
21. Levesque D.L., Lovegrove B.G. Increased homeothermy during reproduction in a basal placental mammal. *Journal of Experimental Biology*. 2014; 217: 1535–1542.

Earliest Placentals: at the Dawn of Big Time

A.V.Lopatin¹, A.O.Averianov²

¹Borissiak Paleontological Institute, RAS (Moscow, Russia)

²Zoological Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)

The analysis of the earliest placental mammals found in the Lower Cretaceous of Asia (110–130 Ma) suggests that the evolutionary success of placentals is based on the physiological advantages associated with the improvement of homeothermy, sensory and dental systems, and the special reproductive strategy that included fast juvenile growth, accelerated maturation, and well-developed care of the offspring.

Keywords: placental mammals, Mesozoic, Early Cretaceous, origin, evolution, reproductive strategy, ontogeny.

Возможности современной геммологии

Т.А.Гвозденко¹, Е.И.Герасимова¹

¹Государственный геологический музей имени В.И.Вернадского РАН

Геммология выделилась в самостоятельную дисциплину в начале XX в. Предметом ее изучения служат ювелирные камни — минералы, ряд органогенных образований, а также синтетические и искусственные соединения. За более чем столетнюю историю развития геммология претерпела значительные изменения, пройдя путь от простейшей, визуальной диагностики до использования сложных аналитических методов. Были разработаны специализированные геммологические приборы, адаптированы для геммологических задач инструментальные методы исследования минерального вещества, накоплены огромные базы по самоцветам — фактическая и аналитическая. Исследование ювелирных камней тесно связано с другими геологическими дисциплинами — минералогией, кристаллографией, геохимией, геологией месторождений полезных ископаемых, без знания, понимания и применения которых роль геммологии сводится к минимуму.

Ключевые слова: геммология, методы исследования, драгоценные камни, ювелирные камни, самоцветы.

Геммология — наука о самоцветах (ювелирных камнях) — начала формироваться в первой половине XX в. Безусловно, красивые, яркие и редкие минералы и раньше привлекали внимание людей, но к необходимости их детального (в том числе и аналитического) изучения исследователи пришли относительно недавно.

Большинство ученых придерживаются мнения, что геммологию необходимо рассматривать исключительно в качестве прикладного направления минералогии, а не как самостоятельную научную дисциплину. Предметом изучения геммологии служат ювелирные камни — минералы, ряд органогенных образований (янтарь, жемчуг, кораллы, кость и др.), а также синтетические (имеющие природные аналоги) и искусственные (не имеющие природных аналогов) соединения, выращенные в лабораторных условиях под полным контролем человека (рис.1). Исследование ювелирных камней тесно связано с другими геологическими дисциплинами — минералогией, кристаллографией, геохимией, геологией месторождений полезных ископаемых, без знания, понимания и применения которых роль геммологии сводится к минимуму.



Татьяна Андреевна Гвозденко, геммолог-аналитик геммолого-минералогической лаборатории Государственного геологического музея имени В.И.Вернадского РАН (ГГМ РАН). Область научных интересов — минералогия, геммология.



Екатерина Игоревна Герасимова, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая геммолого-минералогической лабораторией этого музея. Круг научных интересов охватывает вопросы минералогии и геммологии.

История возникновения и развития

Человек всегда проявлял интерес к ярко окрашенным и особенно прозрачным камням. Еще наши далекие предки обращали внимание на красивые и редкие камушки, которые они находили и использовали в качестве украшений и амулетов. Первые описания свойств камней, дошедшие до нас, изложены в I в. Плинием Старшим в его самом известном труде «Естественная история» [1]. Другой



Рис.1. Ювелирные камни: 1— аквамарин, 2 — аметист, 3 — танзанит, 4 — апатит, 5 — морганит, 6 — изумруд, 7 — синтетический желтый сапфир, 8 — аметист, 9 — сапфир, 10 — рубин, 11— сфен, 12 — рубин, 13 — топаз, 14 — аметист.

Фото Т.А.Гвозденко

значимой книгой о ювелирных камнях, написанной значительно позже, в 1652 г., считается «Lapidary» английского ученого Т.Николса [2].

Постепенно, с развитием науки (физики, химии и в особенности минералогии), открытием новых месторождений и выделением разновидностей ювелирных камней мировое сообщество осознало необходимость изучения самоцветов. Впервые термин «геммология» (от латинского *gemma* — самоцвет, драгоценный камень и греческого *λογος* — слово, разум) стал употребляться на рубеже XIX и XX вв. Несколько лет спустя, в 1908 г., в рамках Национальной ассоциации ювелиров Великобритании был организован Образовательный комитет, позднее преобразованный в Геммологическую ассоциацию Великобритании (Gem-A). Впервые в мире началась подготовка специалистов по диагностике ювелирных камней — экспертов-геммологов. Следующим важным событием

стало открытие в 1931 г. Геммологического института Америки (GIA) — одной из лидирующих научно-исследовательских организаций в области геммологии в мире. Инициатором его создания стал выпускник Gem-A Роберт Шипли.

В России у истоков исследования самоцветов стояли академик В.М.Севергин (1765–1826), писатель, краевед М.И.Пыляев (1842–1899), а также академик А.Е.Ферсман (1883–1945), внесшие огромный вклад в становление и развитие отечественной геммологии.

В начале XX в., параллельно с созданием исследовательских институтов, постепенно начала развиваться приборная база для изучения и диагностики самоцветов. Были изобретены рефрактометр для определения показателя преломления минералов (Г.Смит, 1905), эндоскоп для диагностики жемчуга (К.Чировски и А.Перрин, 1920-е годы), полярископ для изучения оптических свойств камней, геммологический микроскоп для диагностики самоцветов и детального изучения включений (Р.Шипли и Р.Шипли мл., 1930-е годы), фильтр Челси для выявления имитаций драгоценных камней, а также был разработан метод определения удельного веса камней с применением тяжелых жидкостей (Б.Андерсон с коллегами, 1930-е годы) [3].

С древнейших времен человечество стремилось к преобразованию (облагораживанию) природных камней для улучшения их внешнего вида. Еще до нашей эры люди успешно владели способами усиления и изменения цвета — в буквальном смысле запекали камни в огне. Позже стали использовать натуральные красители (рис.2), такие

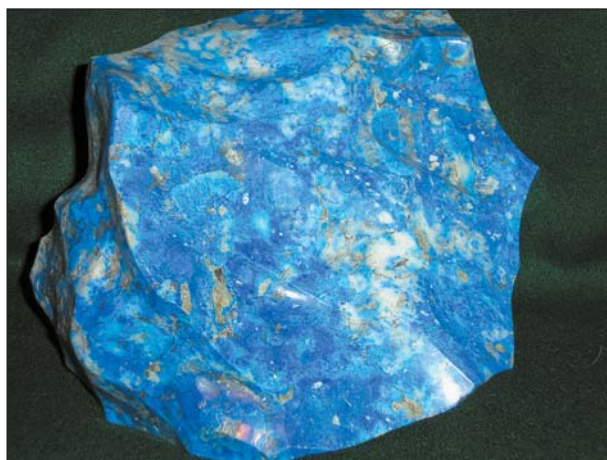


Рис.2. Минералы — природные пигменты: слева — лазурит 20×17×16 см; справа — малахит 19.5×18×5 см. Собрание ГГМ РАН.

как охра, киноварь, лазурит, малахит, или подкладывая цветную фольгу под бесцветные либо слабоокрашенные камни. В собрании Алмазного фонда России представлено украшение «Большой букет» с цветными бриллиантами и изумрудами. В ажурную оправу бутона вставлен редкий нежно-фиолетовый бриллиант весом 15 карат — единственный цветной бриллиант в этом изделии. Под остальные, бесцветные, бриллианты мастер подложил разноцветную фольгу, чтобы они выглядели цветными (рис.3).

Сегодня, с развитием технологий, в зависимости от исходного материала (вида камня и его особенностей) успешно применяются разные методы облагораживания: облучение (электронами, нейтронами, γ -лучами), термообработка, термическая диффузия («имплантирование» оксидов титана, хрома и бериллия), заполнение трещин различными по составу веществами, поверхностная обработка (отбеливание, нанесение тонких пленок, вошение), прокрашивание и т.д. Существуют и весьма занятные способы облагораживания. Например, нагрев опалов в сахарном растворе с последующей обработкой серной кислотой. При этом базовый цвет камня темнеет, что подчеркивает его яркую опалесценцию на темном фоне. Такой способ облагораживания мы в шутку называем кисло-сладким. Цена самых дорогих опалов может достигать до нескольких тысяч долларов за карат.

В конце XIX в. — начале XX в. начали проводиться опыты по синтезу самоцветов (создание в лабораторных условиях под контролем человека ювелирных камней с химическими и физическими свойствами, схожими со свойствами их природных аналогов). Так, в 1902 г. французский химик О.Вернейль обнародовал успешные результаты синтеза корундов. Полученные им минералы впервые нашли широкое применение в промышленных масштабах. Метод основан на плавлении оксида алюминия с примесями оксидов металлов (хрома, титана, железа, никеля, ванадия) в огне кислородно-водородной горелки. До Вернейля опыты по синтезу ювелирных камней проводили: французские химики М.Годен (1837), Ж.-Ж.Эбельман (1851), Э.Фреми и Ш.Фейль (1877), П.Отфель и А.Перре (1888), шотландский химик Д.Хэнней (1880) и др. Хэнней, как считается, первым синтезировал алмаз [4].

Позднее ученые разработали (усовершенствовали) и другие способы синтеза: раствор-расплавный (флюсовый), метод Чохральского, заключающийся в «вытягивании» кристалла из расплава; гидротермальный; синтез при высоких давлениях и температуре (НРНТ) и ряд других [5–7]. Сегодня в лабораториях по всему миру выращивают ювелирные камни отличного качества, зачастую даже превосходящие свои природные аналоги по яркости и насыщенности цвета, блеску, а также отсутствию дефектов. В мае 2015 г. российская компания «New Diamond Technology» заявила о выращенном методом НРНТ алмазе в 32,26 карата, ко-



Рис.3. «Большой букет» из собрания Алмазного фонда РФ.
www.gokhran.ru

торый впоследствии ограничили в бриллиант весом 10 карат и сертифицировали в одной из авторитетных геммологических лабораторий.

Начиная с 50-х годов прошлого века ученые (в особенности, швейцарский профессор Э.Гюбеллин — один из основоположников современной геммологии) стали активно заниматься исследованием происхождения драгоценных камней [8]. В течение более полувека накапливались данные (в основном о сапфирах, рубинах и изумрудах) из разных месторождений по всему миру.

Вопрос происхождения различных драгоценных камней — весьма сложный и нередко спорный. Часто полученных в ходе исследования данных бывает недостаточно для однозначного определения региона, из которого происходит данный минерал [9]. А эта информация весьма существенно влияет на стоимость драгоценного камня. Собранный фактический и аналитический материал позволяет нынешним специалистам геммологических лабораторий определять принадлежность драгоценного камня к конкретному месторождению с весьма высокой точностью.

Современный вид геммология начала приобретать во второй половине XX в. — с изобретением точных методов исследования минерального вещества (спектроскопии, тонких методов анализа химического состава), а также существенно усовершенствованной микроскопии.

Современный подход к решению проблем

За более чем столетнюю историю развития геммология претерпела значительные изменения, пройдя путь от простейшей диагностики камня с помощью лупы, рефрактометра и полярископа (традиционных геммологических методов) до использования сложных инструментальных исследований минерального вещества.

Среди основных задач, решаемых геммологией сегодня, следует отметить: определение минерального вида и разновидности ювелирного камня, определение его генезиса, выявление облагораживания, установление географической привязки с точностью до месторождения.

Последние три пункта можно считать основными задачами геммологии XXI в. Их успешное решение зависит не только от опыта геммолога, который должен иметь глубокие фундаментальные знания в области минералогии, но и от умения интерпретировать данные, полученные с помощью современного оборудования.

Сейчас в отечественных и зарубежных геммологических лабораториях используются высокотехнологические приборы, позволяющие решать самые сложные задачи. Среди современных методов исследования наибольшее распространение получили спектрометрические методы: оптическая и инфракрасная спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеивания (рамановская), а также тонкие методы определения химического состава: рентгенофлуоресцентный и масс-спектрометрический анализ с индуктивно связанной плазмой и с лазерной абляцией (LA-ICP-MS), электронно-зондовый микроанализ, а также энергодисперсионная рентгеновская флуоресценция. На сегодняшний день среди методов определения химического состава одним из самых высокоточных и оптимальных считается LA-ICP-MS, позволяющий определять содержание практически всех химических элементов с пределом обнаружения до миллионных (ppm) и даже миллиардных частей (ppb) [10]. В некоторых случаях применяются и другие инструментальные методы исследования — фотолюминесцентная спектроскопия, катодолюминесценция, электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), лазерно-искровая эмиссионная спектрометрия (LIBS) и масс-спектрометрия вторичных ионов (SIMS) [10].

Как правило, для получения наиболее достоверных результатов используют несколько методов одновременно. Так, например, для определения происхождения (месторождения) сапфиров в комплексе используются микроскопия, оптическая спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеивания (идентификация включений в сапфире), а также масс-спектрометрия [11]. Анализ результатов таких исследований позволяет получить полную картину происхождения образца.

Стоит отметить, что вышеперечисленные методы были лишь адаптированы под геммологические задачи, а не разработаны специально для их решения. Использование разрушающих методов изучения в геммологии недопустимо, так как иногда стоимость исследуемых образцов превышает десятки и сотни тысяч долларов.

С появлением и развитием спектрометрии и методов определения тонкого химического состава вещества возможности геммологии значительно расширились. Использование современных аналитических методов позволяет решать ключевые задачи геммологии, в то время как традиционные методики оказываются бессильны.

* * *

Геммология как самостоятельное научное направление начала развиваться чуть более 100 лет назад, но за этот относительно небольшой промежуток времени мировое геммологическое сообщество прошло значительный путь. На сегодняшний день накоплена огромная фактическая и аналитическая базы по самоцветам. Они постоянно пополняются. Геммология совершенствуется и с появлением и развитием новых методов облагораживания и синтеза ювелирных камней, требующих разностороннего подхода в диагностике. В лабораторной практике известны случаи одновременного использования нескольких видов облагораживания не только природных, но и синтетических ювелирных камней (рис.4). В основе многих методов синтеза лежит повторение природных процессов, в том числе использование природных затравок (флюсовой, гидротермальной и др.). Все это приводит к появлению дополнительных сложностей, справиться с которыми могут только высококвалифицированные специалисты.



Рис.4. Кольцо в виде бутона розы диаметром 2.2 см. В центре природный бриллиант весом 0.70 карат. Огранка «сердце», лепестки украшены бесцветными природными бриллиантами (более 300) и желтыми синтетическими (около 150).

Фото Е.И.Герасимовой

С началом применения высокотехнологических приборов геммология постепенно уходит от «субъективной» диагностики в «объективную», все более обоснованную и подкрепленную результатами точных инструментальных методов исследования вещества.

Геммология тесно взаимосвязана с коммерческой практикой. В условиях современного ювелирного рынка знание происхождения и выявление облагораживания ювелирных камней необходимы. Ошибка в их оценке может стоить тысяч, а порой и десятков тысяч долларов. Особенно это актуально для редких и крупных драгоценных камней с высокими характеристиками. Так, например, в мае 2015 г. на аукционе «Сотбис» было продано кольцо с бирманским рубином в 25.59 карата цвета «голубиная кровь» (самые дорогие рубины на ювелирном рынке) за рекордные 30 млн 300 тыс. долл. США. Природа происхождения камня и отсутствие признаков облагораживания подкреплялись сертификатами нескольких авторитетных геммологических лабораторий. На сегодняшний день этот камень — самый дорогой природный рубин, проданный с аукциона. В начале 2012 г. на одном из аукционов в Канаде на продажу выставили гигантский ограненный изумруд Теодора весом 57.5 тыс. карат с низкой стартовой ценой в 1 млн 150 тыс. долл. США. Как оказалось впоследствии, камень представлял собой прокрашенный берилл, а не изумруд. Таким образом, облагораживание существенно влияет на цену ювелирных камней, которая может отличаться на несколько порядков в зависимости от наличия облагораживания.

С появлением (и постоянным увеличением количества) синтетических алмазов на ювелирном рынке приборная диагностика бриллиантов стала необходима и чрезвычайно важна. Синтетические алмазы дешевле природных на 20–30%. Зачастую мастера используют природные и синтетические бриллианты в одном ювелирном изделии одновременно (см. рис.4). В определении происхождения бриллиантов на помощь экспертам приходит ИК-спектроскопия. Сегодня, хорошо оснащенные лаборатории довольно легко справляются с этой задачей. На рис.5 приве-

ден пример ИК-спектра природного бриллианта (типа IaA согласно общепринятой физической классификации алмазов). В спектре хорошо видна основная диагностическая полоса 1282 см^{-1} (А-центр, представляющий собой пару атомов азота в соседних узлах кристаллической решетки алмаза) [12]. На спектре присутствует и полоса поглощения 3107 см^{-1} , которая свидетельствует о примеси водорода, что также говорит о природном происхождении образца [13].

При формировании стоимости ювелирных камней особую роль играет страна происхождения или конкретное месторождение. В качестве примера можно привести турмалин параиба — это одна из самых востребованных сегодня на рынке разновидностей турмалина (рис.6). Стоимость неонов-голубого минерала может отличаться в несколько раз. Решающий фактор — месторождение ювелирного камня (в Бразилии, Ни-

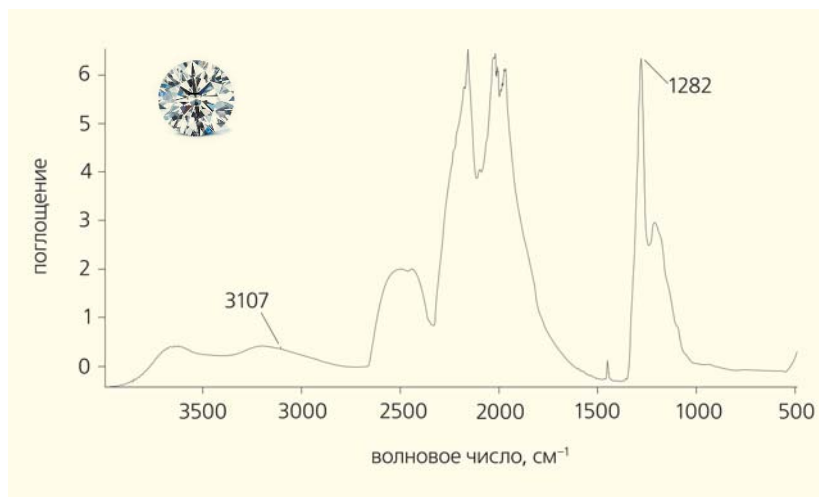


Рис.5. Пример ИК-спектра природного бриллианта типа IaA. Присутствие полос 1282 см^{-1} и 3107 см^{-1} подтверждает природное происхождение образца. Внизу — работа геммолога-аналитика с ИК-спектрометром.

Фото С.В.Степановой



Рис.6. Образцы бразильского турмалина параиба — одной из самых востребованных на рынке его разновидностей. Диаметр верхнего левого образца 7 мм.
Фото Е.И.Герасимовой

герии или Мозамбике), определить которое возможно при помощи оптической спектроскопии по содержанию меди в самоцвете [14].

Как мы видим, успешное развитие геммологии неразрывно связано с комплексным использованием традиционных и современных инструментальных методов исследования ювелирных камней, накоплением представительной аналитической базы, а также с одной из самых важных составляющих — грамотной интерпретацией полученных данных высокопрофессиональными специалистами. ■

Литература / Reference

1. Плиний Старший. Естественная история. Книга XXXVII. Перевод с латинского и комментарии Г.А.Тароняна. М., 1994. [Pliny Secundi. *Naturalis Historia*. Book XXXVII. Translated from Latin and comments by G.A.Taronyan. Moscow, 1994. (In Russ.).]
2. Nicholas T. A lapidary, or the history of precious gemstones. Cambridge, 1652.
3. Рид П. Геммология, М., 2003. [Read P.G. *Gemology*. Moscow, 2003. (In Russ.).]
4. Hannay J.B. On the artificial formation of diamond. *Proc. Roy. Soc.* 1880; 30: 188–189. Preliminary note: 450–461.
5. Вильке К.Т. Выращивание кристаллов. Л., 1977. [Wilke K.T. *Growing crystals*. Leningrad, 1977. (In Russ.).]
6. Scheel H.J. Historical aspects of crystal growth technology. *Journal of Crystal Growth*. 2000; 211(1): 1–12.
7. Levin I.H. Synthesis of precious stones. *The Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 1913; 5(6): 496–500.
8. The Roots of Origin Determination. *Jewellery News Asia*. 2006; July: 66–71.
9. The Limitations of Origin Determination. *Jewellery News Asia*. 2006; August: 52–62.
10. Breeding C., Shen A. et al. Developments in gemstone analysis techniques and instrumentation during the 2000s. *Gems&Gemology*. 2010; 46(3): 241–257.
11. Krzemnicki M., Halicki P. Kashmir sapphires: Potential and limitations of origin determination by chemical fingerprinting with LA ICP mass spectrometry. *GAHK Seminar*. 23 June. 2012. www.ssef.ch
12. Соболев Е.В., Лисойван В.И. О природе свойств алмазов промежуточного типа. Докл. АН СССР. 1972; 204(1): 88–91. [Sobolev E.V., Lisoivan V.I. On the Nature of Diamonds of the Transitional Type. *Doklady Akademii Nauk SSSR*. 1972; 204(1): 88–91. (In Russ.).]
13. Woods G.S., Collins A.T. Infrared absorption spectra of hydrogen complex in type I diamonds, *J. of Physics and Chemistry of Solids*. 1983; 44: 471–475.
14. Abduriyim A., Kitawaki H., Furuya M., Schwarz D. «Paraiba» — type copper-bearing tourmaline from Brazil, Nigeria and Mozambique: Chemical fingerprinting by LA-ICP-MS. *Gems&Gemology*. 2006; 42(1): 4–21.

Possibilities of Modern Gemology

T.A.Gvozdenko¹, E.I.Gerasimova¹

¹Vernadsky State Geological Museum, RAS (Moscow, Russia)

At the beginning of the XX century gemology became an independent branch of science. The subjects of its investigation are minerals, organic and synthetic gemstones, and artificial products. During more than a 100 years of development, gemology has changed a lot — it has gone all the way from applying the simplest distinguishing methods of gemstones to using advanced scientific analytical methods. Special test tools were invented, the equipment for gemological tasks was adapted and a large database with factual and analytical data on materials was created. The study of precious gemstones is closely related to other geological disciplines — Mineralogy, Crystallography, Geochemistry, and Geology of mineral deposits. Without knowledge, understanding, and application of these disciplines the role of gemology is minimized.

Keywords: gemology, research methods, precious gemstones, semi-precious gemstones.

Культуры Ното: узловые сюжеты миллионлетней истории В ледовых тисках плейстоцена

Е.Н.Черных

Институт археологии РАН (Москва, Россия)

Центр внимания второй части представленного цикла статей сосредоточен по преимуществу на обсуждении проблем чрезвычайно мощного воздействия геоэкологического фактора на базовые элементы структур фактически всех биосоциальных формирований. Воздействие геоэкологического компонента на культуры палеолита, теснейшим образом связанного с плейстоценом, оказывалось особенно суровым, так как технологический «щит» древних социумов был еще не надежен. Все ритмичные/аритмичные колебания палеоклимата рассматривались сквозь призму знаменитых циклов Миланковича. Особое внимание в этом плане было сосредоточено на трех основных факторах, определяющих орбитальное положение Земли по отношению к Солнцу: эксцентриситете, прецессии и нутации. Именно они по преимуществу и определяли уровень инсоляции нашей планеты, что, в частности, вызывало резкие перемены в палеоклимате вместе с наступлением ледникового периода. В настоящее время во многих лабораториях разных стран проводится тщательная проверка истинности данных циклов на базе их соотношения с донными океанскими отложениями, а также ледниковыми прослойками в Гренландии и Антарктиде. В целом циклы Миланковича выдержали проверку проведенными испытаниями, потребовалась лишь некоторая корректировка отдельных позиций. В статье все эти сюжеты рассматриваются на фоне широких пространственных картин эпохи палеолита. Картины эти касаются различных континентов планеты, поскольку именно они служили базовым полигоном, на котором человечество делало свои первые шаги.

Ключевые слова: плейстоцен, ледниковые периоды, циклы инсоляции Земли, палеолит.

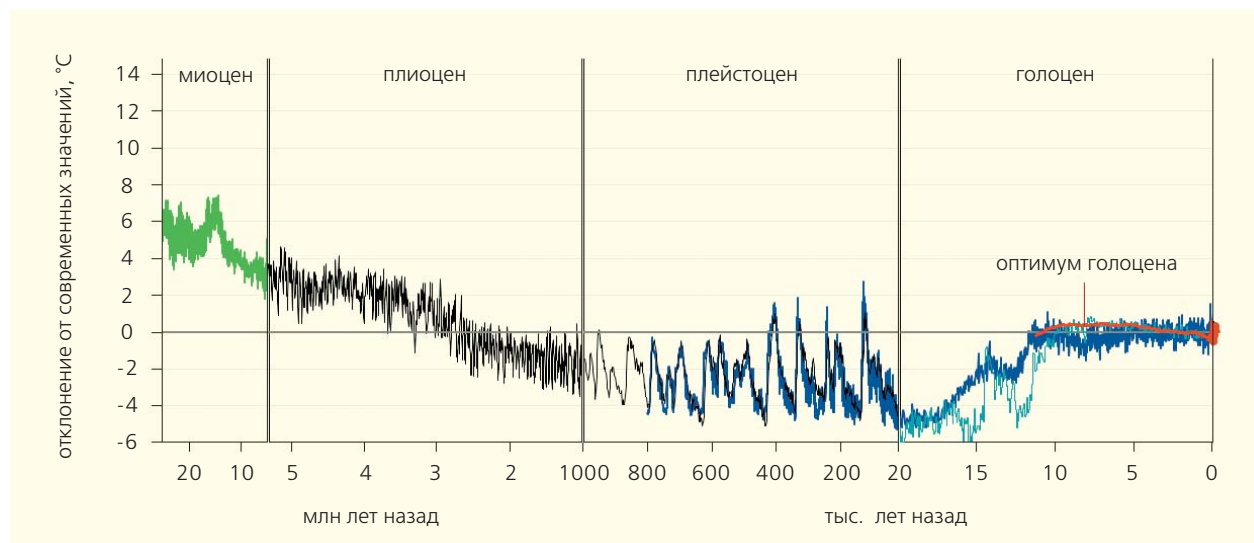
В первой статье цикла об истории культур *Ното** при обсуждении геоэкологического экзогамного компонента говорилось о его чрезвычайно мощном воздействии на базовые элементы структур фактически всех биосоциальных формирований. Судя по всему, ареал сходных влияний охватывал также весь животный мир планеты, и конечно же, класс позвоночных млекопитающих. Отчетливо выраженное похолодание на планете с рубежа позднего миоцена и раннего плейстоцена вполне могло привести и, скорее всего, привело к тому, что тогда среди этого класса млекопитающих и зародился особый вид *Ното*. Во всяком случае, невозможно пройти



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

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

мимо того очевидного факта, что вся протяженная — более чем в 2.5 млн лет — история палеолитического человека от самого ее начала полностью и безусловно укладывалась в ледниковые века плейстоцена. Воздействие же геоэкологического компонента на культуры древнекаменного века было особенно суровым и жестоким, поскольку технологический «щит» древнейших человеческих культур был еще не надежен по сравнению с культурами более поздних периодов. Диапазон физи-



Средняя температура воздуха на Земле от миоцена до наших дней.

ческих условий для нормального существования человечества особой широтой никогда не отличался, и любой выход за его рамки грозил весьма серьезными последствиями. Мы же — наблюдатели голоценовой поры — с ее отдаленных миллионлетних высот стремимся понять, что же в реальности представлял собой загадочный мир плейстоцена с его ледниками, покрывавшими фантастические площади суши? Как и в каком порядке сложились важнейшие вехи этой эпохи? Каковы причины глобальных перемен?..

Вопросы эти совсем не простые, и от аргументированных ответов на них будут в значительной мере зависеть наши общие оценки древнейших культур *Ното*. В этой статье постараемся обрисовать важнейшие и наиболее общие детали гигантского базового полигона, на котором формировалось человечество и без которого никакое развитие не могло состояться. Рассмотрим вкратце историю взглядов на этот полигон, равно как и не всегда легко осознаваемую его динамику. Может показаться, что тем самым мы отстранимся от главного направления исследования. Однако это не так, ведь данная проблема не только чрезвычайно сложна, но и органически весьма тесно связана с ключевым каналом наших общих подходов к этой тематике.

«Квартет» альпийских оледенений

Пожалуй, рассказ можно начать с того, что уже в начале прошлого столетия в европейской научной среде сложилось устойчивое мнение о четырех важнейших альпийских оледенениях четвертичного периода — это гюнц, миндель, рисс и вюрм. Наименования этих гляциалов восходили по преимуществу к различным речным долинам

в Альпах, где были выявлены их наиболее выразительные следы. Представленные здесь в определенном хронологическом порядке оледенения отражали ключевые этапы геоэкологической истории Западной Европы в среднем и позднем плейстоцене. Сами же гляциалы разделялись межледниковьями (интергляциалами). При этом исследователи определяли общие хронологические рамки этих эпох в достаточно грубом приближении — от 600 до 70/60 тыс. лет назад. Обоснование поименованных оледенений представил в трехтомном труде 1909 г. ведущий германский геолог Альбрехт Пенк в соавторстве с Эдуардом Брюкнером [1]. Пару десятилетий спустя этот ставший в науке весьма знаменитым ледниковый «квартет» другой немецкий ученый Бартель Эберль преобразовал также в альпийский, но уже «квинтет», присоединив к нему пятое, так называемое дунайское оледенение, датированное существенно более ранним временем и случившееся в начале плейстоцена [2].

Эти гляциалы получили широкое признание не только в западной, но и в российской археологической литературе. Они упоминались в учебниках, изданных как в СССР, так и в Российской Федерации [3–5]. С оледенениями Альп пытались связать и гляциалы более восточных евразийских ареалов. Поэтому в геологической, географической, а также в археологической литературе появились определения иных, но в той или иной мере синхронных с альпийскими оледенениями — днепровского, окского, валдайского и ряда других [6].

По всей вероятности, столь тесная связь ледового феномена нашей планеты с древнейшей историей человечества породила неисчислимую массу самых разнообразных произведений — от устных повествований, порой загадочных рассказов и повестей в формате полубеллетристики и даже поэзии, вплоть до научных трудов, насыщенных

ных сложнейшими расчетами и потому весьма трудно понимаемых и воспринимаемых неподготовленными читателями. Едва ли не бесконечным кажется ряд авторов этих творений — от реальных ученых до туристов и разнообразных любителей природы. Этими сюжетами интересовались, например, революционер П.А.Кропоткин, а также советский капитан дальнего плавания Е.С.Гернет, написавший книгу «Ледяные лишай (Новая ледниковая теория, общедоступно изложенная)». Книга эта была издана в Японии в 1930 г. (!). Интересно, что в ней обнаружены некоторые примечательные идеи: к примеру, что устойчивые ледовые панцири («лишай») сами служат невольными творцами климата в неких ареалах [7].

Во всяком случае, автору этих строк пришлось преодолеть немалые трудности по отбору тех исследователей и их произведений, что представляли реальный интерес — с его точки зрения, разумеется — для плодотворных дискуссий по избранной сложнейшей проблеме.

Милутин Миланкович и его предшественники

В последние пять-шесть десятилетий к наиболее значимым и, может быть, даже популярным фигурам в этой сфере науки можно без сомнения отнести сербского ученого Милутина Миланковича. В различных энциклопедиях и воспоминаниях его представляют не только как климатолога, но и как геофизика и астронома. Славу ему обеспечило открытие закономерностей повторения климатических циклов в истории Земли, прежде всего — для эпох плейстоцена и голоцена [8–10]. Важнейшие этапы жизни ученого освещались и широко освещаются донныне. Эти публикации частично приведены и в литературных сносках данной статьи, где наряду с воспоминаниями сербских коллег Миланковича [11–14] указаны работы авторов иных стран [15, 16], включая и российские — в первую очередь, разумеется, перевод на русский язык его ранней книги [17], а также те, где встречаются обширные ссылки на его произведения [18].

Миланкович рассматривал цикличность оледенений и межледниковых периодов нашей планеты сквозь призму перемен в орбитальных характеристиках Земли. Ссылки и реакцию — порой критическую — на его не столь уж многочисленные научные публикации вплоть до наших дней можно встретить в разных источниках — от различных энциклопедий до мелких статей и замечаний. Однако первоначально будет резонным бросить взгляд — пусть даже беглый — на ту предысторию, что способствовала формированию взглядов этого выдающегося ученого.

Старт данной предыстории можно, пожалуй, сопоставить с тем временем, когда два изначально



Милутин Миланкович (1879–1958).

развивавшихся независимо друг от друга канала исследований как бы внезапно, но очень тесно переплелись между собой. Первый канал — воистину космический: люди пытаются понять место Земли в космосе, и прежде всего — ее отношение к Солнцу. Истоки размышлений над этим загадочным вопросом уходят в далекие глубины древности. Ярким символом долгих тысячелетних раздумий над космической загадкой может послужить даже простое упоминание величественного ряда мыслителей, что обращались к этой вечной тайне: от античной древности с фигурами Платона, Аристотеля, Аристарха Самосского, Птолемея до эпохи Возрождения, наступившей через темные полтора тысячелетия, — с Коперником, Галилеем, Ньютоном, Д'Аламбером и Эйлером...

Второй исследовательский канал выглядит совершенно обособленным от космического первого. Он очень заземлен и нацелен на распознавание тайны земных оледенений, которые жестоко преобразовали жизнь нашей планеты. Канал оказался несопоставимо более кратким по своей протяженности, да и кроме прочего, все те персоны, что пытались разрешить загадку ледяных земных панцирей, конечно же, были не в состоянии претендовать на места на подиуме рядом с только что упоминавшимися корифеями мысли.

Первые определения *ледниковый век*, или *ледниковая эпоха*, появились в 30–40-х годах



Луи Агассис (1807–1873), один из основателей европейской гляциологии, иностранный член-корреспондент Петербургской академии наук.

19-го столетия. Этими формулировками мы обязаны прежде всего швейцарскому геологу Луи Агассису, которого в энциклопедиях представляют естествоиспытателем и одним из основателей науки гляциологии. Его авторитет признавали и в нашей стране: в 1869 г. Петербургская академия наук избрала его своим иностранным членом-корреспондентом.

Тем временем мысль о возможной связи оледенений с космическими явлениями или же с орбитальными характеристиками Земли захватила отнюдь не астронома, но французского математика Альфонса-Жозефа Адемара (1797–1862). Импульсом послужила вышедшая в 1840 г. книга Агассиса «Исследования о ледниках» [19]. Адемар в своей книге «Революции моря. Периодичность осадков»^{*} отстаивал мысль, что ледниковые эпохи должны повторяться каждые 22 тыс. лет [20], при этом опирался он на астрономические наблюдения Д'Аламбера.

Спустя еще 33 года шотландский ученый Джеймс Кролл (1821–1890) стал активно отстаивать идею отчетливой зависимости климата Земли от характера ее орбиты. Основные положения были развиты в его книге «Климат и время в их геологической связи: теория вековых изменений климата Земли», увидевшей свет в 1875 г. [21]. В ней Кролл приводил расчеты влияния Солнца, Луны и планет на характер движения Земли, а также на

угол наклона земной оси по отношению к орбите. Он полагал, что все эти особенности подчиняются неким временным циклам и что от всей совокупной взаимосвязи подобного рода явлений зависит в конечном итоге уровень солнечной инсоляции поверхности Земли.

И опять-таки стоит отметить здесь не лишнее любопытное наблюдение. Оба исследователя — и французский, и шотландский — на основе некоторых космических параллелей пытались реконструировать палеоклимат всей Земли, но опору при этом находили только в альпийской схеме оледенений — других ведь тогда выработано не было.

Таковыми вкратце предстают те предпосылки, на которые мог опираться Миланкович в разработке своей теории^{**}.

Циклы глобальных климатических перемен по Миланковичу

Миланкович, разумеется, хорошо знал о предыдущих попытках опираться на астрономические признаки для учета ледниковых периодов. В своей знаменитой книге «Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem»^{***} он специально упомянул о новаторских работах Адемара и Кролла [9, 10], однако отнесся к их выводам весьма критически, утверждая, что обе теории грешат одной и той же ошибкой: в построениях отсутствует корректный учет изменчивости всех орбитальных позиций, влияющих на инсоляцию Земли. Кроме того, ни одна из теорий не смогла выявить математическую зависимость инсоляции от перемен в наклоне орбитальной земной эклиптики. Поэтому, в согласии с собственной критической оценкой предшественников, Миланкович нацелил свои основные усилия на сложные операции математической обработки узловых изменений деталей земной орбиты и ее соотношения с Солнцем. Именно это в конечном итоге и вывело сербского ученого на центровую позицию в исследованиях истории климата нашей планеты.

Определение кардинальных космических/астрономических факторов, воздействующих на общий характер климата Земли, обычно не вызывает значительных разногласий. Очевидным и наиболее действенным каналом подобного влияния считают, как правило, инсоляцию планеты. При этом из активно воздействующих на уровень инсоляции факторов чаще всего называют три: *эксцентриситет, прецессию и нутацию*.

^{*} Эту книгу перевели на русский язык спустя девять лет после кончины автора. Вот только ее название — «Révolutions de la mer. Déluges périodiques» — стало выглядеть как-то странно: «Возмущение моря, или Периодичность всемирных потопов» (СПб., 1871).

^{**} Довольно подробно многие работы предшественников Миланковича разобраны В.А.Большаковым — к примеру, в его небольшой работе с характерным и носящим явно критический акцент названием «Что такое “теория Миланковича?”» [22], а также в книге «Новая концепция орбитальной теории палеоклимата» [23].

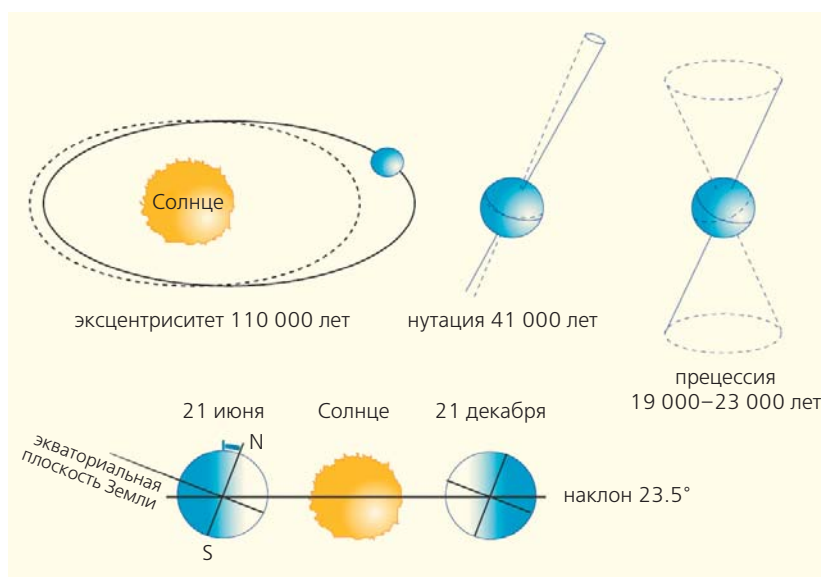
^{***} «Канон инсоляции и проблема ледниковых эпох».

Эксцентриситет земной орбиты — это числовая характеристика, которая показывает ее «сжатость». Как правило, орбиты планет (в том числе и Земли) не круговые, а в разной степени эллиптические. В такой проекции расположение нашей планеты на орбите четче всего определяют две полярные позиции: *перигелий* — ближайшая к Солнцу точка, и *афелий* — наиболее удаленное от светила положение Земли. Различия в инсоляции планеты между этими позициями могут быть весьма значимыми, однако к Земле это относится мало, поскольку эксцентриситет здесь невелик — всего 0.0167 (к примеру, у Луны он более заметен — 0.0549). Эллипсоидные очертания орбиты видоизменяются медленно, но ритмично, постепенно возвращаясь к исходной форме. Согласно расчетам Миланковича, каждое такое «простое» циклическое колебание укладывается в отрезок около 100 тыс. лет, но максимальный цикл эксцентриситета требует уже примерно 400 тыс. лет.

Второй фактор — *прецессия* — связан с осью вращения Земли и ее «размахом» (другими словами, речь идет о «вращающейся вершине Земли»). Расчеты Миланковича показывают, что свершение полного цикла укладывается примерно в 26 тыс. лет.

Третий фактор — *нута́ция* — это изменяющийся угол наклона оси Земли по отношению к плоскости ее орбиты. Полный цикл нута́ции, по расчетам Миланковича, требует примерно 41 тыс. лет.

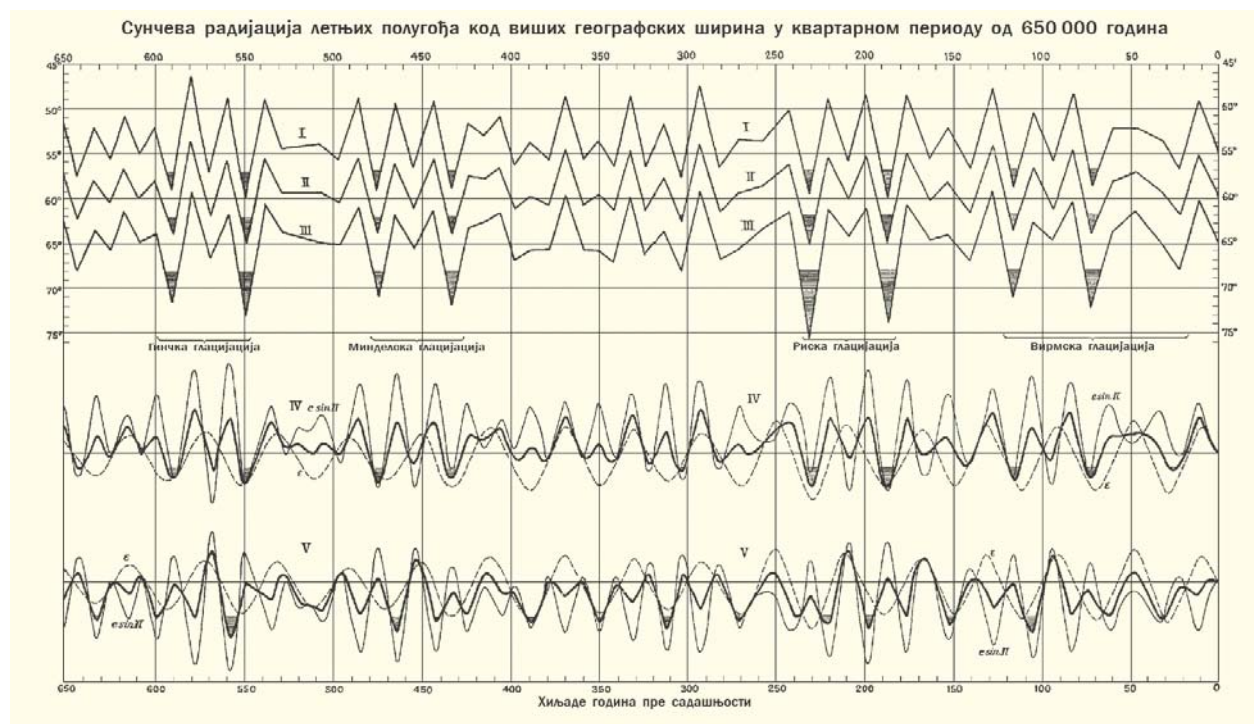
Таковыми предстают основные параметры, изменения которых обуславливают орбитально-космические воздействия на климат Земли, получившие в научной литературе устойчивое название «циклы Миланковича». Воздействия эти могли быть кумулятивными — т.е. совокупно сказываться в одном направлении — в сторону похолодания или же потепления. Могли и наоборот — гасить друг друга. Скорее всего, плейстоценовое оледенение Северного полушария было вызвано гармоничным слиянием неблагоприятных для этой области Земли орбитальных перемен. По всей вероятности, на фоне существенных изменений прецессии и нута́ции менее значимые перемены наблюдались у эксцентриситета: земная орбита оказалась весьма близка к правильному кругу. Однако не исключено, что уже весь «правильный круг» орбиты изменял свое положение относительно Солнца, и тогда это существенно отражалось на близости планеты к центру Солнечной системы и, соответственно, на уровне инсоляции Земли.



Схематическое отражение эксцентриситета, а также различных позиций прецессии и нута́ции на орбите Земли по отношению к Солнцу [24, с изменениями].

Расчеты Миланковича, позволившие реконструировать комплексные характеристики орбитальных циклов, вне всякого сомнения, инициировали очевидный и позитивный прорыв в сфере климатологии. Предложенные им реконструкции могли претендовать и, конечно же, претендовали на картины широкого и по сути глобального охвата буквально всей суши Земли. Но получилось ли задуманное? И как можно было корректно проверить реальность таких реконструкций?.. Обращение для столь необходимого и важного тестирования к классической картине альпийских оледенений и к их знаменитому «квартету» (гюнц, миндель, рисс, вюрм) кажется вполне понятным. Миланкович пытается совместить предложенные им циклы с этим «квартетом» [11], датированным в рамках последних 600 тыс. лет. Как будто бы все выглядит отлично!.. Однако всплывают и очевидные «но», ведь избранный для сравнений альпийский полигон пространственно весьма ограничен, а потому его роль выглядит не слишком весомой для истинно глобальных построений. Однако сколько-нибудь надежных и систематизированных материалов с иных пространств Евразии и Америки в те десятилетия выявлено еще не было. И потому воссоздание желаемых широчайших построений словно получало некую отсрочку...

Но дело, пожалуй, заключалось не только в этом: в представленных картинах Миланковича не хватало внимания к локальным — пусть даже весьма обширным — вариациям земного климата, а ведь те зачастую проявляли себя чрезвычайно выразительно и нередко парадоксально. Но это казалось вполне очевидным для многих исследователей даже в ту пору, когда знаменитый клима-



Циклы Миланковича [13]. Отражена последовательность альпийских оледенений на кривой поступления солнечной радиации за последние 650 тыс. лет. Ледниковые эпохи (слева направо: гюнц, миндель, рисс, вюрм) показаны на графике штриховкой.

толог только начинал создавать и оценивать свои построения. Завершая раздел о творчестве Миланковича, хотелось бы в очередной раз подчеркнуть особое значение этой знаковой фигуры для

широких исследований климатологии Земли. И это будет вполне очевидно при обращении к работам последующих десятилетий, вплоть до нынешних дней*.

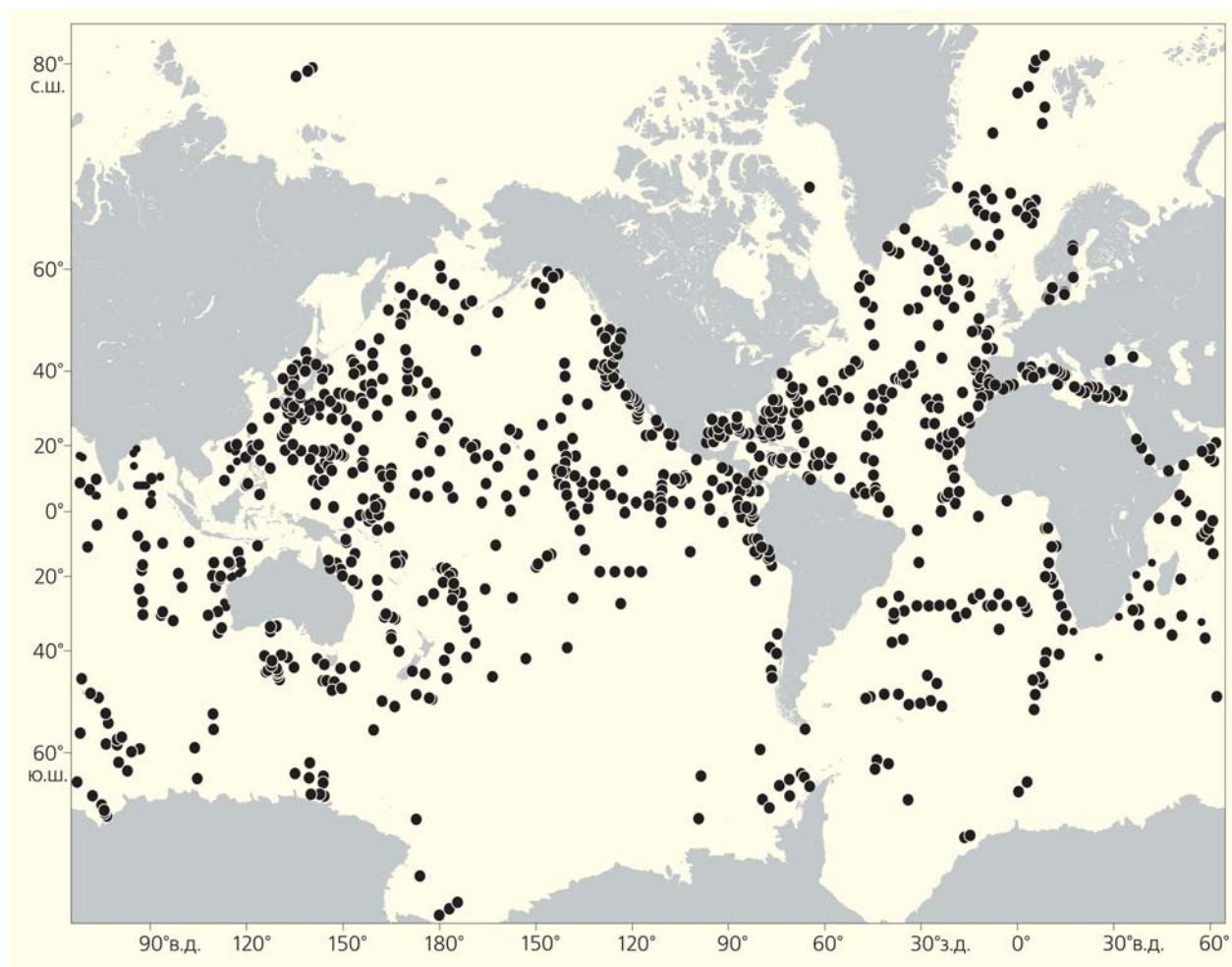
* Привлеку внимание читателя и к жизненному пути этого выдающегося ученого — пути, сопровождавшемуся рядом удивительных парадоксов. Сербский гражданин Милутин Миланкович сначала учился в столице Австро-Венгрии, в Высшей технической школе, и окончил ее в 1902 г. с дипломом инженера-строителя. Через два года в тех же стенах школы он защитил диссертацию. Миланковича сразу же взяли на работу на Венский бетонный завод, где он успешно трудился пять лет [12]. Но строительство не было его стихией: Миланковича влекли заоблачные проекты. В 1909 г. его пригласили в Белград руководить кафедрой прикладной математики, где велись разработки в областях теоретической физики и механики астрономии (!). Позднее он сам себе задал вопрос: *Не было ли прискорбно сменить громадную Вену на маленький Белград?* Но именно в столице Сербии Миланковичу удалось ступить на тот путь, что принес ему мировую славу. Однако на этом пути ученого ожидали чрезвычайно яркие, даже парадоксальные испытания. В возрасте 35 лет профессор Миланкович решил завести семью. Свадебный обряд состоялся 14 июня 1914 г., и сразу же после него вместе с молодой женой Миланкович отправился в путешествие, в родные пенаты, в село Даль (ныне Хорватия, а тогда Австро-Венгрия). Спустя две недели сербский националист Гаврило Принцип убил в Сараеве наследника австро-венгерского престола и началась Первая мировая война. Миланкович попал в плен, где должен был провести примерно полгода — до Рождества 1914 г. Но благодаря прежним венским знакомствам ему удалось под честное слово оставить лагерь пленных и перебраться в Будапешт. Там также его хороший знакомый, директор научной библиотеки, снова за обещание, что Миланкович не сбежит, добился для него разрешения работать в этой библиотеке. Там ученый провел четыре плодотворных года вплоть до окончания войны. В 1917 г. он сумел завершить книгу «Математические основы науки о космической радиации», позднее переведенную на французский язык и опубликованную в 1920 г. в Париже [8]. Вплоть до начала Второй мировой войны Миланкович успешно трудился в Белградском университете. Последние два года — 1939-й и 1940-й — он потратил на подведение своеобразного итога своих широких орбитально-климатических изысканий, завершая знаменитый «Канон» [9, 10]. Готовую к печати рукопись Миланкович сдал в типографию 2 апреля 1941 г. Однако через четыре дня (6 апреля) Белград подвергся ожесточенной бомбардировке германской авиации и типография была разрушена. Но случилось невероятное везение: рукопись осталась почти нетронутой, пострадали лишь несколько страниц. Сербия и ее столица в то время находились в оккупации. И снова к Миланковичу пришла нежданная удача: 15 мая 1941 г. в его доме появились два немецких офицера вместе со знакомыми студентами-геологами. Автор передал им свою рукопись, и — что кажется уж совсем невероятным! — знаменитая книга была опубликована в Белграде в том же 1941 г. (!) под грифом Сербской королевской академии наук. После войны Миланковича избрали вице-президентом Академии, но вскоре он стал постепенно отходить от своей важнейшей жизненной привязанности, тем не менее пребывая на почетном посту вплоть до кончины в 1958 г.

Летопись донных отложений океанов и современных ледников

В те годы, когда Миланкович и его предшественники формулировали свои гипотезы, преобладало мнение, что наиболее ценные сведения о ледниках плейстоценового прошлого можно извлечь из тех континентальных отложений, что многие тысячелетия назад были укрыты могучими ледяными пластами. Однако в среде специалистов-гляциологов постепенно крепла мысль, что подобного рода ожидаемые результаты изучения ледниковых панцирей минувших тысячелетий вряд ли окажутся справедливыми: ведь все эти отложения чрезвычайно сильно искажены более поздними ледовыми напластованиями. Гляциалы постоянно чередовались с интергляциалами, и каждая новая подвижка льда чаще всего в большей или меньшей степени нарушала и разрушала следы предшествующих оледенений. При всем уважении гляциологов к классическому «квартету-квинтету», становилось очевидным, что их материалов совершен-

но недостаточно для воссоздания глобальных картин земного палеоклимата. Поэтому внимание ученых все чаще и чаще стали привлекать донные отложения океанов, а также современные ледниковые щиты Гренландии и Антарктиды. На них отныне и сосредоточилось основное внимание исследователей.

В 50–60-е годы прошлого столетия американский и английский исследователи Ч.Эмилиани (1922–1995) и Н.Шеклтон (1937–2006) установили, что в восстановлении реалий ледниковой эпохи весьма существенную помощь ученым могут оказать два важнейших параметра донных океанских отложений. Во-первых, это чередование грубых и тонких слоев в осадках, опускавшихся на морское дно с таявших на теплой поверхности моря айсбергов. Во-вторых — изменения количества вторичного изотопа кислорода ^{18}O , содержащегося в оболочках морских раковинных одноклеточных фораминифер. Ученые пришли к заключению, что изотоп ^{18}O может служить достаточно надежным материалом для дешифровки климата отдаленных

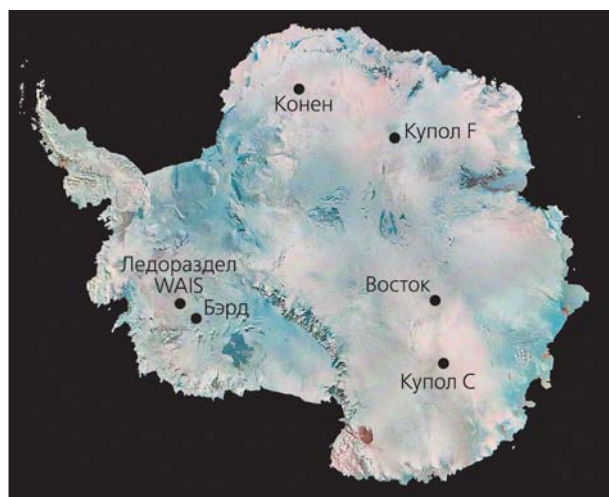
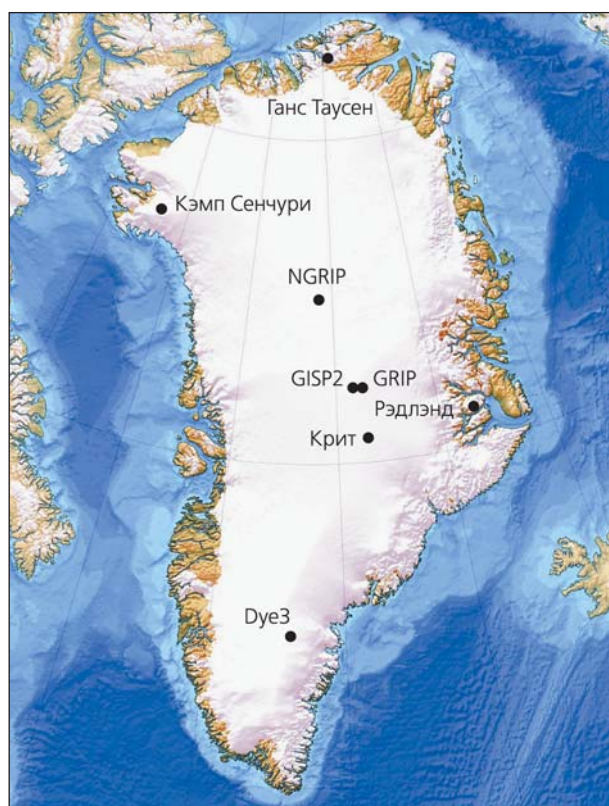


Точки глубокого бурения в бассейнах Атлантического, Тихого и Индийского океанов.

<http://iodp.tamu.edu/scienceops/maps.html>

эпох. Его концентрации отражают температурные изменения в различных морских слоях, и это напрямую связано с ледниковой ситуацией в конкретном ареале в определенное время. Устойчивый характер и строгая стратиграфическая последовательность глубинных донных морских напластований позволяла надеяться на увлекательную перспективу выявления истории ледников на очень широких пространствах.

В 1970-е годы был объявлен международный проект CLIMAP (Climate: Long range Investigation, Mapping, and Prediction), который ставил перед



Точки глубокого бурения в Гренландии и Антарктиде.

учеными цель реконструкции климата Земли на базе изучения донных океанских отложений. В 1976 г. американские гляциологи Дж.Хэйес, Дж.Имбри, а также уже упоминавшийся Н.Шеклтон провели комплексные исследования материалов, добытых на одной из морских буровых станций. Она располагалась в Индийском океане на относительно равном расстоянии от Антарктиды, Австралии и Африки. Особое внимание ученые уделили изменениям концентрации изотопа ^{18}O в глубинных осадках.

По всей вероятности, одним из наиболее впечатляющих результатов проведенных работ стало подтверждение справедливости теории Миланковича, в основе которой лежало предположение о связи оледенений Земли с переменами ее орбитальных параметров и уровня инсоляции. Во всяком случае, опубликованная в 1976 г. статья этих авторов [25] и сегодня воспринимается климатологами как своеобразный маркер нового этапа изысканий в этой науке.

Несколько позднее гляциологи обратились к изучению ледовых отложений Гренландии и Антарктиды. При этом кажется любопытным, что антарктическая станция Восток была создана очень рано — еще в 1957 г., во время 2-й Советской Антарктической экспедиции. Однако материалы изысканий ее сотрудников стали использоваться много позднее, уже синхронно и совокупно с данными гренландских станций, после 1990–1992 гг.

Возможность использования данных ледниковых напластований в реконструкции палеоклимата исходит из того, что в ледовых слоях вполне определенно отражалась картина, характерная для окружающего ледниковый массив океана. Роль своеобразного медиатора между морскими слоями и поверхностными покровами ледников играли испарения и атмосферные осадки. Всегда и постоянно происходил обмен между океаном и континентальными покровами, включая ледники. Интенсивность и характерные особенности обменных процессов зависели от особенностей палеоклимата в конкретный период — гляциал это или же интергляциал. Кажется, именно в этом таилась разгадка повторов в колебаниях концентраций изотопа ^{18}O в ледовых слоях буровых колонок. Вполне возможно, что одним из наиболее значимых результатов работ на ледниковых панцирях стало выявление редко нарушаемой стратиграфической последовательности слоев, отражающей динамику климатических перемен. Картина здесь оказалась весьма сходной с той, что была получена при исследованиях морских донных отложений.

Палеоклиматологические исследования последних десятилетий продолжались весьма активно и на широких пространствах. Поэтому ныне возникла очевидная необходимость подведения хотя бы некоторых промежуточных итогов. Для того чтобы общая картина стала более понят-

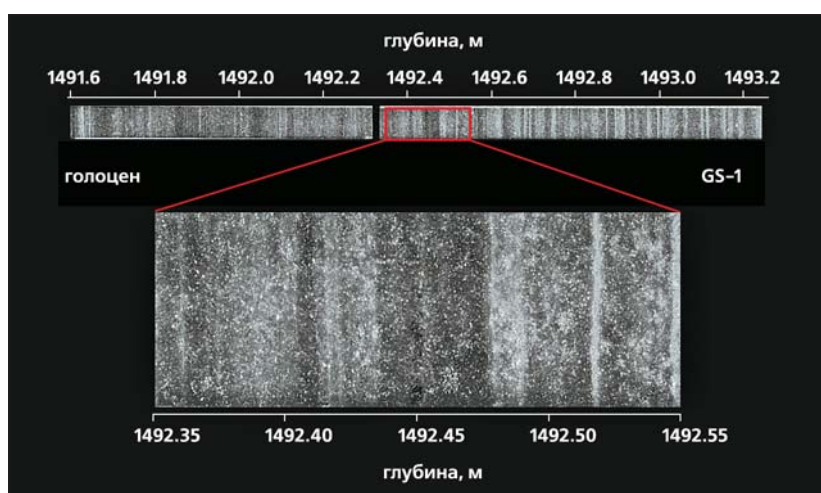


Ледниковый (слева) и межледниковый климат: обменные процессы между морскими и континентальными участками изотопами кислорода и углерода, а также их концентрации в глубоких океанских слоях [26].

ной и впечатляющей, взглянем на книгу Уильяма Раддмана «Климат Земли: прошлое и будущее»* [26]. Эта монография, как представляется автору статьи, в наибольшей степени отвечает поставленной задаче.

Первое и, может быть, главное, что хотелось бы отметить, — это воистину глобальный размах исследований [27, 28]. Они покрывают по существу все континенты, включая Антарктиду, а также охватывают океаны. Таким образом сразу же возникает надежная база для проверки реальности космически-орбитальных построений. Второе: это, конечно же, подключение к исследованию палеоклимата Земли неисчислимых и тщательно изученных с помощью комплексных методов материалов по хронологическо-стратиграфическим анализам отложений морского дна и ледовых щитов Гренландии и Антарктиды [27]. И наконец, третье: все использованные в монографии материалы укладываются в четкие рамки плейстоцена и голоцена.

В книге Раддмана публикуются многочисленные значимые диаграммы, представляющие динамику и тренд развития палеоклимата в различных областях планеты (по преимуществу — в Север-

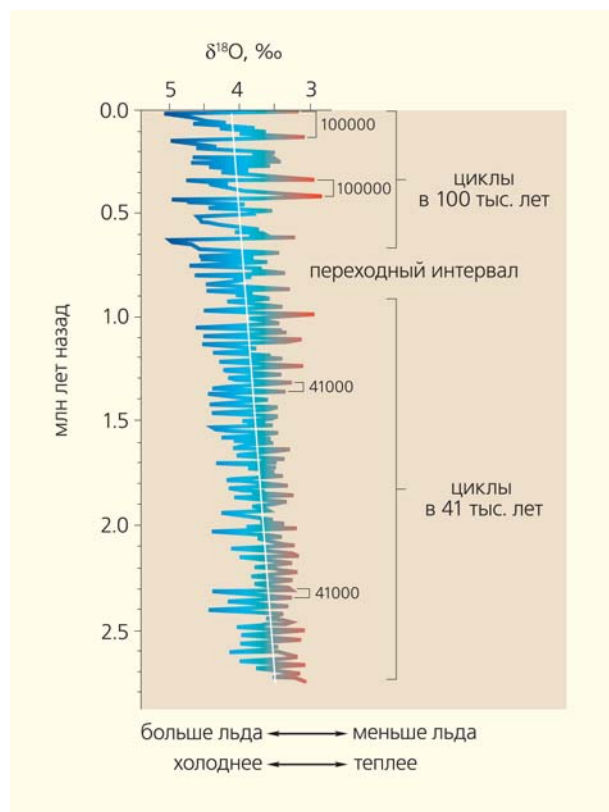


Гренландия, станция NGRIP. Визуальная стратиграфия буровой ледовой колонки на глубинах 1491.6–1493.25 м. Темные широкие полосы соответствуют прозрачному льду; светлые тонкие — прослойкам с примесями микрочастиц континентальной пыли [27].

ном полушарии). Ограничимся демонстрацией лишь одной из диаграмм — она отражает сложные процессы, происходившие в районе Северной Атлантики последние почти 3 млн лет. Установлено, что первый лед на поверхности Земли появился 2.75 млн лет назад. Но в таком случае — не с этой ли даты следует вести отсчет эпохи плейстоцена? Диаграмма показывает резко выраженные ритмы смены гляциалов и интергляциалов при генеральном относительно плавном тренде общего понижения средней температуры, что отражается в концентрациях изотопов ^{18}O морских и ледниковых отложений.

На этой же диаграмме можно увидеть и ответ на вопрос, который занимал нас при обсуждении судеб циклов Миланковича: реальными ли выглядят заключения знаменитого ученого сегодня, сквозь призму новейших изысканий? Ответ, безусловно, позитивный, поскольку реальность циклов вполне очевидна. Все эти сюжеты Раддман

* Автор книги Уильям Раддман (род. в 1943) — известный американский палеоклиматолог, геолог и океанограф, участник многих экспедиций не только по морским, но и по континентальным просторам, заслуженный профессор Виргинского университета, один из организаторов и участников международного проекта CLIMAP, о котором кратко упоминалось выше. В книге отражены наиболее значимые результаты работ последних пяти-шести десятилетий, причем изложены они в достаточно популярном стиле и снабжены выразительными иллюстрациями.



Тренд развития климатических особенностей эпохи плейстоцена, установленный по материалам изучения морских донных отложений в Северной Атлантике [26].

весьма подробно обсуждает в специальной части своей монографии — «Орбитальная шкала климатических перемен» (с.119–206). Правда, проблемы с конкретикой циклов до конца не исчерпаны*, хотя в принципе согласие достигнуто.

Более ясным предстает ныне и вопрос о возрасте перехода от плейстоцена к голоцену. Радиоуглеродное датирование ледовых отложений Антарктиды (станция Восток), а также бентосных осадков в более северных регионах позволили установить дату, соответствующую финалу плейстоцена: 10 730–9700 тыс. назад.

Итак, можно ли теперь полагать, что все уже ясно? Увы, конечно, нет...

Климатические парадоксы Евразии под знаком тектонических сдвигов и океанских течений

Неохватные пространства глубинной Евразии оказались, видимо, не слишком привлекательными для ведущих специалистов по мировой гляцио-

логии. Судя по всему, именно по этой причине разработки проблем континентальных различий в евразийском палеоклимате представлены весьма скупо. Во всяком случае, именно таковыми выглядят ведущие части и разделы книги Раддимана, избранной нами для демонстрации важнейших результатов и достижений климатологии в последние десятилетия.

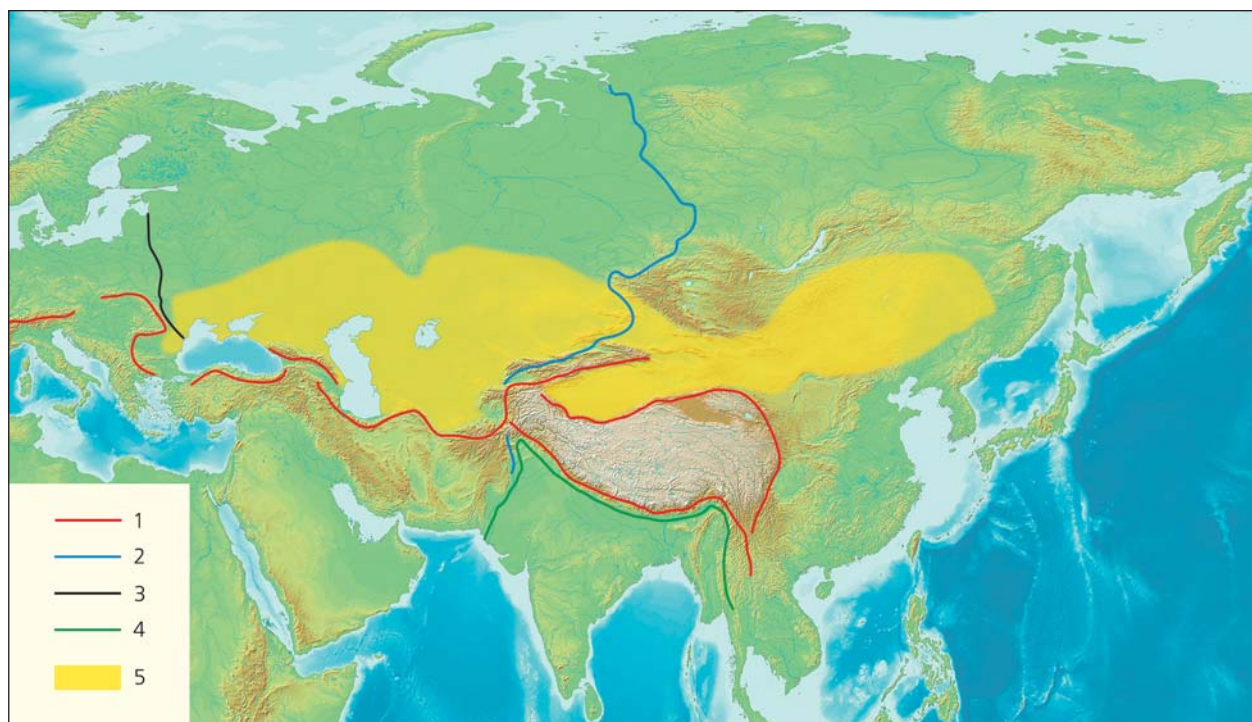
Так, например, изменения в тектонике материковых плит как будто признаются за одну из трех основных причин или факторов, способствующих ломке климата. Однако анализ результатов воздействия этого фактора на климат конкретными примерами не сопровождается — по крайней мере, для Евразии. По этой причине уделим данному сюжету некоторое внимание: речь пойдет о так называемом Альпийско-Гималайском складчатом поясе.

Цепь многочисленных и взаимосвязанных в этом поясе горных хребтов и массивов протянулась от упирающихся в Атлантику Пиренеев вплоть до Восточного Тибета. Протяженность всей цепи равна примерно 8,5–9 тыс. км по прямой, но если следовать многочисленным изломам, то она достигает 13 тыс. км. Феномен Альпийско-Гималайского пояса обязан встречному движению и столкновению двух гигантских литосферных плит — Евразийской, северной, и Индо-Австралийской, южной. По пространственному охвату каждый из этих тектонических массивов занимает около 68–69 млн км². Их встречную «конфронтацию», протекающую и в настоящее время, как раз и обозначают протяженные горные цепи. Различия в напряженности «конфронтации» на каждом из участков пояса выражены вполне отчетливо. Центр встречной активности плит определенно смещен к востоку, что отразилось во впечатляющем блоке наиболее значимых и ярких горных систем Евразии. В центре блока расположен Тибет, обширное плато которого оконтурено с юга высотами Гималаев, а с севера — вершинами Кунылуна. Западный фланг опирается на хребты Гиндукуша, резко возвышающегося на фоне соседнего сравнительно невысокого Копетдага. В связке с Гиндукушем северная граница блока обозначена массивом Памира и хребтами Тянь-Шаня. Последние отделены от Тибета и Кунылуна крупной и с трех сторон замкнутой горными цепями пустыней Такла-Макан.

По всей вероятности, одним из самых примечательных и знаковых обстоятельств в рамках обсуждаемой нами проблематики можно считать заключение геологов, что максимум активного роста хребтов и горных массивов Альпийско-Гималайского пояса приходится именно на четвертичный период, т.е. антропоген [29]. Эти процессы продолжаются и ныне.

Растянувшаяся на многие тысячи километров цепь пояса разрезает в широтном направлении почти всю громаду Евразийского континента, от-

* В настоящее время исследователи склоняются к некоторым изменениям этих значений: для эксцентриситета — до 110 тыс. лет, для прецессии — от 19 до 23 тыс. лет [24].



Разграничения важнейших частей Евразии: 1 — Альпийско-Гималайский горный пояс и членение континента на Север и Юг; 2 — членение континента на Восток и Запад; 3 — граница «полуострова Европа»; 4 — граница Южной (Индостанской) части Евразии; 5 — Степной пояс.

четливо обозначая тем самым северную и южную половины материка. По этой причине первым и явным результатом такого раздела становятся весьма заметные климатические различия разных регионов. Практически всегда и всюду, в большей или меньшей степени, тесно примыкающие с юга и севера к границам пояса «половины» в любом регионе будут отличаться своими характерными климатическими особенностями: северная — всегда заметно холоднее, южная — наоборот. Это может проявляться резко, порой даже контрастно — т.е. совсем не так, как происходит в привычном широтном варианте. Отличия подобного рода особенно заметны, скажем, в таких тесно друг к другу расположенных «парах», как Предкавказье и Закавказье или же плато Тибета и север Индийского субконтинента.

По всей вероятности, наиболее выразительным следствием членения «север—юг» следует считать формирование знакового для Евразии Степного пояса, ставшего доменом кочевых культур материка и в таком качестве служившего подвижным номадам в течение шести-семи тысячелетий. Протяженность Степного пояса близка к 8 тыс. км. Его восточный фланг располагается близ северного побережья Желтого моря, в Маньчжурии. Южная граница практически повсеместно обозначена склонами массивов и хребтов Альпийско-Гималайского пояса. Северные грани весьма расплывчаты, поскольку везде сам пояс

плавню перетекает в «размытую» зону лесостепи. Западный, сужающийся, фланг относится к северо-западному Причерноморью, касаясь своим узким клином устья Дуная. Здесь возникает невольный вопрос: чем же объяснить такое отчетливое «сплющивание» Степного пояса в его западных частях? Ответ мы сможем получить при обращении не к широтным, а к долготным членениям Евразийского материка.

Существует еще один вариант членения Евразии — уже на три составляющие. Две из них — Восточная и Западная — как раз долготные по определению, и они, безусловно, важнейшие на континенте. Третья — Южная (Индостанская) — по площади почти десятикратно уступает каждой из более северных «половин». Кроме того, последняя целиком соотносится с Индо-Австралийской литосферной плитой, ведь ее северная грань — а это долина р.Ганг в ее верхнем и среднем течении — буквально прижата к вздыбленным высотам Гималаев.

Разделительные рубежи Востока и Запада Евразии с горными системами сопряжены не столь очевидно. Их более отчетливыми рубежами служат уже долины и бассейны великих рек: на севере — Енисей, а на юге — Инда (с западной стороны Индостана) и Ганга с Брахмапутрой (с восточной стороны). И здесь уже как будто вне видимой связи с геоэкологическими реалиями проявляют себя яркие, знаковые различия в культурах *Номо* —

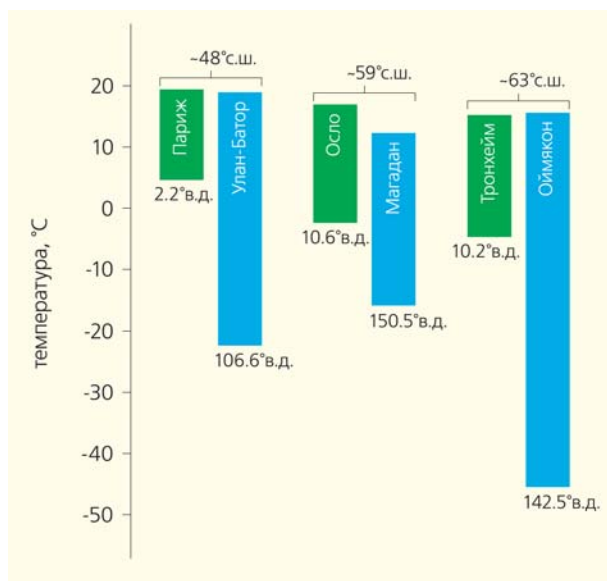


Диаграмма сопоставления климатических (температурных) характеристик отдельных пунктов на Западе и Востоке Евразии. Верхняя часть каждого столбика соответствует средней температуре июля, нижняя — средней температуре января.

в их антропологии, лингвистике, в моделях мировоззрения*...

Сравним климатические особенности Запада и Востока северной половины Евразии. Различия здесь как в палеоклимате плейстоценовой эпохи, так и в климате нынешнего дня вполне очевидны, но начнем с позднейшего. Выбор параллелей ограничим тремя парами точек, весьма близких по широте. Западные пункты находятся на краю Европейского материка или же близ него; восточные — локализованы в центре Азии либо на восточном краю континента. Средние температуры

июля в каждой из пар оказываются почти неотличимыми. По крайней мере, это можно заметить при сопоставлении двух столиц — Парижа и Улан-Батора, а на полюсе холода в Оймяконе летом даже слегка теплее, чем в норвежском Тронхейме. Лишь в Осло июль теплее магаданского примерно на 5°C. А вот январские стужи восточной половины Евразии буквально подавляют своим превосходством во всех трех наших сравнениях. Правда, и в этом случае лежащий на берегу Охотского моря Магадан выглядит не столь неумолимо суровым в сравнении с Осло: разница всего-то в 13°C! Здесь контраст смягчен морем, в отличие от двух прочих пар.

В чем же таится причина таких немислимых различий? Правда, вопрос звучит скорее риторически, поскольку здесь вряд ли мы столкнемся с существенными разногласиями. К решающим факторам в этом случае относятся западный перенос воздушных масс, а также омывающие запад Европы теплые течения Атлантики и столь несходные с ними холодные тихоокеанские течения вдоль берегов Северной Азии.

Любопытно, что в ледниковом плейстоцене роль атмосферной циркуляции и контрастных течений влекла за собой формирование внешне парадоксальных картин: запад Европы (от Скандинавии до Альп, а к востоку порой даже до Днепра и Валдая) был укрыт ледовыми пластами. Но это было совершенно нехарактерным для Востока Евразии. Там если следы оледенений и отмечались, то весьма локальные, не покрывавшие сколько-нибудь значимых площадей. Пожалуй, наиболее выразительным свидетельством этого служила свободная от ледовых покровов Берингия, по которой в конце палеолита люди смогли перейти из Азии в Америку. Однако при этом температурный режим здесь был существенно более жестоким в сравнении с Западом.

* В настоящей статье ограничимся лишь упоминаниями о структуре Евразийского мира и о феномене Степного пояса. Эти темы журнал «Природа» освещал в не столь отдаленные годы, отчего нет резона в их повторении. Интересующиеся более подробными сюжетами могут обратиться к прошлым публикациям автора. Так, тема о структуре Евразийского мира была затронута в 2008 (№3. С.34–43) и 2011 гг. (№7. С.3–13; №8. С.43–54). Отдельный цикл статей посвящен проблемам кочевого мира Евразии (2014. №9. С.48–59; 2015. №1. С.28–41; 2015. №2. С.43–55; 2015. №3. С.55–68; 2015. №4. С.44–57). О непростых взаимоотношениях Руси и России с культурами Степного пояса рассказывалось в 2016 г. (№4. С.45–55; №5. С.49–58; №7. С.50–61). Перечисленные темы подробно рассмотрены и в некоторых книгах [30–32].



Финальное оледенение плейстоцена. Ледники на суше материков и на островах Северного полушария [26].

Справедливо полагают, что основной причиной такой картины послужило мощное испарение с поверхности океана, приводившее к обильным снегопадам. Снежные покровы резко усиливали эффект так называемого *альбедо*, означавшего уровень отражательной способности поверхности. Все это служило накоплению снежных покровов, шаг за шагом уплотнявшихся и преобразовавшихся в ледовые пласты. Последние могли растаять или испариться лишь вслед за глобальными температурными взлетами в эпоху голоцена. В противоположность этому подобного рода процессы для Востока Евразии характерными не стали, и последствия мы можем ощущать вплоть до настоящего времени.

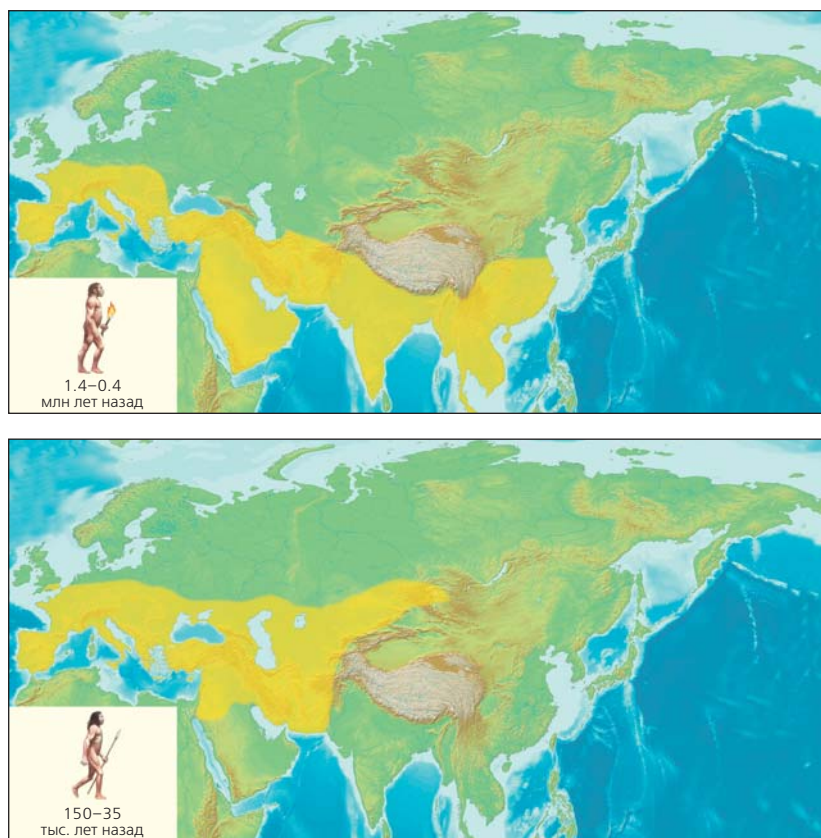
Возвратимся теперь к обещанному объяснению постепенного ослабления «пространственной силы» Степного пояса по мере продвижения с Востока на Запад. И в этом случае ключевую роль, без сомнения, играла Атлантика. Для Степного пояса повышенная влажность Запада с его дождями, снегами и туманами шаг за шагом становилась буквально неодолимым барьером. На Востоке континента ситуация была совершенно иной.

И наконец, еще одно, но чрезвычайно важное: о так называемом *полуострове Европа*, культуры *Homo* которого сыграли первостепенную роль в истории человечества. Средиземное море вместе со своим восточным клоном — Черным морем — было, по сути, поразительно глубоко врезающимся в тело Евразии громадным заливом Атлантического океана. У средиземноморского залива имелся также северный «близнец» — во многом похожий, хотя и не столь яркий и обширный, — Балтийское море. Оба атлантических залива и с севера, и с юга охватывали огромный блок евразийской суши примерно в 4 млн км² (без учета островов). Пожалуй, Европейский полуостров в полной мере испытал влияние Атлантики в эпоху плейстоцена. Наметить границы *истинной Европы*, сопряженные с рамками громады полуострова, несложно: от Восточной Балтики вплоть до северо-западного Причерноморья с «опорой» на массив Восточных Карпат. Именно эта линия, но отнюдь не Уральские горы, и определяет тот раздел между Азией и Европой, о чем уже многие столетия, начиная с Геродота, ведутся диспуты в самой разнообразной литературе [31].

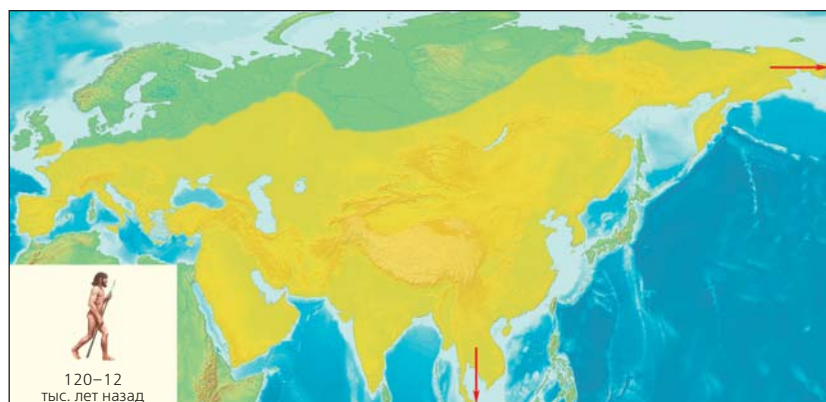
Евразия: от *Homo erectus* до *Homo sapiens*

Таковой в весьма лаконичной форме может выглядеть та геоэкологическая база, что на протяжении более 2.5 млн лет служила гигантским полигоном-фундаментом развития всего человечества. Именно на этом полигоне разыгрывались ключевые сюжеты исходной истории культур *Homo* древнекаменного века — палеолита. Основные ступени их пространственных охватов представлены на трех картах, которые весьма схематично, без особой детализации, отражают динамику распространения памятников, оставленных различными группами палеолитического населения: наиболее ранним *H. erectus*, или же человеком *прямоходящим*; тупиковым, хотя и весьма ярким *H. neanderthalensis* — *неандертальцем*; и, наконец, *H. sapiens* — человеком *разумным*, в этом ряду самым поздним.

Примерно 12–11 тыс. лет назад произошла замена климатически весьма жесткого плейстоцена сравнительно теплым голоценом, когда ледниковые пласты шаг за шагом освобождали пространства Северной Евразии. Одновременно с плейстоценом растворился, как бы канул в небытие, и палеолит. Наступил новый этап развития культур, который в разных частях континента зачастую



Ареалы распространения в Евразии памятников, связанных с культурами *Homo erectus* (вверху) и *Homo neanderthalensis*.

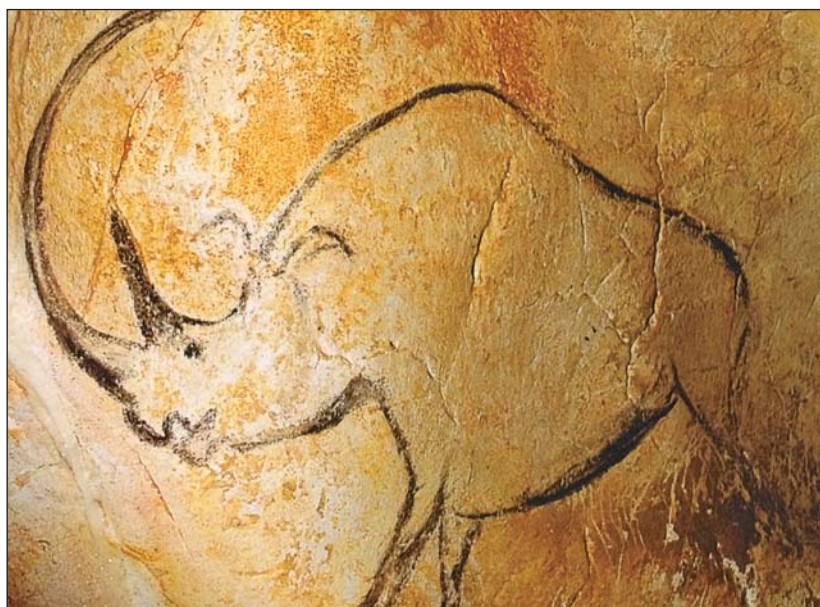


Ареал распространения в Евразии памятников, связанных с *Homo sapiens*.

стали именовать мезолитом, или средним каменным веком. С того периода вместо сравнительно монотонных и трудноразличимых между собой палеолитических культур постепенно начали являть себя новые общности — уже вполне «многоцветные». В сравнении с палеолитическими их пространственные границы выглядели гораздо более четкими и определенными. Да и грани хронологических рамок постпалеолитических культур представлялись уже не столь «размазанными», что позволяло предполагать существенно более короткие периоды их бытования. Тогда же свершился финал и так называемой мегафауны — мамонтов, самых внушительных на Земле млекопитающих. По всей вероятности, причиной их исчезновения в немалой степени послужила активность удачливых палеолитических охотников.

дистанции. Но именно такой ничтожный отрезок времени и породил феноменальный по богатству и разнообразию взрывной фейерверк человеческих культур. Правда, выражение «отрезок породил» вряд ли можно считать удачным. Порождал ведь не «отрезок» времени, но заложенные в культурах способности к развитию, лишь проявившие себя в тот короткий период. Но доголоценовые культуры на пути своего существования приоткрывали завесу над секретами собственной жизни крайне скупое, а расплывчатые маски археологических древностей не спешили полностью обнажать перед учеными скрытую сущность своих тайн...

Загадки эти совсем не простые, и они способны вызывать неожиданные ассоциации, скажем, из растительного мира. Вот, например, корни боль-



Палеолитическое искусство. Слева: «Виллендорфская Венера» — вырезанная из кости мамонта скульптура беременной женщины (Виллендорф, Австрия; высота фигурки — 11 см). Справа: наскальное изображение быка-носорога из знаменитой пещеры Шове на юге Франции.

шинства постижений голоценовых культур заставляют нас внимательно вглядываться в таинственные бездны палеолитической эры. В тех же глубинах от корней пробивались сквозь тысячелетия слоев уже ветвящиеся стволы растений. В самом финале палеолита верхушки стволов начинали обрастать кронами, в которых угадывались пока что не совсем раскрытые, но уже набухшие чем-то новым «бутоны». Чувствовалось приближение знакового временного рубежа, когда у множества стволов/культур бутоны начинали полностью раскрываться, являя миру невиданные до тех пор таинства.

И вот еще один важный вопрос: можно ли считать старт теплого голоцена тем самым временным знаковым рубежом — как бы своеобразной «весной»? Да. Но, видимо, лишь отчасти... На этот



Погребение мужчины на палеолитической стоянке Сунгирь близ Владимира на р.Клязьме; одежда покойника была усыпана многими тысячами мелких просверленных бусин из мамонтовых косточек.

и на другие не менее сложные вопросы постараемся найти ответы в следующих частях нашей «многосерийной» истории, посвященной эволюции культур *Homo*. ■

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

Литература / Reference

1. Penck A., Brückner E. Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig, 1909.
2. Eberl B. Die Eiszeitenfolge im nördlichen Alpenvorlande — Ihr Ablauf, ihre Chronologie auf Grund der Aufnahme im Bereich des Lech- und Illergletschers. Augsburg, 1930.
3. Арциховский А.В. Введение в археологию. М., 1947. [Artsikhovskiy A.V. An introduction to archeology. Moscow, 1947. (In Russ.).]
4. Авдусин Д.А. Основы археологии: Учебник для вузов. М., 1989. [Avdusin D.A. The foundations of archaeology. Moscow, 1989. (In Russ.).]
5. Археология: Учебник. Ред. В.Л.Янин. М., 2006. [Archaeology: Manual. Ed. V.L.Yanin. Moscow, 2006. (In Russ.).]
6. Гроссвальд М.Г. Евразийские гидросферные катастрофы и оледенение Арктики. Опыт геоморфологического анализа палеогидрологических систем материка. М., 1999. [Grosswald M.G. Cataclysmic megafloods in Eurasia and the polar ice sheets. Moscow, 1999. (In Russ.).]
7. Chizhov O.P. On the hypothesis of Ice Ages suggested by Captain E.S.Gernet. Journal of Glaciology. 1969; 8(53): 225–228.
8. Milankovich M. Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire: Paris, 1920.
9. Milankovich M. Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. Section of Mathematics and Natural Sciences: Special Publications. 1941; 132. Belgrade, 1941.
10. Milankovich M. Canon of Insolation and the Ice Age Problem. Washington D.C., 1969.
11. Grubić A. The astronomic theory of climatic changes of Milutin Milankovich. Episodes. Journal of International Geoscience. 2006; 29(3): 197–203.
12. Милутин Миланковић. Путник кроз васиону и векове. Београд, 2008. [Milutin Milankovitch. A traveler through distant worlds and times. Belgrade, 2008. (In Serb.).]
13. Knežević Z. Milutin Milanković and the astronomical theory of climate change. Europhysics News. 2010; 41(3): 17–20. Doi:10.1051/epn/2010301.
14. Петрович А. Канон ледникового периода. Милутин Миланкович и астрономическая теория изменений климата. СПб., 2011. [Petrovich A. Canon of Ice Age. Milutin Milankovich and astronomical theory of climate changes. St. Petersburg, 2011. (In Russ.).]
15. Berger W.H. On the Milankovitch sensitivity of the Quaternary deep-sea record. Climate of the Past. 2013; 9: 2003–2011. Doi:10.5194/cp-9-2003-2013.
16. Raymo M.E. The initiation of Northern Hemisphere glaciation. Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 1994; 22: 353–383.

17. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.; Л., 1939. [*Milankovich M. Mathematical climatology and astronomical theory of climate change. Moscow; Leningrad, 1939. (In Russ.)*]
18. Бялко А.В. Наша планета — Земля. Библиотечка «Квант». М., 1989: 29. [*Byalko A.V. Our planet is Earth. The «Kvant» Library. Moscow, 1989. 29.*]
19. Agassiz L. Études sur les glaciers. Neuchatel, 1840.
20. Adhemar J.A. Révolutions de la mer, déluges périodiques, Paris, 1842.
21. Croll J. Climate and time in their geological relations: a theory of secular changes of the Earth's climate. London, 1875.
22. Большаков В.А. Что такое «теория Миланковича»? Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода (г. Апатиты, 12–17 сентября, 2011 г.). Апатиты; СПб., 2011; 1: 77–80 [*Bolsbakov V.A. «Milankovitch theory» — what does it mean? The Quaternary in all of its variety. Basic issues, results, and major trends of further research. Proceedings of the VII All-Russian Quaternary Conference (Apatity, September 12–17, 2011). 2011; 1: 77–80. (In Russ.)*]
23. Большаков В.А. Новая концепция орбитальной теории палеоклимата. М., 2003. [*Bolsbakov V.A. The new concept of the orbital theory of paleoclimate. Moscow, 2003. (In Russ., Abstr. In Engl.)*]
24. SOES6047 Global Climate Cycles L10: Orbital Forcing.
25. Hays J.D., Imbrie J., Shackleton N.J. Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the Ice Ages. *Science*. 1976; 194: 1121–1131.
26. Ruddiman W.F. Earth's Climate: Past and Future. Second edition. New York, 2008.
27. Walker M., Johnsen S., Rasmussen S. et al. Formal definition and dating of the GSSP for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science*. 2009; 24(1): 3–17. Doi:10.1002/jqs.1227.
28. Stern J.V., Lisiecki L.E. Termination 1 timing in radiocarbon-dated regional benthic $\delta^{18}\text{O}$ stacks. *Paleoceanography*. 2014; 29(12): 1127–1142. Doi:10.1002/2014PA002700.
29. Трифонов В.Г., Иванова Т.П., Бачманов Д.М. Эволюция центральной части Альпийско-Гималайского пояса в позднем кайнозое. Геология и геофизика. 2012; 53(3): 289–304. [*Trifonov V.G., Ivanova T.P., Bachmanov D.M. Evolution of the Central Alpine-Himalayan belt in the Late Cenozoic. Russian Geology and Geophysics. 2012; 53(3): 289–304. (In Russ., Abstr. In Engl.)*]
30. 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.)*]
31. 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.)*]
32. Chernykh E.N. Nomadic Cultures in the Mega-Structure of the Eurasian World. Brighton, 2017.

Cultures *Homo*: the Nodal Questions of the Million' Years History In the Pleistocene Ice Grip

E.N.Chernykh

Institute of Archaeology, RAS (Moscow, Russia)

The focus of the second part of presented series of our papers is concentrated primarily on the debatable problems of extremely powerful geoecological impact on the basic elements of the structures of virtually all bio-social formations. The impact of the geoecological component on the Paleolithic cultures that most closely associated with the Pleistocene was more severe and cruel, since the technological «shield» of the oldest societies in the Ice Pleistocene was far less reliable than the cultures of later periods. All rhythmic/arrhythmic fluctuations of the paleoclimate were considered through the prism of the famous Milankovitch cycles. Particular attention was focused on three main causes of changes in the orbital position of the Earth in relation to the Sun: eccentricity, precession, and nutation. The reasons outlined primarily determine the level of insolation (Solar irradiance) of our planet, which, in particular, caused sharp changes in the paleoclimate, together with the onset of the ice age. At present, many laboratories of different countries carry out a thorough verification of the validity of these cycles on the basis of their correlation with bottom oceanic sediments and glacial interlayers in Greenland and Antarctica. In general, the Milankovitch cycles have withstood the test with these examinations, although some adjustment of certain positions was required. In the second article all these subjects are checked against a background of wide spatial pictures of the Paleolithic epoch. These paintings concern different continents of our planet, because they all served as the extremely wide range on which the archaeologists want to understand the most ancient steps of human history.

Keywords: Pleistocene, glacial periods, Earth's insolation cycles, Paleolithic.

Ярмарка тщеславия

Минералогическая сказка

доктор геолого-минералогических наук Р.К.Расцветова

Институт кристаллографии имени А.В.Шубникова РАН (Москва, Россия)

В популярной форме рассказывается об атомном строении природных боратов, в структуре которых наряду с тетраэдрами и треугольниками бора присутствуют полиэдры других мелких катионов с такой же координацией. Среди тетраэдрически координированных элементов бор самый маленький. Это одна из причин трудности объединения его тетраэдров с более крупными тетраэдрами $[\text{SiO}_4]$, $[\text{BeO}_4]$, $[\text{PO}_4]$, $[\text{SO}_4]$ и $[\text{AsO}_4]$. Высокозарядные элементы (P, S, As) чаще всего располагаются в изолированных тетраэдрах и не соединяются с тетраэдрами бора. Наибольшую часть смешанных минералов составляют боросиликаты, где тетраэдры бора через общие атомы кислорода объединяются с тетраэдрами кремния. Комбинации тетраэдрических катионов в разных соотношениях приводят к химическому и структурному разнообразию минералов.

Ключевые слова: минералы, кристаллические структуры, бораты, тетраэдры.

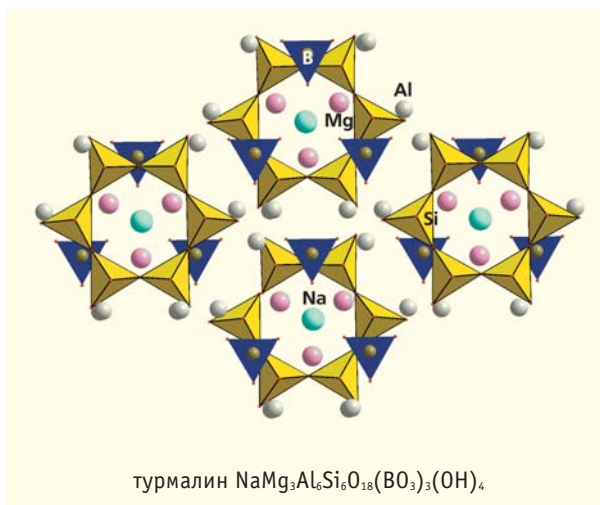
Среди элементов, тетраэдрически координированных атомами кислорода, бор самый маленький. Его ионный радиус не превышает 0.11 Å, а в треугольной координации он еще в 10 раз меньше. В этом одна из причин трудности объединения тетраэдров бора с тетраэдрами $[\text{SiO}_4]$, $[\text{BeO}_4]$, $[\text{PO}_4]$, $[\text{SO}_4]$ и $[\text{AsO}_4]$, а бор в треугольной координации тем более не подходящий партнер для подобных тетраэдров. Их совместные постройки — результат не столько содружества, сколько конкуренции. Si и Al близки и по размеру, и по заряду, а Si и Be — хотя бы по размеру. Их совместное участие в алюмо- и бериллосиликатах широко распространено в природе, в то время как боросиликаты встречаются намного реже. Тем не менее коммуникабельность бора позволяет ему участвовать в строительных проектах с другими элементами, образующими как тетраэдры, так и треугольники. В них бор чаще всего отдает ответственные участки другим, реже выступает на равных и лишь иногда — в главной роли.

Серия первая

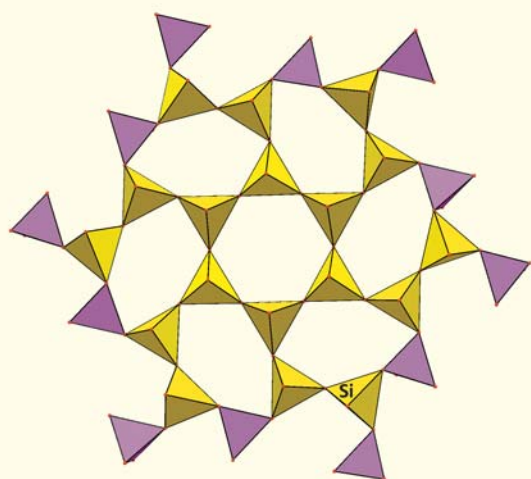
Черный **турмалин** из Швеции возглавляет большое семейство многочисленных и разнообразных родственников. Его структурная формула — $\text{XYZ}_6(\text{T}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3\text{V}_3\text{W}$ — с виду проста, но за каждой буквой стоит целая толпа элементов всех мастей и размеров: K, Na, Li, Be, Si, B и многие другие — больше половины таблицы Менделеева. Но главный герой — кремний. Он построил из своих тетраэдров шестичленные кольца и окружил их В-треугольниками. Эти изящные комплексы объединил октаэдрами Mg и Al и полиэдрами Na. И это несмотря на то, что свои сооружения турмалин создавал в суровых условиях высоких температур и давлений (вплоть до 1000°C и до 6 ГПа). Например, K-содержащий турмалин **маруямит** появился из расплава в глубоких слоях мантии. Он служит индикатором не только сверхвысоких давлений, но и ультракалевой минералообразующей среды (флюида или расплава).

Пролог

Однажды необыкновенная красавица Бора влюбилась в столь же необыкновенного красавца Кремния, и они поженились. Многие считали этот брак неравным по размеру, да и по достатку тоже (ведь у них разные заряды), но сестры и подруги Боры последовали ее примеру и выбрали в спутники жизни более крупных партнеров — бериллий, фосфор, а наиболее эмансипированные — алюминий и литий. И уж самые смелые согласились на мышьяк. Мода на смешанные браки быстро распространилась, и целые кварталы стали застраиваться разношерстными тетраэдрами и треугольниками.

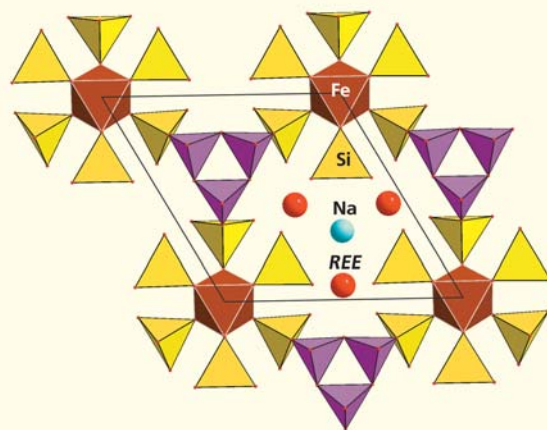


© Расцветова Р.К., 2018

тяньшанит $\text{Na}_2\text{BaMnTiB}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}$

Кремнекислородные шестичленные кольца взял в свой проект и **тяньшанит**, прибывший из пегматитовой жилы щелочного массива Дара-Пиоз (что на Тянь-Шане в Таджикистане) и названный в честь своей родины. Кого только не пригласил он в этот проект: кроме В, Si и О еще и Na, Ca, Mn, Ti, K, Ba, F! Конечно же, кремний стал главным исполнителем. Ему доверили построить шестерные кольца $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ правильной формы. Однако Si на этом не остановился. Он приделал к каждому тетраэдру в виде хвостика $[\text{Si}_2\text{O}_7]$ -диортогруппу, а В-тетраэдру поручил замкнуть хвостик в шестерное кольцо. Шесть смешанных борокремнекислородных колец получились не круглые, а сплюснутые. Они со всех сторон окружили центральное кремнекислородное кольцо. Громоздкие ажурные конструкции расположились в шахматном порядке и сомкнулись в сетку через свободные вершины своих и чужих В-тетраэдров. Архитектора не смутило, что на стыке конструкций образовалось еще 12 шестерных колец, тоже сплюснутых. Половина из них содержала по два В-тетраэдра, а половина — даже по три. И все тетраэдры обращены свободной вершинкой в противоположную от сетки сторону. Такие же В-тетраэдры торчат из соседней перевернутой сетки. Они соединяются в B_2O_7 -диортогруппы в виде перемишек между сетками. Кроме того, сетки объединяются Са- и Na-октаэдрами, а также крупными К-двенадцативершинниками, которые помещаются как раз напротив центральных шестичленных колец из Si-тетраэдров. И это еще не все. Между трехслойными пакетами находится еще один слой! Его образуют шестерные кольца из реберносвязанных Mn-пятивершинников, которые располагаются в шахматном порядке и соединяются парочками вершиносвязанных Ti-октаэдров. В петлях этого слоя размещаются три крупных Ва-одиннадцативершинника (вместе с фтором, который их объединяет).

Оканоганит — борофторсиликат из округа Оканоган (штат Вашингтон, США). Чего только в нем нет! И Si-тетраэдры, и В-тетраэдры, и В-треугольники. Но особенно много кремния. Он окружил Fe-октаэдры, присоединив свои тетраэдры к шести октаэдрическим вершинам в виде вертушек. Такие же $[\text{Fe}(\text{SiO}_4)_6]$ -вертушки, но с участием тетраэдров серы $[\text{Fe}(\text{SO}_4)_6]$, мы уже описывали в структуре афгиталита*. Там они соединяются друг с другом в плотную сетку. В оканоганите же вертушки не соприкасаются друг с другом, а объединяются тройными кольцами B_3O_9 , которые вместе с тремя Si-тетраэдрами образуют уникальный полианион $[\text{Si}_3\text{B}_3\text{O}_{18}]^{15-}$, соединяющий три Fe-октаэдра. Между слоями с вертушками располагаются дополнительные Si-тетраэдры, BO_3 -треугольники и крупные полиэдры Na, Ca и редких земель (REE), в вершинах которых, кроме атомов кислорода, находится и F.

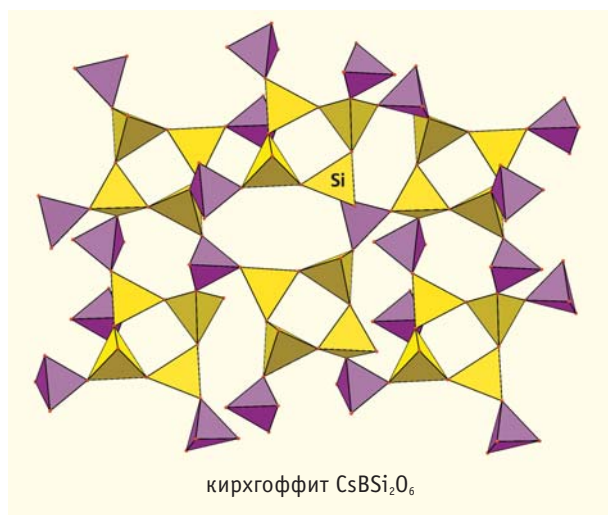
оканоганит
(Na,Ca,REE)₁₅Fe(SiO₄)₃(Si₃B₃O₁₈)(SiO₄)(BO₃)(NaF₃)₁₃·nH₂O

Ближайший родственник оканоганита, **виканит** из вулкана Вико (Италия), усложнил свой состав $(\text{Ca}, \text{REE}, \text{Th})_{15}\text{Fe}(\text{SiO}_4)_3(\text{Si}_3\text{B}_3\text{O}_{18})(\text{BO}_3)(\text{AsO}_4)(\text{AsO}_3)_x(\text{NaF}_3)_{1-x}\text{F}_7 \cdot 0.2\text{H}_2\text{O}$, заменив дополнительный тетраэдр SiO_4 на AsO_4 и добавив As-треугольник.

Тяньшанит, турмалин и оканоганит вызывают восхищение разнообразием материала и изготовленных из него конструкций. Однако такой размах по карману далеко не всем. Многие предпочитают более скромные жилища.

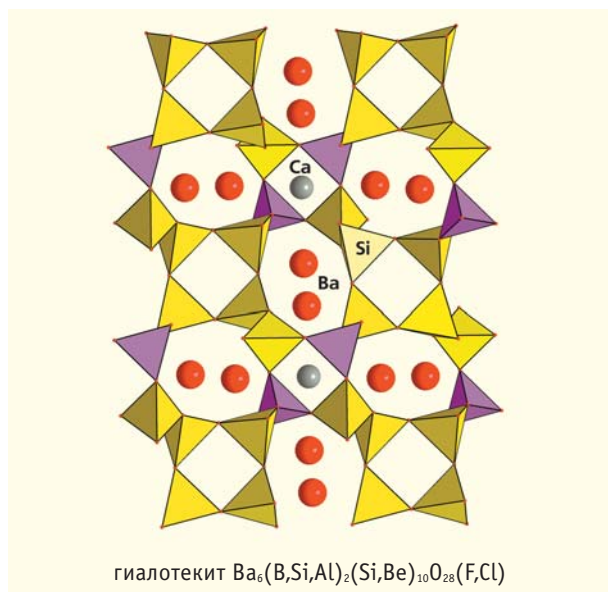
Кирхгоффит (тоже из массива Дара-Пиоз) назван в честь великого немецкого физика Г.Р.Кирхгофа, одного из создателей спектрального анализа. И снова главный хозяин в проекте — кремний. Но на этот раз он организовал из своих тетраэдров четырехчленные кольца. Их объединение поручил тетраэдрам бора, и они соединили кольца в трех направлениях в ажурный каркас, в котором содержатся не только четырехчленные кремнекисло-

* См. Расцветаева Р.К. Хиикомория // Природа. 2014. №4. С.68–80.



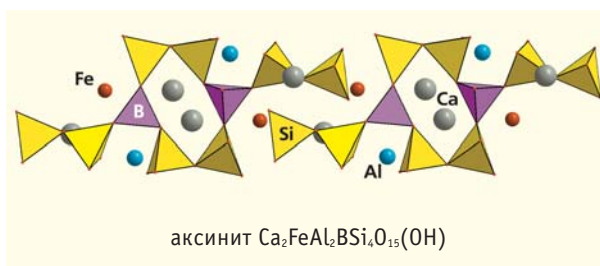
родные петли, но и шести- и восьмиленные борокремнекислородные. А в каналах валяжно расположен неведь откуда взявшийся цезий.

Соотечественник кирхгофита **капицаит** $\text{Ba}_4\text{Y}_2\text{Si}_8\text{B}_4\text{O}_{28}\text{F}$, названный в честь выдающегося российского физика П.Л.Капицы, и его друг **гиалотеки**, прибывший из Швеции, мало отличаются друг от друга. Их каркасы построены из четырехчленных колец двух типов — кремнекислородных и борокремнекислородных, расположенных в шахматном порядке. Чтобы не увеличивать расходы на строительство, никаких дополнительных тетраэдров не предусматривалось. Кольца напрямую соединяются в каркас с четырехчленными кольцами двух типов — кремнекислородными и смешанными и восьмиленными борокремнекислородными. Экономя на высокозарядном кремнии, гиалотеки подмешивал в тетраэдры то Al, то Be. Но этого никто не заметил — тетраэдры-то одного размера. В крупных каналах каркаса располагаются атомы Ba, а в мелких — Ca.



А **хворовит** $\text{Pb}_4\text{Ca}_2(\text{B}_2\text{Si}_8)(\text{Si}, \text{B})_2\text{O}_{28}\text{F}$, прибывший из того же Дара-Пиоза и названный в честь российского минералога П.В.Хворова из Уральского отделения РАН, обошелся без Be, равно как и без Al — кремния хватило на все тетраэдры.

Аксинит обзавелся большим семейством. Его родственники проживают и в Европе, и в Америке — в Бразилии, в Канаде, в Колумбии и в Мексике. Их можно встретить в Палестине, в Японии и в России — на Урале. Словом, повсюду. Оригинальность проекта аксинита в его незавершенности. По замыслу, в нем скомбинированы шести- и четырехчленные кольца. Первые построены из четырех Si-тетраэдров и двух В-тетраэдров. По обе стороны кольца к В-тетраэдрам присоединены двоянные тетраэдры кремния. И... на этом все заканчивается. Архитектор хотел построить новые кольца, но передумал (или бора не хватило?). В любом случае конструкция выглядит странно и похожа на бабочек с крылышками. Со-



седние бабочки соединены железом и алюминием, а вдобавок сцементированы кальцием. Очень прочно, так что они никуда не разлетятся.

Серия вторая

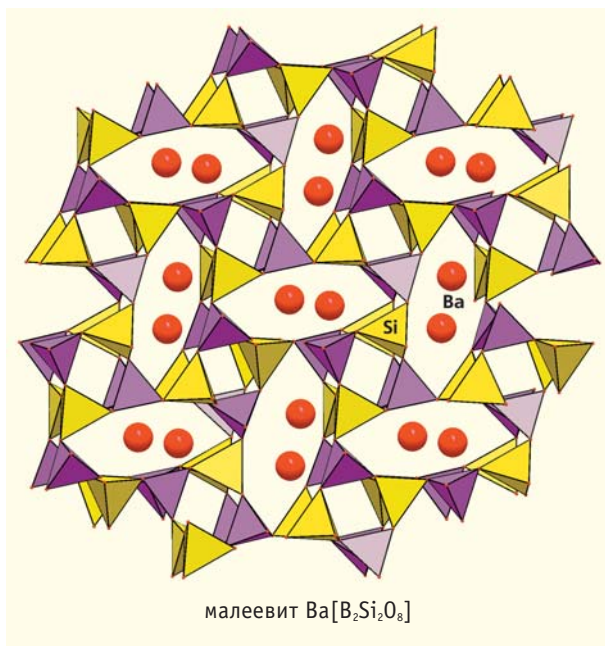
Иногда, когда партнеры строят бизнес на равных паях, бор участвует в проектах на выгодных условиях.

Гадолинит возглавляет большое семейство, представители которого гордятся своими свойствами — химическими и физическими. Их считают материалами (пусть и потенциальными) для разного применения — и в оптике, и в электротехнике, и для защиты от нейтронной радиации, и для хранения ядерных отходов. А в геологии они еще маркеры магматических и низкотемпературных процессов. Сам гадолинит $\text{Y}_2\text{Fe}^{2+}\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$ никакого бора не содержит. Он, как и **хинганит** и **минас-жерансит**, — бериллосиликат редкоземельных элементов, а некоторые другие представители семейства (**гердерит** и **вайрюненит**) — бериллофосфаты. Есть даже один бериллоарсенат, по имени **бергслагит**. Ни у кого из них бора нет. Только **гомилит** $\text{Ca}_2\text{FeB}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$ из Бревига (Норвегия), **датолит** $\text{CaBSiO}_4(\text{OH})$ с берегов оз.Онтарио и **баке-рит** $\text{Ca}_4\text{B}_5\text{Si}_3\text{O}_{15}(\text{OH})_5$ из Долины Смерти — боросиликаты. Все они кальциевые, а гомилит и датолит построили свои кольца из В- и Si-тетраэдров на

паритетных началах. Хотя четверные кольца в них такие же, как в кирхгоффите, образованы они чередующимися В- и Si-тетраэдрами, которые соединяются в сетку напрямую (как в гиалотеките), а Ca(Y)-восьмивершинники и Fe-октаэдр формируют собственный слой, удерживающий сетки друг с другом.

Калькибеллосилит $\text{YCa}[\text{SiO}_4]_2[\text{B}][\text{Be}]\text{O}$ (опять из Дара-Пиоза) — тоже член семейства гадолинита, но помимо Si и В содержит еще и Be. То ли бора не хватило, то ли тот добровольно уступил свое место, но калькибеллосилит стал промежуточным членом семейства, породнившись и с бериллосиликатом хинганитом (без бора) и с боросиликатом датолитом (без бериллия). А то, что В и Be оказались на одной ставке, очень удобно для начальства — экономия в зарплате.

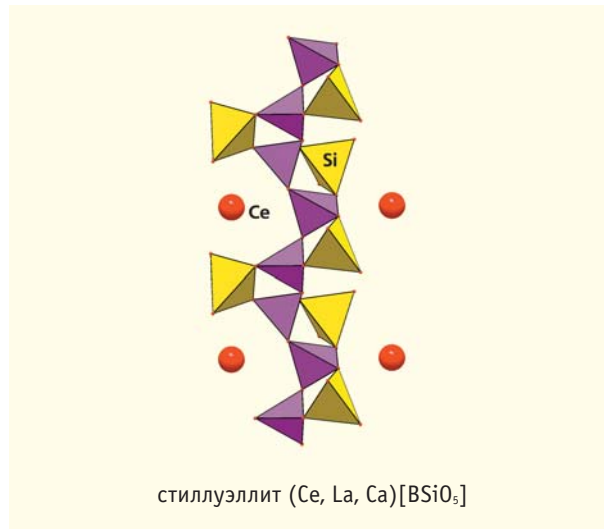
Принципа равенства придерживались и в семействе данбуринов, глава которого сам **данбури** $\text{Ca}[\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ назван по месту находки в Данбури (США), а члены семейства — **малеевит** и **пеконит** $\text{Sr}[\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ — родом из Дара-Пиоза, названы в честь болгарского и российского минералогов соответственно.



Данбурины по примеру гадолинитов использовали смешанные четверные кольца и сами объединили их в сетки — без посредников. Но, подумав, данбури решил сэкономить еще и на обслуге, сократив на нее расходы в два раза. Он соединил (также без посредников) сетки друг с другом. Все кольца объединились в каркас, а тетраэдры соседних сеток — в диортогруппы B_2O_7 и Si_2O_7 . В каркасе по-прежнему содержались четверные и восьмерные петли, а в каналах разместились служители, оставшиеся после увольнения половины состава (что ныне практикуется в академических учреждениях): в данбури — Ca-девятивершинники, а в пе-

ковите и малеевите — соответственно Sr-девятивершинники и крупные Ba-десятивершинники.

Но вот бору надоели кольца (будь то шести- или четырехчленные), и **стиллуэллит** из Австралии, названный в честь австралийского минералога Ф.Л.Стиллуэлла, для разнообразия выбрал проект из линейных конструкций. Соединив вершинами В-тетраэдры в цепочку, он увидел, что



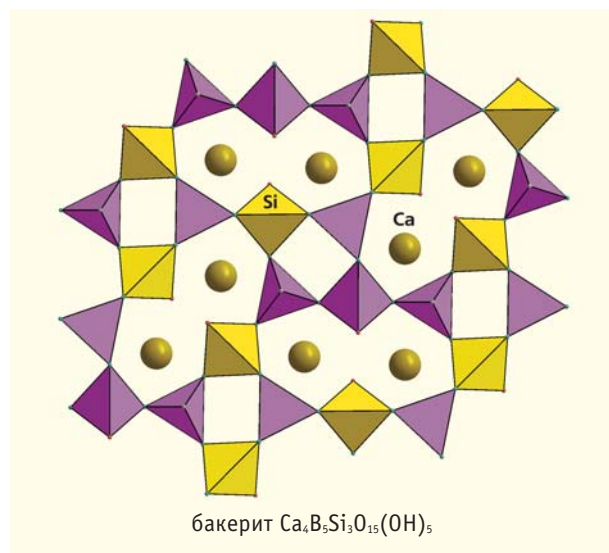
она неустойчива и для сохранения равновесия сильно изогнулась. Тетраэдры кремния пришли на помощь и ребром соединили звенья цепочки. Это ее укрепило, но сделало широкой, как ленту. В данном случае победила дружба, а не соперничество. Смешанные ленты $[\text{BSiO}_5]$ соединяют крупные редкоземельные девятивершинники. А стиллуэллит гордится тем, что переходит в ферроэлектрическую фазу (хоть и ценой охлаждения).

Еще большее разнообразие конструкций (треугольник, тетраэдр, пятивершинник, октаэдр) использовало семейство алюмоборосиликатов. Его члены обладают столь схожим строением, что даже их кристаллы живут совместно и образуют параллельные сростки. Уравняв в правах В и Si, семейство предоставило реализацию их возможностей на усмотрение обоих. У всех есть колонки из соединенных по ребрам AlO_6 -октаэдров, вытянутые вдоль наименьшего (~5 Å) параметра ячейки. **Вранит** $\text{Al}_{16}\text{B}_4\text{Si}_4\text{O}_{38}$ свои колонки объединил не только Si-диортогруппами, В-тетраэдрами и В-треугольниками, но и димерами, которые состоят из соединенных по ребру двух пятивершинников Al. **Грандидьерит** $\text{MgAl}_3[\text{BO}_3](\text{SiO}_4)_2$, прибывший с острова Мадагаскара и названный в честь французского натуралиста А.Грандидьера, и **вердингит** $(\text{Mg, Fe})_2\text{Al}_{14}\text{B}_4\text{Si}_4\text{O}_{37}$ из Южной Африки, названный в честь Г.Вердинга из Рурского университета в Германии, чтобы отличаться от вранита, заменили в одном пятивершиннике Al на Mg (или Mg с добавкой Fe). Их примеру последовал и **оминелит** $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})\text{Al}_3\text{BSiO}_5$ из гор Омине в Японии, который, наоборот, использовал Fe с добавкой Mg.

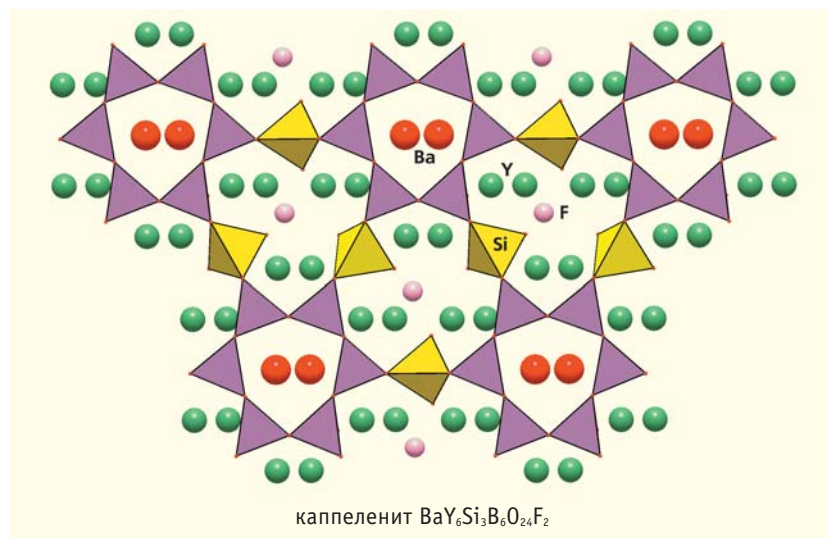
Серия третья

Да, кремний — солидный партнер с высоким потенциалом, у него нешуточный заряд +4. Но и у бора есть свои достоинства, а изобретательности ему не занимать. Однажды бор решил, что он не хуже других и пора ему становиться главным подрядчиком.

Бакерит $\text{Ca}_4\text{B}_5\text{Si}_3\text{O}_{15}(\text{OH})_5$ назван в честь своего английского открывателя Р.С.Бакера. Отличается этот третий член семейства гадолинита от своих собратьев — гомилита и датолита — тем, что бора у него даже больше, чем кремния. Но придумывать что-то новое бакерит поленился. Позаимствовал у своего братца датолита идею и заменил в некоторых кольцах один Si-тетраэдр на В-тетраэдр. И готово. Слой точно такой же, только Si-тетраэдры оказались в меньшинстве.

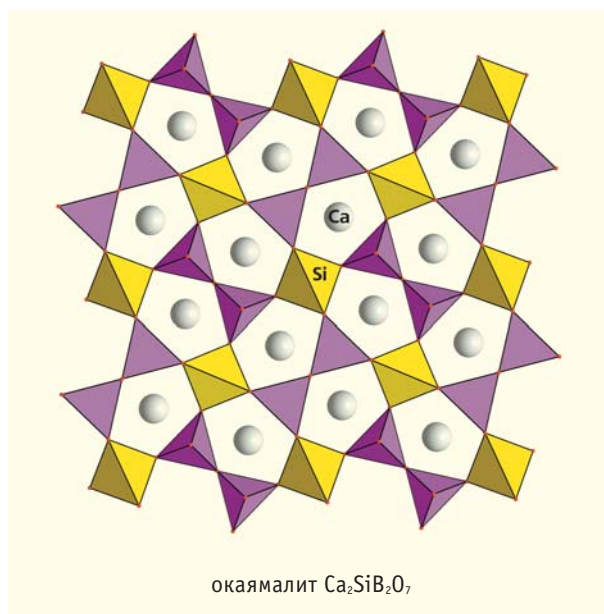


Свои незаурядные строительные способности бор продемонстрировал в редчайшем **каппелените** из Норвегии, названном в честь его открыва-



теля коллектора Д.Каппелена. Бор решил, что может построить правильные шестичленные кольца не хуже кремния, а Si-тетраэдрам предложил их соединить в сетки. Так В и Si поменялись ролями. И это еще не все. Если присмотреться, то можно заметить в сетках девятичленные (Si_3B_6) -кольца — аналоги уникальных силикатных колец $[\text{Si}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}]$ эвдиалита, о которых мы тоже писали в «Природе»*. Только здесь они не объединяются в каркас, а образуют слои, которые соединяются крупными Y- и Ba-полиэдрами.

Окаямалит из рудника Фука вблизи г.Окаямы (Япония) предварительно объединил тетраэдры бора парами в диортогруппы, затем соединил их одиночными Si-тетраэдрами в пятичленные кольца. Из них образовались сетки, сцементированные

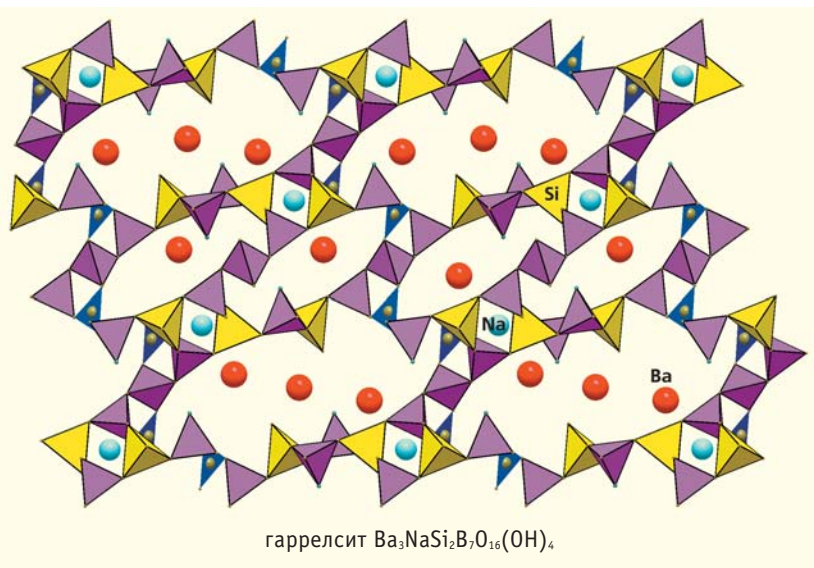


Ca-восьмивершинниками в плотную постройку. При нагревании до 500°C окаямалит понижает тетрагональную симметрию до ромбической, чем удивляет ученых, которые привыкли к обратному.

Силикоборат **гаррелсит** из США назван в честь американского геохимика Р.М.Гаррелса. Минерал скомбинировал два фрагмента — обычные смешанные четырехчленные кольца (как в данбурите) и двоянное кольцо $[\text{B}_5\text{O}_{12}]$ из трех В-тетраэдров и двух В-треугольников. Объединив их через дополнительные тетраэдры бора и кремния, гаррелсит получил сетки с очень

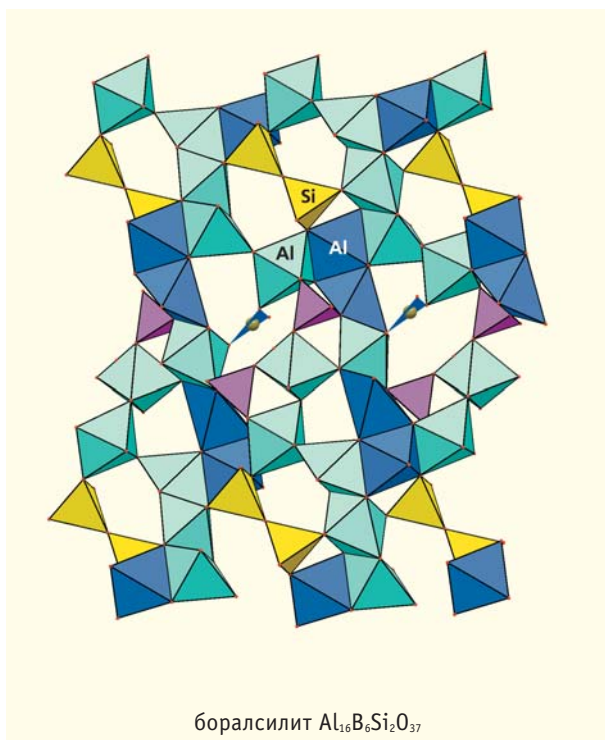
* См. Расцветова Р.К. Царь Эвдиалит и его династия // Природа. 2001. №4. С.63–67; Конкурс красоты // Там же. 2005. №4. С.26–32.

Древнейший драгоценный камень



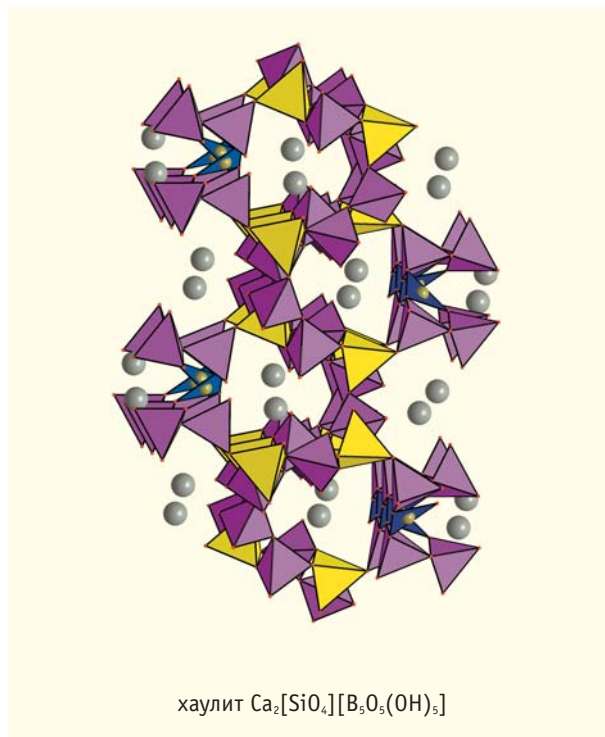
крупными 12- и 18-членными петлями. Пришлось эти дырявые сетки соединить в каркас, заполнив его малые каналы Na-октаэдрами, а большие — Ba-полиэдрами. Тяжелый барий в сочетании с хрупкой боратной конструкцией — уникальная особенность этого строения.

Некоторые члены большого алюмосиликатного семейства используют только В-треугольники (как грандидьерит), а другие обходятся даже и без них (как силлиманит, андалузит, муллит). **Боралсилит** же из Антарктики не только использовал весь арсенал — и диортогруппы $[\text{Si}_2\text{O}_7]$, и В-тетраэдры, и В-треугольники, — но и Al-димеры, которые позавидовали у вранайта, вердингита и оминелита.



Силикоборатный **хаулит** назван в честь своего открывателя Г.Хау — канадского химика, геолога и минералога. Можно было бы построить кольца, или цепочку, или слой, но хаулит решил строить с размахом: и то, и другое, и третье одновременно. Сначала соорудил из двух В-тетраэдров и одного В-треугольника тройные кольца и соединил их в зигзагообразные цепочки. Отдельно построил четверные кольца из двух тетраэдров кремния и двух тетраэдров бора и связал их дополнительными тетраэдрами бора в гофрированную сетку. Сильно изогнутые цепочки с двух сторон присоединились к сетке че-

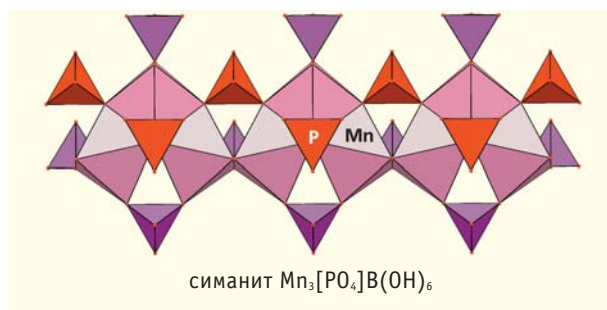
рез торчащие из нее вершины Si-тетраэдров и замкнули ее зубцы. Получились очень громоздкие и рыхлые пакеты, напигованные Ca, который



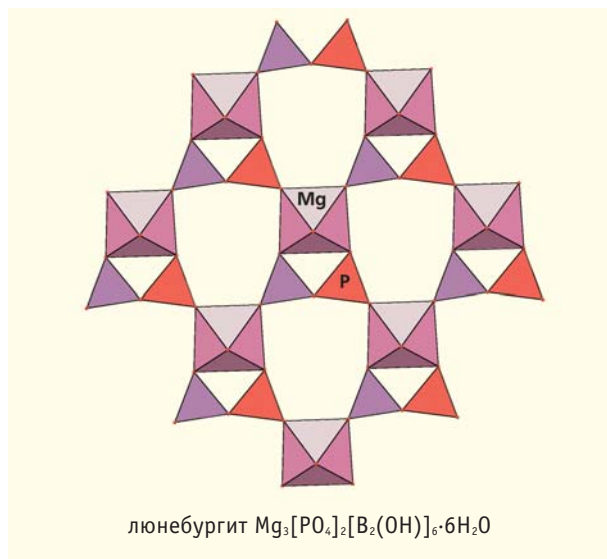
своими полиэдрами соединил также и соседние пакеты. Конечно же, хаулит затмил своим творением всех боратных сородичей.

Серия четвертая

Конечно, кремний — надежный и серьезный партнер, но и другие не хуже. Вот у фосфора заряд даже больше (аж +5). Однако это-то и мешает кооперации бора и фосфора. Борофосфатов поэтому



очень мало, точнее их только два — **симанит** и **люнебургит**. Но им есть чем гордиться. Свойств у них хоть пруд пруди: и люминесцентные, и не-



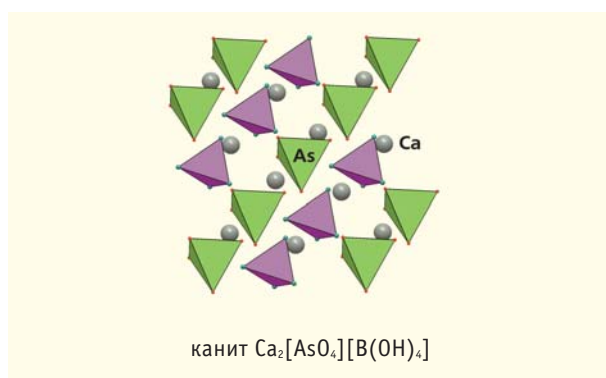
линейно-оптические, и каталитические, и сорбционные, и антикоррозионные. Симанит родом из рудника Мичигана назван в честь своего открывателя — американского минералога из Мичиганского горно-технологического колледжа А.Э.Симана. В основе весьма экзотичной структуры симанита лежат Mn-октаэдры, связанные по ребрам в тримеры и далее в ленты. Роль бора и фосфора здесь одинакова и заключается в том, чтобы соединять тетраэдрами ленты в каркас, заодно укрепляя и сами ленты.

Люнебургит из г.Люнебурга (Германия) назван по месту своего рождения. Он не стал соединять Mg-октаэдры, а расположил их в шахматном порядке, объединив тетраэдрами бора и фосфора. Но, в отличие от симанита, люнебургит попарно объединил столь разные тетраэдры в диортогруппы. Такого смелого решения никто не ожи-

дал, и строение признали уникальным. Сетки попарно соединяются через дополнительные Mg-октаэдры в тройные пакеты. Связь между ними только водородная: образованная молекулами воды в свободных вершинах октаэдров и OH-группами — в трех вершинах B-тетраэдров.

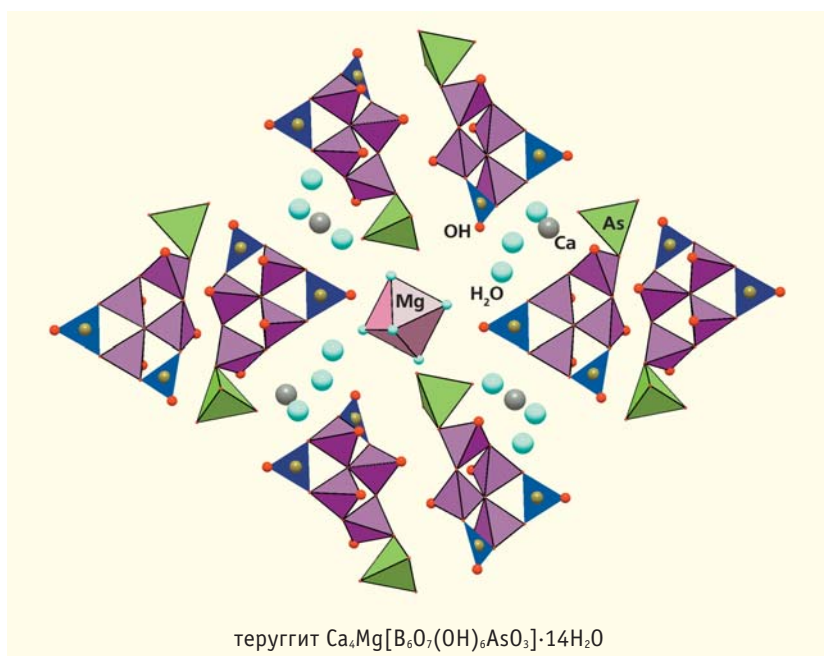
Мышьак, как и фосфор, высокозарядный (5+). Он горд и заносчив, к тому же еще и строптив. Так и норовит отравить кого-нибудь. Сам он ничего оригинального предложить не смог и участвует в проектах, где бор играет главную роль.

Канит назван в честь своего открывателя — американского коллекционера Л.Кана, первым нашедшего минерал во Франклине (США). В доме



канита тетраэдры P и As, чередуясь, расположились рядами, а Ca-полиэдры их объединили.

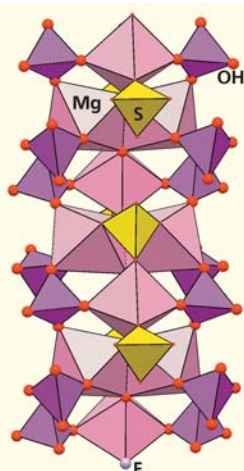
Теруггит также назван в честь своего открывателя — геолога М.Е.Теругги из Аргентины. Но, в отличие от канита, теруггит предложил бору возглавить проект, чем тот и воспользовался, соорудив изолированные блоки треугольной формы из четырех тетраэдров и двух треугольников. Увлечшись, бор чуть было не забыл про мышьяк и лишь



в последний момент прицепил его тетраэдр к В-тетраэдру — то ли для украшения, то ли для устрашения. Громоздкие блоки в виде островов среди многочисленных молекул воды (свободных и входящих в вершины Mg-октаэдров) объединяются водородными связями с участием Ca-полиэдров.

Хотя сера по праву может еще больше гордиться своим высоким зарядом (+6!), но из-за него возникают и проблемы. Она не может общаться с другими тетраэдрами — будь то свои или чужие. Одним словом — хики*.

Сульфоборит из Германии, названный по составу, соорудил оригинальные ленты из октаэдров



сульфоборит $Mg_3[SO_4]B_2(OH)_5F$

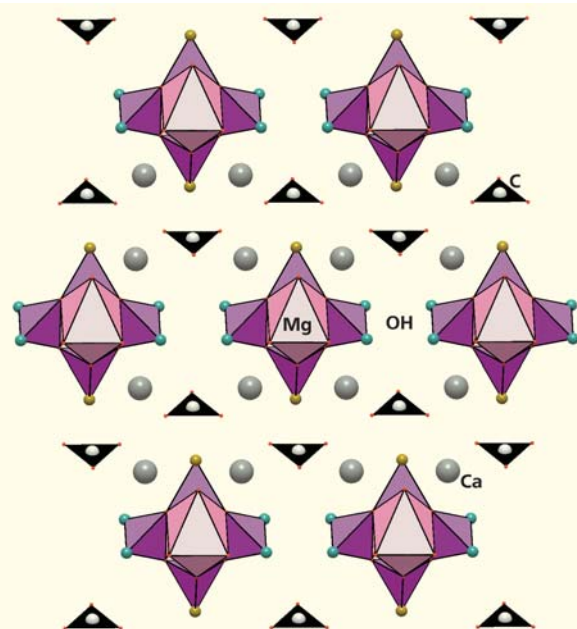
Mg, расположил их в шахматном порядке и соединил тетраэдрами бора и серы, которые, чтобы избежать конфликта, разделили обязанности: в одном направлении сера своими тетраэдрами объединяет ленты в слои, в другом же В-тетраэдры соединяют по четыре ленты из соседних слоев в плотную постройку. Роль бора оказалась сложнее, поэтому его понадобилось в два раза больше, но зато он стал главным и в названии минерала.

Редкий **хейдорнит** из Германии назван в честь немецкого геолога Ф.Хейдорна. Минерал использовал блоки, состоящие из трех В-тетраэдров и двух В-треугольников. Расположив в шахматном порядке, он объединил их через вершины тетраэдров и треугольников в плоскую сетку с трех- и 10-членными петлями. Между сетками находятся полиэдры натрия и кальция с участием хлора. Поскольку сера не может взаимодействовать с тетраэдрами, она помогает в объединении крупных полиэдров.

* См. Расцветаева Р.К. Хикикомория // Природа. 2014. №4. С.68–80.

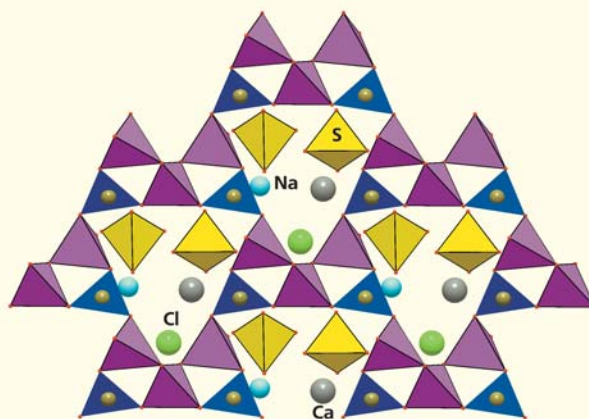
Серия пятая

Не только тетраэдры серы любят независимость — треугольники углерода тоже предпочитают одиночество. К числу редких минералов относится борат-карбонат **боркарит** из сибирского месторождения Снежное. В своем оригинальном проекте он построил четырехчленные кольца из В-тетраэдров и, чередуя их с Mg-октаэдрами, соединил в смешанные колонки. Расположив колонки в шахматном порядке, объединил в одном направлении водородными связями, а в другом — Ca-полиэдрами совместно с CO_3 -треугольниками. Хотя количе-



боркарит $Ca,Mg[B_4O_6(OH)_6][CO_3]_2$

ство треугольников невелико и их роль в объединении Ca-полиэдров второстепенна, в названии минерала карбонату отведено почетное место.



хейдорнит $Ca_3Na_2(SO_4)_2B_5O_8(OH)_2Cl$



Об удивительном семействе роймиллерита мы писали в «Природе»*. Его член — **бритвинит** из месторождения Лонгбан (Швеция) назван в честь российского минералога и кристаллографа С.Н.Бритвина. Минерал явно перестарался, пригласив для участия в своем проекте и Si-тетраэдры, и В- и С-треугольники. Но главным строителем стал кремний. Он был в ударе и создал уникальную (хотя и очень дырявую) сетку с крупными 12-членными петлями.

* См. Расцветаева Р.К., Аксенов С.М. Содружество модулей: структура роймиллерита — нового минерала из Намибии // Природа. 2017. №6. С.41–45.

Слой из реберносвязанных Mg-октаэдров разместился между сетками, объединив их в трехслойный пакет. Пространство между ними заполнено атомами Pb (целых семь слоев), BO_3 - и CO_3 -треугольниками. При этом свинец воспользовался дополнительным кислородом и соорудил свои собственные тетраэдры. Правда, крупные тетраэдры $[\text{OPb}_4]$ получились шиворот-навыворот: в центре анион, а в вершинах катионы. Но свинца это не смутило — не он один такой хитрый. На свете вон сколько минералов с анионоцентрированными полиэдрами**.

Глава семейства **роймиллерит** $\text{Pb}_{24}\text{Mg}_9[\text{Si}_9\text{AlO}_{28}](\text{SiO}_4)(\text{BO}_3)(\text{CO}_3)_{10}(\text{OH})_{14}\text{O}_4$ найден на медно-свинцовом месторождении Комбат (Северная Намибия). Назван он в честь геолога и минералога Роя Миллера за его вклад в изучение геологии Намибии. Роймиллерит превзошел бритвинит сложностью своего состава. Свинца в нем аж 10 слоев! И все как один — в антитетраэдрах $[\text{OPb}_4]$.

В семейство роймиллерита входит еще и **молибдофиллит**, хотя в нем нет бора. Все трое содержат стабильные трехслойные пакеты, между которыми располагаются чередующиеся карбонатные (или боро-карбонатные) и свинцовые слои в разном количестве и соотношении. Сочетание двух фрагментов — классических катионцентрированных полиэдров и обратных по знаку заряда анионоцентрированных — делает их структуры фантастическими.

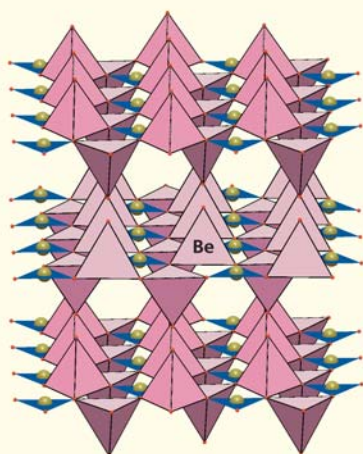
Не только минералы, но и животные бывают ни то ни се. Вот *долгопят* — сова и обезьяна в одном флаконе. Или *кинкажу* (в переводе с языка индейцев — медовый медведь). Вы думаете, что этот рыжий пушистый зверек из Южной Америки медведь, или обезьяна, или енот? Нет — это просто кинкажу. Таков же и *тапир*: не свинья, не носорог, даже не слон, а просто тапир. А *галаго* — и кенгуру, и обезьяна. Или *кабарга* — вроде бы олень, но без рогов, а еще и с клыками, как у саблезубого тигра. И таких примеров много.

Серия шестая

Высокозарядные партнеры дорого обходятся заказчикам. Бор решил установить контакты с более дешевым и покладистым бериллием. Хотя заряд Ве маловат (+2), зато он не претендует на главные роли и соглашается на любую работу, даже нелегальную.

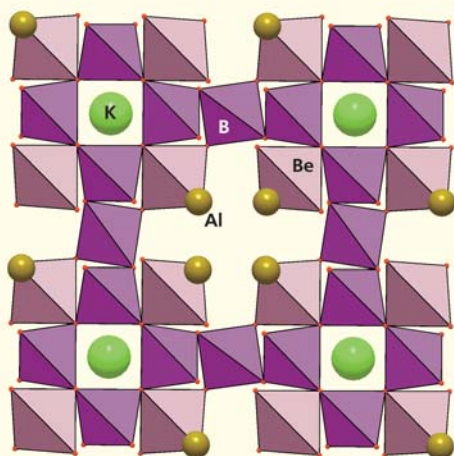
В **гамбергите** $\text{Be}_2(\text{OH},\text{F})[\text{BO}_3]$ из Мадагаскара, названном в честь шведского минералога и географа А.Гамберга, и в **берборите**, названном по составу, бериллий, приглашенный для участия в проектах, взялся за дело рьяно. В первом он соорудил каркас из $[\text{BeO}_3(\text{OH},\text{F})]$ -тетраэдров, дополнительно соединил их крохотными В-треуголь-

** См. Расцветаева Р.К. Антимир // Там же. 2009. №4. С.51–56.

берборит $\text{Be}_2(\text{OH})[\text{BO}_3]\text{H}_2\text{O}$

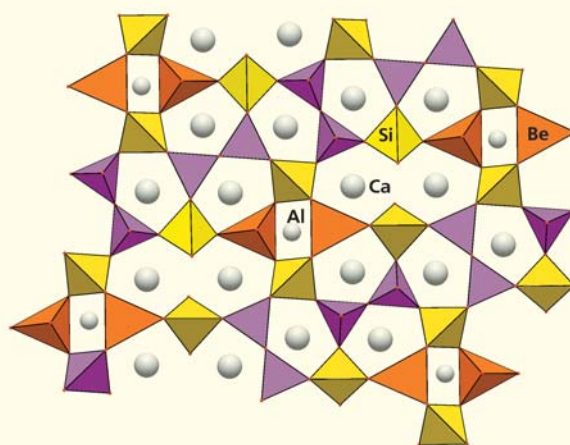
никами, тем самым укрепив каркас, хотя последний оказался пустым, и особого смысла укреплять его не было. В берборите Be отказался от фтора, но разница в составе получилась невелика, и, чтобы отличаться от собрата, он построил каркас другого типа, а в каналы залил воду.

Глядя на гамбергит и берборит, бор решил взять бразды правления в свои руки, чтобы не позволить бериллию еще сооружать каркасы с пустыми (пусть иногда и не совсем) каналами. Бор предложил новый проект в **родиците**, который прибыл из Мадагаскара. Хотя название минерала происходит от греческого «быть розово окрашенным», это касается не кристаллов, а пламени паяльной трубки. В этом редком минерале присутствует и редкий элемент Cs (наряду с K). Тетраэдры бора соединились в четырехчленные кольца, которые дополнительными тетраэдрами объединились в слои с крупными 12-членными петлями. Второстепен-

родицит $(\text{K,Cs})\text{Al}_4\text{Be}_4(\text{B,Be})_{12}\text{O}_{28}$

ная, но ответственная работа по укреплению слоя изнутри досталась тетраэдрам Be, которые по соседительству соединяли и соседние слои в дополнение к попарно связанным ребрами Al-октаэдрам. В смешанном каркасе из (B,Be)-тетраэдров и Al-октаэдров каналы заполнены 12-членными полиэдрами крупных катионов Cs и K.

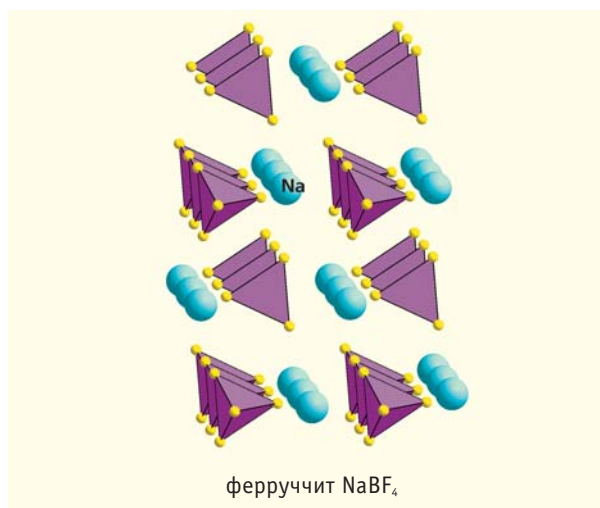
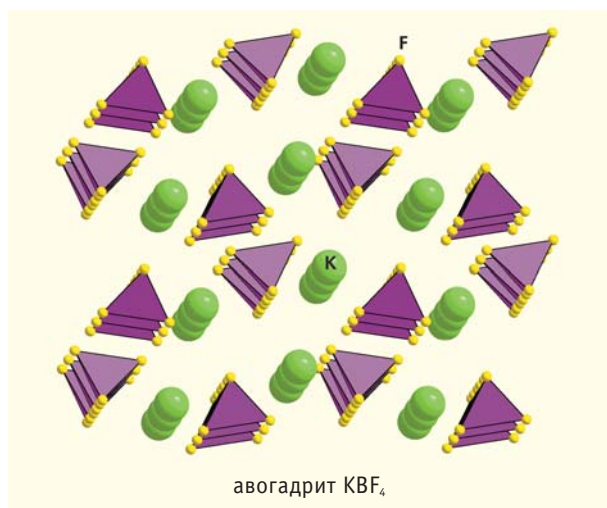
Алюмоборосиликат **гелландит** прибыл прямо с вулкана Вико (Италия). Назвали его в честь норвежского геолога А.Т.Гелланда. Минерал решил использовать пятичленные кольца, точно такие же, как в окаймалите. Соорудил он их из трех B- и двух Si-тетраэдров. В отличие от окаймалита, гелландит соединил их не напрямую, а через Be-тетраэдры. Последние тремя своими вершинами стянули по три кольца в сетку с пяти-, четырех- и восьмичлен-

гелландит $\text{Ca}_6\text{AlSi}_4\text{B}_4\text{O}_{26}(\text{OH})_4$

ными петлями. Между сетками расположились объединяющие их Al-октаэдры и Ca-полиэдры. Хотя роль тетраэдров бериллия в этой постройке не маловажная, его не включили в формулу, поскольку он находился на нелегальном положении (как гастарбайтеры в Москве). Периодически Be-гастарбайтеров депортируют, и тогда сетки распадаются на цепочки из пятичленных колец. Ученые называют такую трансформацию статистической, а для Be это временное возвращение на родину.

Точно так же получилось и в случае **таджикита** $\text{Ca}_3\text{Ce}_2\text{TiSi}_4\text{B}_4\text{O}_{22}$, как две капли воды похожего на гелландит, только Al здесь заменили на Ti, а часть Ca — на Ce, плюс немного подмешали U. И зря это сделали! Минерал стал разваливаться, и лишь после нагрева до 700°C пришел в себя (будет знать, как шутить с радиоактивными элементами). Боросиликатные цепочки таджикита, состоящие из пятичленных колец, соединяются Ti-октаэдрами и (Ca, Ce)-восьмивершинниками.

Когда Бор вышел на пенсию и не смог нанять работников (даже таких низкооплачиваемых, как бериллий), ему пришлось перейти на проекты без посторонних тетраэдров. На пенсию



можно прожить, скромно расходуя свои средства. Можно обойтись даже без кислорода, если окружить свои тетраэдры фтором. Конечно, это будут уже не бораты, а тетрафторбораты, но дело же не в названии — лишь бы минерал был хороший.

Близнецы-братья **авогадрит** и **ферруччит**, прибывшие прямо из Везувия, были названы в честь двух итальянских ученых — профессора физики в Туринском университете А.Авогадро и профессора минералогии Ферруччио Замбони. Свои необычные BF_4 -тетраэдры минералы расположили стопками. Авогадрит попарно развернул стопки относительно друг друга, а пары поставил перпендикулярно друг другу в шахматном порядке и объединил их крупными К-полиэдрами.

Чтобы не путали с братом, ферруччит свои стопки (тоже спаренные) расположил параллельно друг другу и объединил их более мелкими полиэдрами натрия.

Vanity Fair Mineralogical Fairytale

R.K.Rastsvetaeva
Shubnikov Institute of Crystallography, RAS (Moscow, Russia)

Atomic structure of borates is popularly described. In their structure together with the tetrahedra and triangles of boron are presented polyhedra of other small cations with the same coordination in structures. Among the tetrahedrally coordinated elements boron is the least. That is one of the reasons of hardness for combination of its tetrahedra with the more large ones $[\text{SiO}_4]$, $[\text{BeO}_4]$, $[\text{PO}_4]$, $[\text{SO}_4]$, and $[\text{AsO}_4]$. High charged elements (P, S, and As) are most frequently located in isolated tetrahedra without combining with boron tetrahedra. A huge part of minerals with mixed composition are borosilicates where boron tetrahedra through common oxygen atoms can be combined with silicon tetrahedra. Combination of tetrahedral cations in different amounts leads to chemical and structural diversity of minerals.

Keywords: minerals, crystal structures, borates, tetrahedra.

Эпилог

Старина Бор много повидал на своем веку. В каких-то ситуациях он выигрывал, а где-то терпел неудачи. Как и все, боролся за выживание. А брак его дочери с Кремнием оказался прочным. И хотя ученые не могут это объяснить, пара до сих пор живет дружно и счастливо. Свою любимую резиденцию они назвали турмалином — миниатюрная Бора заняла там изолированную комнату треугольной формы, а Кремний надежно защитил ее кольцом из шести своих тетраэдров. В таком доме тепло и светло, так как турмалин способен преобразовывать тепловую энергию в электрическую. А еще турмалиновые кристаллы окрашены в яркие цвета (**эльбаиты** — в красные, зеленые и синие; **дравиты** — в коричневые, **шерлы** — в черные), и люди их так полюбили, что украшаются ими, как драгоценными камнями. ■

Наука: что это?

Вполне серьезная шутка о сути науки

доктор геолого-минералогических наук Е.Г.Мирлин
Государственный геологический музей имени В.И.Вернадского РАН (Москва, Россия)

— Дедушка, купи мне лего, ну пожалуйста! — канючит мой шестилетний внук.

— Послушай, но у тебя уже есть три или четыре конструктора лего. Детали от них рассыпаны по полу во всей квартире, сколько же этих лего тебе еще нужно?!

— Но у меня нет «Робота Рэя», — слышу в ответ.

— Ну и что, у тебя есть какой-то другой робот, тоже лего, уж не помню какое у него имя, мы тебе недавно купили.

В ответ слышу сбивчивое и возбужденное объяснение, почему именно «Робот Рэй» нам так необходим и в чем состоит его уникальность. Проходит два-три дня, в течение которых мне регулярно напоминают о «Роботе Рее», после чего я сдаюсь и мы отправляемся в магазин игрушек, в специализированный отдел «Лего». Я там уже не первый раз и знаю, что ценовой разброс тут гигантский — от приемлемых 1000–1500 руб. до совершенно оглушительных 25 тыс. и выше.

— Выбирай, — говорю я, — но учти, что дорогой лего я покупать не буду.

Глаза у ребенка разбегаются, он весь в напряжении. Я его понимаю и жалею. Признаться, я тоже оглушен и слегка подавлен таким обилием разнообразных и разноцветных коробок, в которых заключены конструкторы лего. Если и я в растерянности, то каково ему! «Робота Рэя» мы не находим и покупаем «Пожарную машину». Возвращаемся домой, и он немедленно располагается на полу, чтобы начать ее собирать. Я точно знаю, что мне гарантированы ближайшие два-три часа спокойной жизни: внук будет полностью поглощен сборкой. Кстати, наблюдая уже не в первый раз за его работой, я восхищаюсь точностью движений, ведь среди деталей «Пожарной машины» имеются



прямо-таки микроскопические. Например, каска пожарного.

Проходит пара часов, я зову его ужинать, но какое там!

— Подожди, мне осталось совсем немного!

Захожу в комнату и убеждаюсь, что, собирая «Пожарную машину», он совершенно забыл и про ужин, и про мороженое, которое ожидает его после еды. Следя за его сосредоточенностью и отрешенностью от всего внешнего (даже от мороженого!), неожиданно ловлю себя на мысли: а ведь в этой отвлеченности есть что-то очень похожее на мое поведение в то время, когда я занят своими научными упражнениями. Более того, моя мысль идет в этом сравнении дальше: кажется, в действиях внука по сбору «Пожарной машины» из отдельных деталей есть что-то очень похожее на то, в чем состоит существо и моих научных изысканий. В самом деле, суть научной работы (говоря высоким стилем, научного творчества) есть не что иное, как сборка своего рода конструктора. Его детали — природные факты, либо добытые мной, либо почерпнутые из публикаций коллег. Синтез этих фактов (что близко к сборке деталей

конструктора) приводит меня к созданию модели определенного природного процесса, явления — аналога «Пожарной машины» моего внука.

«Разве это не игра в лего?» — спрашиваю я себя. И сам себе отвечаю, что это вполне уместная и близкая аналогия. Но мысль тут же подсказывает мне и другие черты сходства между игрой внука и моими научными занятиями. Впрочем, после того как я обнаружил указанное сходство, буду называть их научными играми. Эти черты относятся к эмоциональным переживаниям, сопровождающим подобные игры. Я точно знаю, что после завершения сборки «Пожарной машины» внук подойдет ко мне и с увлечением станет показывать, как она действует, рассказывать, в чем состоит предназначение различных ее деталей. В его рассказе радость: у него получилось! Получилось, несмотря на то, что пришлось соединить воедино столько мелких (даже мельчайших) деталей. Я разделяю с ним эту радость и не могу не отметить, что подобное чувство испытываю, когда держу в руках оттиск очередной статьи в научном журнале, в котором опубликована моя «Пожарная машина»... О нет, простите, оговорился! Модель, которую я придумал на основе сборки... о, простите еще раз... синтеза и соединения воедино столь различных фактов!

Но вот я отвлекаюсь от своих мыслей и возвращаюсь к реальности. Мне, наконец, удастся оторвать внука от сборки машины и заставить поужинать. После еды мы с обоюдным увлечением продолжим рассматривать особенности «Пожарной машины», а когда он уже в постели, обсуждаем более общий вопрос: о достоинствах конструктора семейства «Лего» в целом. В конце концов он засыпает, и я слышу сонное бормотание: «Дедушка, а когда ты купишь мне “Робота Рэя”?».

Уложив его, я возвращаюсь к своим наблюдениям и рассуждениям о сходстве игры в лего с моими (и не только моими) научными играми. Разумеется, я далеко не первый, кто подметил: наука — это игра, причем игра весьма увлекательная. В нее самозабвенно играют люди разных возрастов и званий: от студентов и аспирантов до корреспондентов и академиков. Более того, игровое начало в науке весьма успешно используется специалистами в области музейного дела для привлечения к нему интереса людей самых разных возрастов. Во многих странах уже действуют музеи и центры, где посетители самостоятельно играют в науку.

Я сводил своих внуков в «Научный центр имени Коперника» в Варшаве и в Музей занимательных наук «Экспериментаниум» в Москве. Их основу составляют интерактивные экспонаты, с помощью которых посетители проводят «научные эксперименты» в области механики, магнетизма, оптики, акустики, электричества и других разделов

науки. В обоих музеях оторвать моих юных исследователей от некоторых игровых моделей было невозможно!

Но (продолжаю я свои рассуждения) если наука — увлекательная игра, то как согласовать этот подход с тем отношением к ней, которое доминирует в самом научном сообществе (впрочем, не только в нем). Согласно ему, занятие наукой есть некое высшее предназначение человека. Беру на себя смелость объяснить причину столь трепетного отношения к данному роду человеческой деятельности. Это вера в способность науки достигнуть всеведения. Благодаря достижению абсолютного знания станет возможным все: и лечение ранее неизлечимых болезней, и точное предсказание природных катастроф, и создание неисчерпаемых источников энергии, и... Этот ряд можно продолжать бесконечно. Я не в состоянии перечислить всего того, чего достигнет наука. Роль ее служителя при этом — положить свой персональный кирпичик (желательно, как можно более весомый) в постройку замечательного, восхитительного будущего здания, этой сияющей башни.

И вот итог моих наблюдений и рассуждений. Я не в состоянии согласовать эти два подхода к науке и, соответственно, ответить на вопрос, поставленный в заголовке эссе. Я могу лишь задать другой вопрос себе и своим коллегам.

А не есть ли научные игры (читай, игры в лего) попыткой построить Вавилонскую башню? ■



Новое подтверждение дальних миграций растений в позднем палеозое

доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН С.В.Наугольных^{1,2}

¹Геологический институт РАН (Москва, Россия)

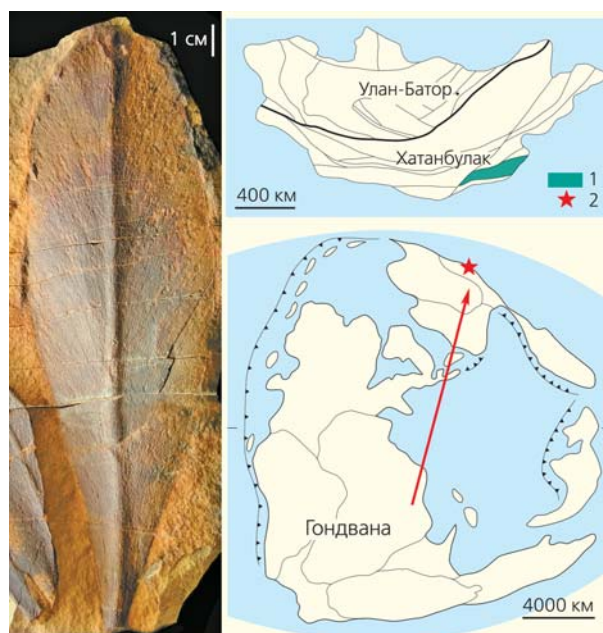
²Казанский (Приволжский) федеральный университет (Казань, Россия)

В пермских отложениях юго-востока Монголии найдены листья голосеменных растений рода *Glossopteris* — характерных представителей пермских флор материка Гондвана. Это открытие представляет особый интерес в связи с давней дискуссией о наличии миграционных связей между флорами Гондваны и северного материка Ангарида.

Ключевые слова: палеозойские флоры, миграционные обмены, *Glossopteris communis*.

Именно благодаря палеоботаническим данным можно высказать аргументированные суждения о степени родства флор далекого прошлого. Предметом оживленных дискуссий палеоботаников, палеогеографов и палеоклиматологов была и по-прежнему остается возможность миграционных обменов между флорами континента Гондвана, существовавшего в Южном полушарии до середины мезозойской эры (150 млн лет назад), и северного континента Ангарида (ныне — Сибирская платформа и соседние регионы), которые в конце позднего палеозоя были объединены в суперконтинент Пангея. Специалисты диаметрально расходятся в своих оценках: от признания таких связей между флорами юга Пангеи (т.е. Гондваны) и ее северной части (Ангарида), принадлежавших разным климатическим и биогеографическим поясам — нотальному (Гондвана) и бореальному (Ангарида). По мнению выдающегося российского палеоботаника М.Д.Залесского, палеозойские флоры Ангарида были близки гондванским и включали в свой состав многочисленные гондванские элементы [1]. Другой знаменитый отечественный палеоботаник С.В.Мейен придерживался прямо противоположной точки зрения. Он полагал, что флоры Ангарида и Гондваны были разделены огромной палеофитогеографической дистанцией и практически не включали в свой состав общие элементы [2, 3].

Очередным вкладом в обсуждение столь непростой темы стали результаты исследования, представленные в начале 2018 г. в *Journal of Asian Earth Sciences* [4]. В пермских отложениях юго-востока Монголии были обнаружены листья голосеменных растений рода *Glossopteris* — характерных представителей пермских флор Гондваны [5].



Лист *Glossopteris* cf. *communis* Feistmantel из местонахождения Хатанбулак (слева); географическое расположение места находки (справа сверху) и направление миграции гондванских глоссоптерид в пределы юго-восточных регионов Ангарида (справа внизу). Условные обозначения: 1 — Хатанбулакский блок (массив); 2 — расположение местонахождения листьев *Glossopteris* cf. *communis* на палинспастической реконструкции (положение континентов дано по: Scotese C.R., 2000. Paleomap Project: www.scotese.com/newpage5.htm).

И эта находка — серьезный аргумент в пользу того, что миграционные обмены между Гондваной и юго-восточной частью Ангарида в конце палеозойской эры действительно существовали.

Анализ ископаемой фауны морских беспозвоночных, обнаруженных в тех же отложениях, позволил примерно оценить стратиграфическое положение находки: это уфимский (роудский) ярус или нижняя часть казанского (вордского) яруса среднего отдела пермской системы*. Установлено большое сходство найденных листьев с видом *Glossopteris communis* Feistmantel. Листья из Монголии были определены в открытой номенклатуре** как *G. cf. communis*.

Найденные в местонахождении Хатанбулак листья имеют относительно крупные размеры: достигают 20 см в длину, максимальная их ширина составляет около 6 см и располагается в верхней трети листа, придавая ему ланцетовидные очертания, типичные для листьев глоссоптерид.

* Пермская система — последняя геологическая система палеозойской эратемы, геохронологически соответствующая пермскому периоду, который начался 298.9±0.15 млн лет назад и завершился 251.902±0.024 млн лет назад

** Открытая номенклатура — способ наименования органических остатков (преимущественно ископаемых), степень сохранности которых не позволяет сделать точное видовое или родовое определение.

Благодаря хорошо сохранившемуся жилкованию листьев отчетливо видны анастомозы, соединяющие соседние жилки и образующие элементы сетчатого жилкования, характерного для глоссоптерид. Угол отхождения боковых жилок от осевого проводящего пучка относительно острый, достигает 20–25°.

Листья глоссоптерид обнаружены в пределах Хатанбулакского массива на юго-востоке Монголии, что хорошо согласуется с географическим положением других таких находок в восточных пределах Ангарида и в Северном Китае. Очевидно, в пермском периоде существовали эффективные миграционные каналы, позволявшие гондванским растениям распространяться далеко на северо-восток. Одним из таких каналов могло быть побережье океана Палео-Тетис. Но какие условия способствовали расширению первоначального ареала глоссоптерид? Миграции растений могли быть облегчены или даже спровоцированы периодическими эпизодами похолоданий, позволивших глоссоптеридам осваивать новые территории за пределами первоначального ареала, не меняя исходных экологических предпочтений. ■

Работа по изучению монгольских глоссоптерид была проведена в рамках темы госзадания №0135-2016-0001 Геологического института РАН, гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-04-00322), а также за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди мировых научно-образовательных центров.

Литература / References

1. Залесский М.Д. Распространение ископаемой флоры, родственной гондванской, в пределах северной части Евразии. Изв. АН СССР. Отд. мат. и естественн. наук. 1930(VII); 9: 913–930. [Zalesskiy M.D. Distribution of fossil flora, related to Gondwana, within the Northern part of Eurasia. WPI. USSR Academy of Sciences. 1930(VII); 9: 913–930. (In Russ).]
2. Мейен С.В. Флорогенез и эволюция растений. Природа. 1986; 11: 47–57. [Meyen S.V. Florogenesis and evolution of plants. Priroda. 1986; 11: 47–57. (In Russ).]
3. Meyen S.V. Relation of Angara and Gondwana floras: a century of controversies. Fourth Int. Gondwana Symposium, Calcutta, India. Gondwana flora. 1977; 2: 10.
4. Naugolnykh S., Uranbileg U. A new discovery of *Glossopteris* in southeastern Mongolia as an argument for distant migration of Gondwanan plants. Journal of Asian Earth Sciences. 2018; 154: 142–148. Doi:org/10.1016/j.jseaes.2017.11.039.
5. Наугольных С.В. Символ Гондваны. Природа. 2012; 12: 49–59. [Naugolnykh S.V. A symbol of Gondwana. Priroda. 2012; 12: 49–59. (In Russ).]

New Evidence of Long-Range Migration of Plants in the Late Paleozoic

S.V.Naugolnykh^{1,2}

¹Geological Institute, RAS (Moscow, Russia)

²Kazan (Volga Region) Federal University (Kazan, Russia)

Leaves of the genus *Glossopteris*, which is a typical representative of the Permian flora of the Gondwana continent — were found in the Permian deposits of the South-East of Mongolia. This discovery is of particular interest in connection with the long-standing debate about the existence of migration links between the floras of Gondwana and the Northern continent of Angaraland (Angaride).

Keywords: Paleozoic flora, migration exchanges, *Glossopteris communis*.

История становления геохимии

доктор геолого-минералогических наук Г.Б.Наумов¹, Н.А.Вишневская¹
¹Государственный геологический музей имени В.И.Вернадского РАН (Москва, Россия)

Опубликованные и архивные материалы показывают, что В.И.Вернадский был первым, кто четко определил наиболее полное содержание науки геохимии, открыл единую геохимическую меру — распределение элементов — для анализа как живого, так и неживого вещества, и продемонстрировал важность геохимии в исследованиях взаимодействия внешних оболочек Земли как целого. Он опередил свое время, а предложенный им подход приобретает все большее значение в наши дни. В.М.Гольдшмидт существенно расширил область своих исследований именно под влиянием творческих контактов с Вернадским.

Ключевые слова: геохимия, Вернадский, Гольдшмидт, распределение элементов, биогеохимические циклы, история науки.

Историк науки должен всегда иметь в виду, что картина, им даваемая, неполна и ограничена.

В.И.Вернадский

Приведенные в эпиграфе слова [1, с.44] одного из основателей геохимии, В.И.Вернадского, полностью относятся и к самой этой научной дисциплине. Дело в том, что ее предыстория подробно описывалась и им самим, и другими корифеями. Хуже обстоит дело с периодом ее становления и дальнейшего развития. Три школы, работавшие в разных научных центрах, внесли решающий вклад и почти одновременно создали геохимию как научную дисциплину. Их слияние оказалось непростым. История эта неоднозначна и во многом поучительна. Здесь и обмен идеями, и несовпадение взглядов, и столкновение различных подходов. Точки над *i* здесь пока еще окончательно не расставлены.

Недавно в «Journal of Geochemical Exploration» была опубликована статья известного норвежского геолога А.Мюллера «Виктор Мориц Гольдшмидт (1888–1947) и Владимир Иванович Вернадский (1863–1945): отец и дед геохимии?» [2]. Если судить по заглавию, отцом геохимии следует считать Гольдшмидта, а если по содержанию — то Вернадского, ведь Виктор Мориц не только был на 25 лет моложе, он существенно расширил область своих исследований именно под влиянием творческих контактов с Владимиром Ивановичем.

Если предпосылки формирования геохимии как науки подробно рассмотрены ее корифеями, то история ее развития от становления вплоть до наших дней пока еще требуют своего анализа. Тем более что ее развитие шло далеко не равномерно, со своими взлетами и падениями. До сих пор нет ясного понимания в этом вопросе, хотя значение геохимии в системе знаний с течением

времени все более увеличивается. Да и вклад отцов-основателей в отдельные ее направления отнюдь не равнозначен.

Напомню, что сам термин *геохимия* впервые употребил в 1838 г. швейцарский химик немецкого происхождения Х.Ф.Шёнбейн, который утверждал, что геологи *должны будут искать новые вспомогательные средства и, без сомнения, тогда введут в геологию минерало-химические пути исследования. Время, когда это свершится, кажется мне не столь далеким* [3, с.20].

Шёнбейн ошибся только в одном — время для претворения в жизнь его идей пришло намного позже. От момента введения термина до создания науки геохимии прошли не годы, а десятилетия. История эта интересна и поучительна.

70 лет спустя, в 1908 г., главный химик Американского геологического комитета Ф.У.Кларк, всю жизнь занимавшийся геологическими проблемами, свел и переработал огромный материал петрохимических данных в книге «Data of geochemistry» [4]. Этим был заложен надежный геохимический фундамент: все тела состоят из атомов, но в разных сочетаниях, определяемых законами природы. Но это еще не была наука, да Кларк на создание ее и не претендовал.

Сама геохимия как наука родилась несколько позже. Можно указать два основных направления, по которым она развивалась и которые долгое время не удавалось объединить в единое целостное учение. Одно из них связано с именем великого мыслителя и естествоиспытателя Вернадского. Второе вышло из кристаллохимии и связано с работами Гольдшмидта, то есть с Минералогическим институтом в Гёттингене и с Университетом Осло.



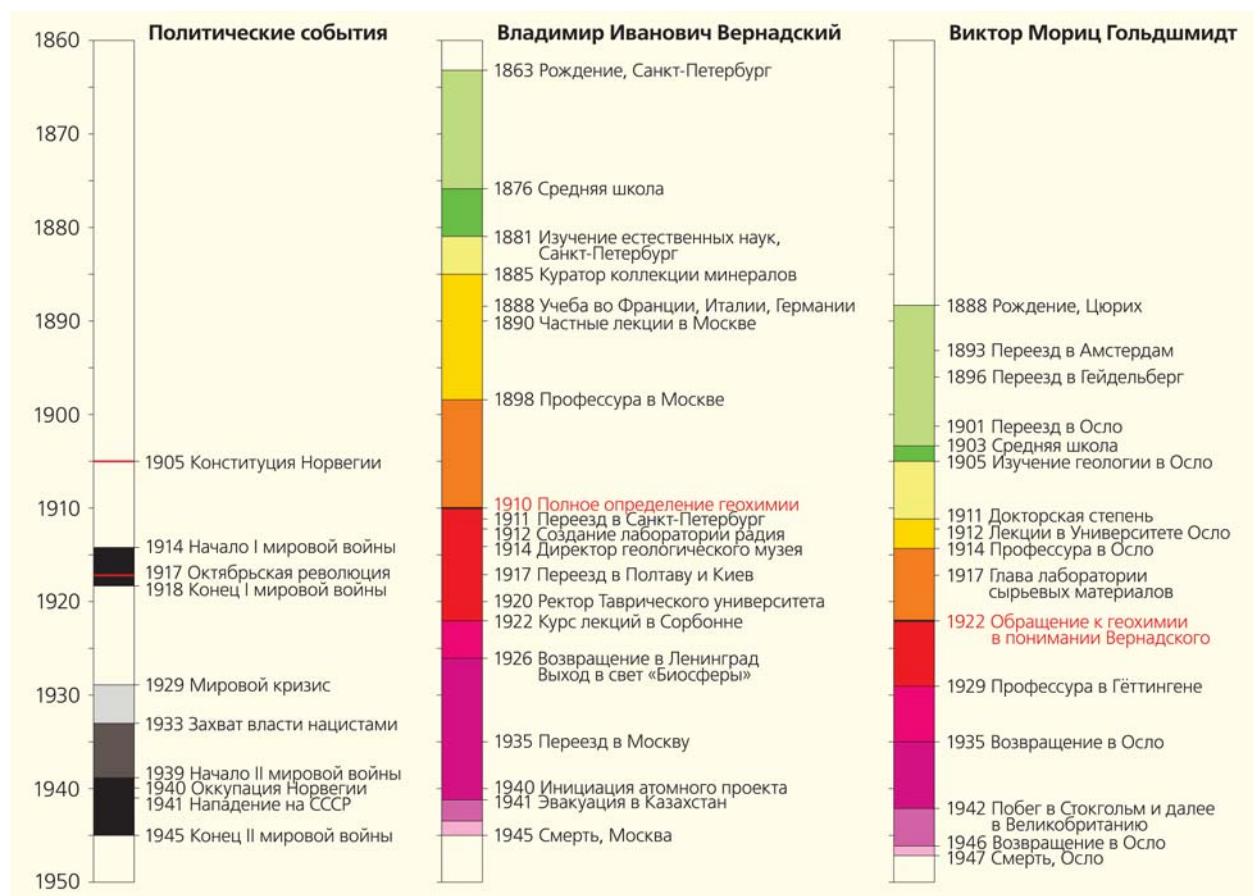
Х.Ф.Шёнбейн. 1857 г.



Ф.У.Кларк.

Фото Ф.С.Ганфштенгля

Popular Science Monthly. 1898. V.54. №1. P.110



Временная шкала, составленная А.Мюллером [2, fig.1] и показывающая наиболее значительные события в жизни В.И.Вернадского и В.М.Гольдшмидта на фоне политических событий конца XIX — середины XX в.

Владимир Иванович Вернадский

Уже в своем докладе «Парагенезис химических элементов в земной коре», сделанном в декабре 1909 г. на XII съезде естествоиспытателей и врачей [3, с.396–410], Вернадский дал четкое и полное описание содержания геохимии и обозначил все основные направления этой науки.

Эти мысли возникли у него не вдруг. К ним он шел в течение долгих лет упорной работы. Но основы его мировоззрения были заложены еще в детстве и развивались по мере его становления как личности. Уже у маленького Володи сложилось впечатление о единстве мира — под влиянием рассказов и прогулок с двоюродным дядей Е.М.Короленко — поклонником Вольтера, вольнодумным, но добрым и сердечным человеком, который занимался наукой как любитель. Под впечатлением от теории Дарвина дядя даже писал сочинение о происхождении человека. В своем племяннике Короленко нашел благодарного слушателя как его размышлений, так и популярных лекций. В письме жене Наталии Егоровне, написанном в возрасте 24 года, Владимир Иванович так охарактеризовал эти разговоры: *Никогда не забуду того влияния, какое имел для меня этот старик в первые годы моей умственной жизни. Вспоминаются мне темные зимние звездные вечера. Перед сном он любил гулять, и я, когда мог, всегда ходил с ним. Я любил всегда небо, звезды, особенно Млечный Путь поражал меня, и в эти вечера я любил слушать, как он мне о них рассказывал; я долго после не мог успокоиться; в моей фантазии бродили кометы через бесконечное мировое пространство; падающие звезды оживлялись; я не мирился с безжизненностью Луны и населял ее целым роем существ, созданных моим воображением. Такое огромное влияние имели эти простые рассказы на меня, что мне кажется, что я и ныне не свободен от них [5, с.32]. Столь общее и древнее стремление научного мирозерцания выразить все в числах, — искание кругом простых числовых отношений проникло в науку из самого древнего искусства — из музыки. <...> С тех пор искание гармонии (в широком смысле), искание числовых соотношений является основным элементом научной работы, — в 1902 г. написал Вернадский в статье «О научном мировоззрении» [6, с.26–27].*

После окончания гимназии Владимир Иванович поступил на естественное отделение Императорского Санкт-Петербургского университета, где Д.И.Менделеев читал лекции по химии, на которых студенты получали не только химические знания, но и формировали химическое мышление. Так зародилось у Вернадского понимание и глубокое уважение к химии — еще один, и достаточно основательный, кирпич в геохимическую методологию будущего ученого. Все дальнейшие его исследования по минералогии отличались внимательным



В.И.Вернадский. 1890-е годы.

Музей истории Крымского федерального университета имени В.И.Вернадского

отношением к химии минералов и глубокой проработкой химизма их образования.

В 1890 г. он принял предложение А.П.Павлова и переехал в Москву, чтобы занять должность приват-доцента Императорского Московского университета. Его «Лекции описательной минералогии» (1899), «Опыт описательной минералогии» (1908) и «Минералогия» (1910) стали по существу фундаментальными трудами по химии минералов и отметили начало его пути в геохимию.

Как представитель точного знания, Вернадский во всех своих работах старался опираться на количественное значение изучаемых объектов, выраженное числом и мерой. И в то же время его интересы затрагивали самые разные природные тела. Но как найти общую меру для самых различных природных тел? Сопоставление масс не дает желаемого результата. Морфология может быть схожа у самых разных тел, далеко отстоящих друг от друга (например, как у облака и опухоли). Ответ подсказала химия минералов. Вот как об этом написал сам Владимир Иванович: *В каждой капле и пылинке вещества на земной поверхности по мере увеличения точности наших исследований мы открываем все новые и новые элементы. В песчинке или капле, как в микромире, отражается весь состав космоса [3, с.401].* И добавил: *...Каково бы ни было объяснение этого явления, схема рас-*

сеяния элементов очень удобна для классификации фактов [3, с.402].

Так Вернадский нашел общую меру! Закономерности распределения химических элементов — вот та единая мера, которая может быть применена ко всем природным телам, к любым объектам природы — большим и малым, земным и космическим, и позволит объединить методы изучения и живого, и косного (т.е. природных продуктов, образующихся без участия живых организмов) вещества.

Очевидно, именно этот доклад, опубликованный в дневниках съезда в 1910 г., следует считать рождением геохимии как науки. В нем поставлена общая задача химического познания земной коры, намечены пути изучения взаимного положения химических элементов, обращено внимание на рассеяние и концентрацию химических элементов, рассмотрены изоморфные ряды и отмечено, что при всей их важности *они не могут охарактеризовать всей сложности природных процессов* [3, с.408]. Иными словами, намечена методология геохимических исследований. И это задолго до появления в 1923 г. первой публикации в серии работ Гольдшмидта «Геохимические законы распределения элементов», которые часто считают началом современной геохимии.

Элементарный химический состав природных тел оказался настолько показателен, что в дальнейшем мог быть использован как один из видовых признаков не только для минералов и горных пород, но даже для всех живых организмов. Единая мера измерения оказалась центральным ядром синтетического подхода к косным и живым объектам природы и их совместному влиянию на историю нашей планеты.

Как минералы образуют горные породы, так же живые организмы создают сообщества — биоценозы. Для их анализа с позиций закономерностей распределения элементов Вернадский вводит новое понятие — *живое вещество*, положенное им в основу биогеохимии. Устанавливается единая система определения уровней организации и косного, и живого вещества планеты. В минеральном веществе это: минерал — порода — комплекс и т.д. В живом это: биологический вид — биоценоз — биотоп и т.д. Но каждая из этих линий не изолирована. Между ними существует непрерывная связь. Единая мера позволяет, сопоставляя геохимию живого и косного, вскрыть круговорот элементов между ними. Возникает понятие *биогеохимических циклов*. Оно казалось не очень важным в начале XX в., но становится необходимым сейчас, при современных экологических исследованиях.

К идеям геохимии живого вещества Вернадский подходил постепенно. *Я столкнулся с биогеохимическими проблемами в 1891 г., когда стал читать курс минералогии в Московском университете*, — писал ученый [8, с.6]. Но нужны были строгие научные доказательства, которые он со-

бирал и систематизировал. В 1916 г. им была заведена специальная папка для рабочих материалов по живому веществу, которые легли в основу фундаментальной работы «Биосфера», вышедшей из печати в 1926 г. и положившей начало новому биогеохимическому направлению.

С введением новых понятий открылся еще один важный аспект геохимического анализа развития нашей планеты — исторический. *Биогенные породы... идут далеко за пределы биосферы. Учитывая явления метаморфизма, они превращаются, теряя всякие следы жизни, в гранитную оболочку, выходя из биосферы. Гранитная оболочка Земли есть область былых биосфер* [9, с.325]. Все это происходит по строгим законам. Чтобы узнать эти законы, необходимо изучить распределение элементов в природных объектах и их изменения в пространстве и во времени.

Говоря о своем понимании геохимии, Вернадский написал: *...Я подошел в геологии к новому для меня и для других и тогда забытому пониманию природы — геохимическому и биогеохимическому, охватывающему и косную, и живую природу с одной и той же точки зрения. Подходя геохимически к изучению геологических явлений, мы охватываем всю окружающую нас природу в одном и том же атомном аспекте* [9, с.323].

В «Очерках геохимии» Вернадский так расшифровал содержание этой науки: *Геохимия научно изучает химические элементы, т.е. атомы земной коры и, насколько возможно, всей планеты. Она изучает их историю, их распределение и движение в пространстве-времени, их генетические на нашей планете соотношения* [3, с.14]. Не случайно в эту формулировку вставлены «атомы земной коры».

Обнаружение А.Беккерелем в 1896 г. самопроизвольного распада атомов некоторых элементов открыло принципиально новое направление геохимической мысли. Первым, кто по достоинству и в полной мере оценил новое открытие, был Вернадский. В октябре 1907 г. по его представлению Академия наук включила в план работ изучение радиоактивных минералов России. Он же дал название *радиогеология* новому разделу геологии. Позднее, выступая в 1933 г. с докладом в Парижском университете, Вернадский сказал: *...Работы последних лет позволяют нам говорить с полной определенностью о новой отрасли геологических наук: о радиогеологии* [10], — и привел подробный перечень геологических вопросов, решение которых будет связано с радиогеологией. Позднее в докладе на XVII Международном геологическом конгрессе он дал ее определение: *Радиогеология изучает ход радиоактивных процессов на нашей планете, их отражение и их проявление в геологических явлениях* [3, с.676].

Сейчас — через столько лет, читая эти материалы, невольно поражаешься его пророческому предвидению кардинальных путей развития дан-

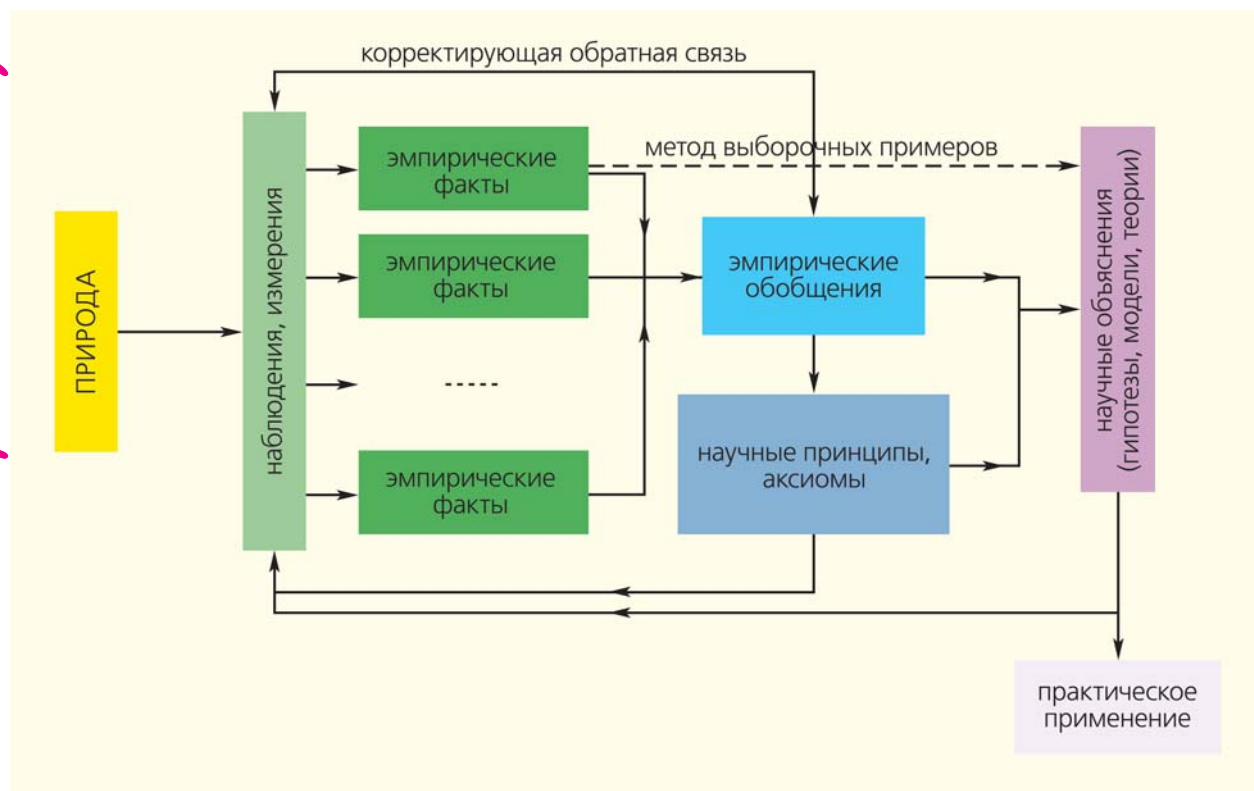


Схема логической сети получения и преобразования естественнонаучного знания, составленная по представлениям В.И.Вернадского.

ного направления научного знания. В 1922 г. во вступительной заметке к своей книге «Очерки и речи» Вернадский написал следующее.

Мы подходим к великому повороту в жизни человечества, с которым не могут сравняться все им раньше пережитые. Недалеко время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который дает ему возможность строить свою жизнь, как он захочет. Это может случиться в ближайшие годы, может случиться через столетие. Но ясно, что это должно быть.

Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение? Дорос ли он до умения использовать ту силу, которую неизбежно должна дать ему наука? [9, с.323].

Владимир Иванович не только ввел в науку единую для всех природных объектов меру количественного анализа — распределение химических элементов, — позволившую рассматривать в одной системе косные и живые тела, но и углубил возможность такого анализа до элементарного состояния отдельных атомов и их изотопов.

Но ведь и распределение элементов, и свойства атомов, из которых сложены любые природные тела, характеризуют только их статическое состояние. Вернадского же всегда интересовала динамика, история химических элементов земной ко-

ры. Для такого анализа он ввел понятие геохимических циклов. Каждый элемент дает характерные для определенной геосферы и постоянно возобновляющиеся соединения. После более или менее продолжительных изменений элемент возвращается к первичному соединению и начинает новый цикл, завершающийся для элемента новым возвращением к первоначальному состоянию. История большинства химических элементов в земной коре — всех циклических, значительной (по массе) части рассеянных и сильно радиоактивных элементов и, по-видимому, элементов редких земель — характеризуется замкнутыми **круговыми процессами**, — написал он в «Очерках геохимии» [3, с.73].

Но, пожалуй, самое главное в научном наследии Вернадского, красной нитью проходящее через все его труды и выходящее за пределы самой геохимии, — это методология естественнонаучного изучения природы. Целостный системный подход и строгая последовательность анализа характеризуют все его научные изыскания. *Синтетическое изучение объектов природы — ее естественных тел и ее самой, как «целого», — неизбежно вскрывает черты строения, упускаемые при аналитическом подходе к ним, и дает новое. Этот синтетический подход характерен для нашего времени в научных и философских исканиях. Он ярко проявляется в том, что в наше время грани-*

цы между науками стираются: мы научно работаем по проблемам, не считаясь с научными рамками, — указывал он [11, с.261]. Фактически этот подход предвосхитил те принципы научных исканий, которые в наше время, после работ И.Р.Пригожина и Г.Хакена, сконцентрированы в понятиях термодинамики открытых систем и синергетики.

Виктор Мориц Гольдшмидт

Третьим корифеем, участвовавшим в создании геохимии, был Виктор Мориц Гольдшмидт — норвежский минералог, кристаллограф, геохимик, петрограф.

Виктор Мориц родился 27 января 1888 г. в Цюрихе (Швейцария). Его отец преподавал физическую химию в Высшей технической школе Цюриха. В 1893 г. семья переехала в Амстердам, где Гольдшмидт-старший до 1896 г. работал с голландским химиком Я.Х.Вант-Гоффом, затем получил профессию в Гейдельбергском университете. С 1901 г. семья жила в Кристиании — так называлась в те годы столица Норвегии. Отец возглавил кафедру физической химии в Королевском университете Фредерика (ныне Университет Осло), куда Виктор Мориц и поступил после окончания гимназии в 1905 г.

Еще в школьные годы под влиянием работ отца он проявил интерес к минералогии. В 1907 г. Гольдшмидт-младший начал свое первое крупное научное исследование, которое в 1911 г. было представлено в виде кандидатской диссертации, озаглавленной «Контактный метаморфизм в окрестностях Кристиании». Здесь он впервые применил к геологическим объектам термодинамическое правило фаз.

Первая мировая война привела к дефициту минерального сырья в Европе. Несмотря на то что Норвегия не участвовала в войне, она также страдала от его нехватки, и норвежское правительство организовало Комиссию сырья, задача которой заключалась в поисках таких альтернативных сырьевых материалов — чтобы страна могла бы стать менее зависимой от международного рынка. В 1917 г. Гольдшмидт был назначен на пост главы этой комиссии и Лаборатории полезных ископаемых Норвегии. С этой целью он начал систематический анализ минералов, горных пород и почв. Именно эти работы знаменуют поворот ученого к геохимическим исследованиям. Гольдшмидту потребовалось всего три года, чтобы создать одну из самых современных для того времени химических лабораторий. Усовершенствованные рентгенометрические методы позволили связать свойства кристаллических веществ с их атомной структурой и положением в периодической системе элементов.

Сам Гольдшмидт и руководимая им геохимическая школа определили кристаллические структу-

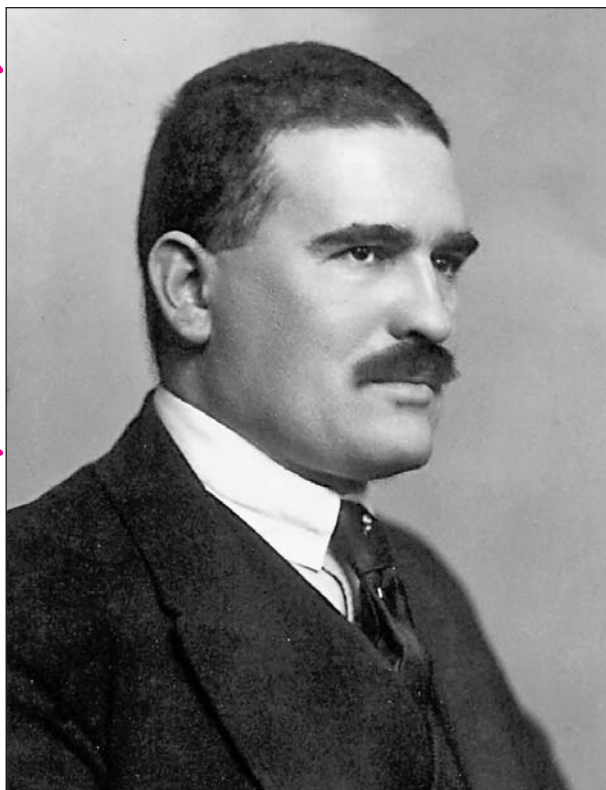


Портрет В.М.Гольдшмидта, датируемый примерно 1909 г., т.е. именно тем годом, когда В.И.Вернадский выступил с докладом о парагенезисе элементов в земной коре, в котором были сформулированы основные направления геохимии.

Wikimedia Commons

ры 200 минеральных видов. Эти данные позволили установить связь между составом и формой вещества и послужили основой для формулировки законов геохимического распределения элементов. На этой основе ученый ввел понятия *атомных и ионных радиусов*, сформулировал закон изоморфизма, применил термодинамическое правило фаз к геологическим объектам и построил геохимическую классификацию элементов. Такое сочетание новых подходов к анализу природных объектов оказало большое влияние на развитие геохимии этого периода. Открылся широкий простор для новых исследований. Предложенная геохимическая классификация элементов и закон изоморфизма были названы его именем.

С 1922 г., используя свои обширные познания в кристаллохимии, Гольдшмидт начал исследовать геохимические закономерности распределения элементов, результатом чего стала монографическая серия «Геохимические законы распределения элементов» («Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente», 1923–1937). В ней показано, что минеральный состав роговиков — это результат термодинамического метаморфизма, а следовательно, к таким метаморфическим горным породам может быть применено правило фаз Гиббса, показывающее, сколько минеральных фаз может образовываться в системе, включающей определенный набор химических компонентов. Этот результат



В.М.Гольдшмидт. Предположительно 1922 г., т.е. именно тот год, когда он начал исследовать геохимические закономерности распределения элементов.

snl.no

вошел в историю как *минералогическое правило фаз Гольдшмидта*.

С 1927 г. Гольдшмидт работал одновременно в Гёттингене и Осло. В 1929 г. он возглавил Минералогический институт при Университете Гёттин-

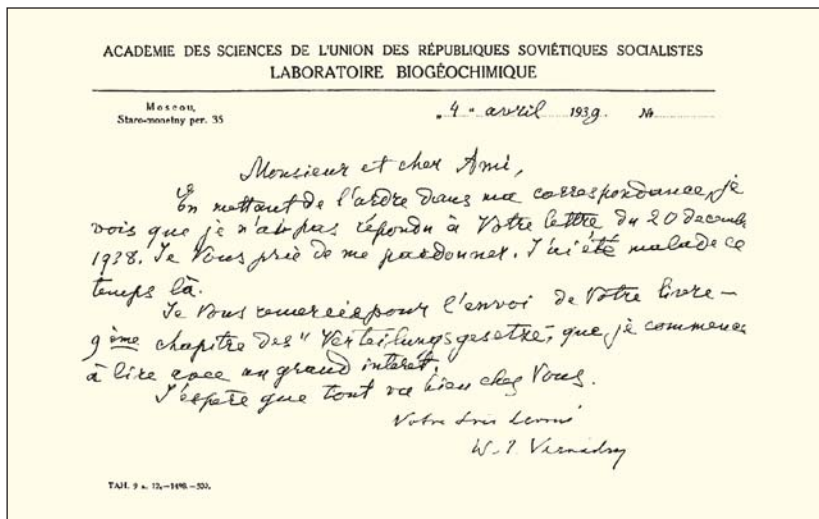
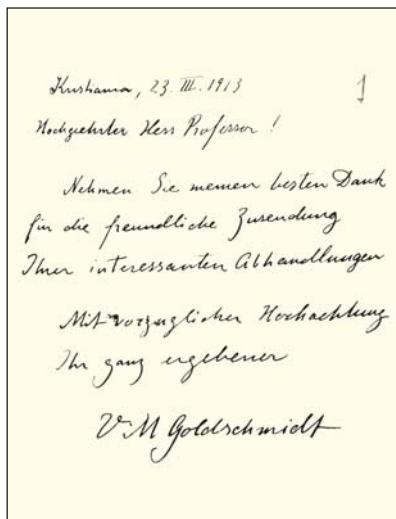
гена. Вернадский посещал его дважды: в 1927 г. в Осло и в 1932 г. в Гёттингене. Но научные контакты между учеными возникли значительно раньше. Мюллер приводит письмо Виктора Морица от 1913 г., в котором тот благодарит Вернадского за присланные материалы [2]. В 1924 г. Гольдшмидт был избран членом-корреспондентом АН СССР.

В 1937 г. был опубликован последний — девятый — том серии «*Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente*», которому Гольдшмидт по аналогии со знаменитым музыкальным произведением Л. ван Бетховена дал название «Девятая симфония». В нем были собраны размышления о распределении химических элементов в космосе, а также предсказано существование трансурановых элементов.

В 1940 г. Норвегия была захвачена Германией, начались преследования норвежских евреев. 26 ноября 1942 г. Гольдшмидт был арестован и доставлен в гавань Осло, где его в числе 533 евреев ожидала отправка в Освенцим. В последнюю минуту, благодаря просьбе коллеги, указавшему на экономическое значение исследований Виктора Морица, ученый был вызван из очереди для продолжения работы в лаборатории минерального сырья. 18 декабря 1942 г. члены норвежского Сопротивления нелегально переправили его в Швецию, откуда по инициативе британского правительства он был перевезен в Лондон. После окончания войны Гольдшмидт уже серьезно больным вернулся в Осло, где и умер 20 марта 1947 г.

На Западе именно Гольдшмидта чаще всего рассматривают как *отца современной геохимии* [12] и не признают более ранний вклад Вернадского. Даже в учебнике «Основы геохимии» [13], в главе «Биосфера», нет ни одной ссылки на Вернадского.

Приведенные материалы ясно демонстрируют, что в начале XX в. независимо возникло два основных направления развития геохимии. Гёттинген-



Первое (слева) зарегистрированное письмо Гольдшмидта Вернадскому [2, fig.3] и последнее сохранившееся письмо Вернадского Гольдшмидту [2, fig.9].

ское, основным инструментом которого стало представление об атоме, его геометрии и структуре, а основными объектами — минерал и все тела, состоящие из минералов. И созданное Вернадским, где объектом исследования могло быть любое природное тело — косное и живое, земное и космическое, а основным инструментом — количественное распределение элементов.

Направление геохимических исследований, созданное Гольдшмидтом, было проще и понятнее, а потому вышло далеко за пределы созданной им научной школы, прочно вошло в геохимические и кристаллохимические исследования всего мира.

Коллизии становления геохимии

В 1927–1928 гг., во время заграничной поездки, Вернадский вел переговоры о создании международного журнала по геохимии. Сама идея такого журнала была поддержана, но геохимические корифеи Европы В.М.Гольдшмидт и В.Эйтель, а также другие геохимики видели эту науку только как химию косного вещества планеты в рамках кристаллографии или геофизики и исключали биогеохимические вопросы. Они считали, что изучение явлений жизни — прерогатива биологов, геохимикам же здесь делать нечего.

Еще сложнее было на родине, где господствовала марксистско-ленинская догматика. В 1927 г. в журнале «Под знаменем марксизма» биолог и философ И.И.Бугаев напечатал рецензию на фундаментальный труд «Биосфера», эту довольно интересную книжечку Вернадского, требующую к себе критического отношения, поскольку автор занимает явно метафизическую позицию [14, с.342–346]. В 1931 г. в том же журнале микробиолог Д.М.Новогрудский написал: *Весь пресловутый эмпиризм акад. Вернадского — это дешевая декларация. <...> Методология акад. Вернадского в целом являет собою поучительный пример того жалкого состояния, в которое повергается наука, находящаяся в плену буржуазной идеологии* [15, с.360, 367]. В 1932 г. академик А.М.Деборин, ведущий советский философ-марксист, подвел итог: *Все мировоззрение В.И.Вернадского, естественно, глубоко враждебно материализму и нашей жизни, нашему социалистическому строительству* [16, с.375].

Малая советская энциклопедия 1934 г. так характеризовала работы Вернадского: *По своему мировоззрению — сторонник идеалистической философии; в научных работах В. проводит идеи «нейтрализма» науки, выступает в защиту религии, мистики, «исконности жизни и живой материи» и ряда виталистич[еских] и антиматериалистич[еских] концепций, отрицая материалистическую диалектику**.

* Малая советская энциклопедия. Т.2. М., 1934. С.376.

Но даже если отбросить идеологические нападки советских ортодоксальных марксистов, идеи взаимосвязи косного и живого не находили адекватного понимания среди геохимиков. Коллективная мысль еще не доросла до этого понимания. Показательно, что ближайший ученик Вернадского, А.Е.Ферсман, в своей статье «Успехи минералогии и геохимии за 25 лет Советской власти» [17], написанной в 1943 г., перечисляя 13 основных направлений развития геохимии, вообще не упомянул биогеохимии.

Увы, новые идеи Вернадского упали не на благодатную почву. Неслучайно в 1931 г. Владимир Иванович записал в своем дневнике следующие слова: *Царство моих идей впереди***. Для научных идей, как и для растений, нужны подходящие условия. Они зрели постепенно, по мере накопления нового научного знания.

Три синтеза космоса

Геохимический подход Вернадского оказался столь глубоким и всеобъемлющим, что постепенно позволил охватить в одном и том же «атомном аспекте» все «естественные тела природы». В его работе «Два синтеза космоса» хорошо показаны восприятие природы представителями разных научных дисциплин.

Первый синтез: *...Отвлеченное представление физика или механика, где все сводится, в конце концов, к немногим нашими органами чувств и даже нашим сознанием не охватываемым в различной форме представлениям об эфире, энергии, квантах, электронах, силовых линиях, вихрях или корpusкулах* [7, с.13].

Второй синтез: *Представление натуралистическое, не разложимое на геометрические, формат, более сложное и более для нас близкое и реальное, которое пока тесно связано не со всем Космосом, но с его частью — с нашей планетой; то представление, какое всякий натуралист, изучающий описательные науки, имеет об окружающей его природе. В это представление всегда входит новый элемент, отсутствующий в построениях космогонии, теоретической физики или механики — элемент живого. Эти представления о природе не менее научны, чем создания космогонии или теоретической физики и химии, и ближе для многих, хотя они так же неполны, как и геометрические схемы упрощенной мысли физиков* [7, с.13].

Именно второй синтез и привел Вернадского к новому объему понятия биосфера, отличному от понятия Ж.Б.Ламарка. Владимир Иванович первым четко осознал, что миграция химических элементов на Земле не может быть понята без учета влияния организмов. Сейчас уже нет сомнения,

** Архив РАН. Ф.518. Оп.1. Д.162. Л.123.



Интерьер рабочего кабинета Вернадского в Институте геохимии и аналитической химии имени В.И.Вернадского РАН.

что живое вещество оказывало кардинальное влияние на развитие всей земной коры. Достаточно напомнить, что все карбонатные породы биогенного происхождения, а весь свободный кислород атмосферы есть результат действия хлорофилловой функции организмов.

Третьему синтезу Вернадский посвятил свой так и не изданный при его жизни труд «Научная мысль как планетное явление», основа которого была заложена в 1937–1938 гг. Это по существу геохимия ноосферы. В ней показано, что научная мысль становится геологической силой и должна учитываться в планетарном масштабе.

В начале и первой половине XX в. уровень развития техники был таков, что цивилизация еще не оказывала столь сильного давления на биосферу, как в его конце. Железные дороги работали на паровой тяге, автомобилестроение было в самом зачатке, об атомной технике вообще никто даже не думал. Но Вернадский смотрел далеко вперед, предсказывая грядущую роль науки, которая, становясь геологической силой, меняет облик планеты. Фактически здесь выражено то, что мы сейчас называем экологией ноосферы или экологической геохимией.

В интеллектуальном обиходе человечества появились новые термины, например, *квант*, *ген*, *мем* и многие другие, а такие как *эки*, *вэки* и *парагены* давно почил в бозе, сыграв свою роль в развитии энергетического подхода в геохимии, уступили место общенаучному физико-химическому

подходу. Но неизменным остается база геохимического подхода — распределение элементов в природных объектах и комплексный подход к решению возникающих проблем. Появляются новые междисциплинарные научные подходы, объединяющие геохимию с экологией, медициной, здравоохранением, социологией, активно использующие анализ распределения химических элементов.

* * *

Подводя итог, полезно с современных позиций взглянуть в целом на тот путь, который прошли геохимические идеи.

Несмотря на то что атомно-кристаллографическое направление школы Гольдшмидта возникло на 13 лет позже, чем системно-химический подход Вернадского, оно быстро завоевало популярность, поскольку было адекватно общему уровню развития науки того времени и сыграло существенную роль в раз-

Фото Г.Б.Наумова

витии геохимического подхода к природным явлениям. Однако оно относительно быстро израсходовало свой потенциал.

Напротив, системно-химический подход Вернадского и его глубокое и емкое определение этой науки, сформулированные еще в 1909 г., долгое время оставались достоянием лишь относительно узкого круга исследователей. Неслучайно на заседании Госсовета в Кремле в декабре 2016 г. президент РФ сказал: *Еще в начале XX века Владимир Иванович Вернадский предупреждал, что наступит время, когда людям придется взять на себя ответственность за развитие и человека, и природы, и такое время, безусловно, наступило. Человечество уже накопило огромное количество экологических долгов и продолжает испытывать природу на прочность. Это отражается и на самих людях**.

Суммируя, можно сказать, что в создании геохимии приняли участие многие ученые, но именно Вернадский не только первым наиболее полно очертил ее задачи, но и нашел единую меру геохимических исследований — распределение элементов в природных объектах, одинаково применимую к любым естественным телам и позволявшую объединять их в одну систему. А потому именно он по праву должен считаться отцом этой науки. ■

* Выступление В.В.Путина на Государственном Совете РФ в декабре 2016 г. (rg.ru/2016/12/27/).

Литература / Reference

1. Вернадский В.И. О научном мировоззрении. Труды по всеобщей истории науки. М., 1988: 42–80. [Vernadsky V.I. About the scientific Outlook. Works on General history of science. Moscow, 1988: 42–80. (In Russ.).]
2. Müller A. Viktor Moritz Goldschmidt (1888–1947) and Vladimir Ivanovich Vernadsky (1863–1945): The father and grandfather of geochemistry? Journal of Geochemical Exploration. 2014; 147(A): 37–45.
3. Вернадский В.И. Избранные сочинения: Т.1. М., 1954. [Vernadsky V.I. Selected works: V.1. Moscow, 1954. (In Russ.).]
4. Clarke F.W. Data of geochemistry. Washington, 1924.
5. Вернадский В.И. Письма Н.Е.Вернадской. М., 1988: 27–33. [Vernadsky V.I. Letters to N.E.Vernadsky. Moscow, 1988: 27–33. (In Russ.).]
6. Вернадский В.И. О научном мировоззрении. Вернадский В.И. О науке: Т.1. Научное знание. Научное творчество. Научная мысль. Дубна, 1997: 11–67. [Vernadsky V.I. About scientific view of the world. Vernadsky V.I. About science: V.1. Scientific knowledge. Scientific creativity. Scientific thought. Dubna, 1997: 11–67. (In Russ.).]
7. Вернадский В.И. Живое вещество. М., 1978. [Vernadsky V.I. Living substance. Moscow, 1987. (In Russ.).]
8. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии (Труды биогеохимической лаборатории: Т.XVI). М., 1980. [Vernadsky V.I. Problems of biogeochemistry (Proceedings of Biogeochemical Laboratory: V.16). Moscow, 1980. (In Russ.).]
9. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1965. [Vernadsky V.I. The chemical structure of the Earth biosphere and its surroundings. Moscow, 1965. (In Russ.).]
10. Вернадский В.И. Проблемы радиогеологии. Вернадский В.И. Труды по радиогеологии. М., 1977: 157. [Vernadsky V.I. Problems of radiogeology. Vernadsky V.I. Works on radiogeology. Moscow, 1977: 157. (In Russ.).]
11. Вернадский В.И. Мысли и замечания о Гёте как натуралисте. Вернадский В.И. О науке. Т.1: Научное знание. Научное творчество. Научная мысль. Дубна, 1997: 204–263. [Vernadsky V.I. Thoughts and commentary about Goethe as a naturalist. Vernadsky V.I. About science. V.1: Scientific knowledge. Scientific creativity. Scientific thought. Dubna, 1997: 204–263. (In Russ.).]
12. Mason B. Victor Moritz Goldschmidt: Father of modern geochemistry. The Geochemical Society Special Publication. 1992; 4: 1–184.
13. Мейсон Б. Основы геохимии. М., 1971. [Mason B. Principles of Geochemistry. N.Y., 1952.]
14. Бугаев И.И. [Рецензия на книгу:] Акад. В.И.Вернадский. «Биосфера». В.И.Вернадский: pro et contra. СПб., 2000: 342–346. [Bugayev I.I. Book review of «Biosphere» by Acad. V.I.Vernadsky. V.I.Vernadsky: Pro et contra. St.Petersburg, 2000: 342–346. (In Russ.).]
15. Новогрудский Д.М. Геохимия и витализм. В.И.Вернадский: Pro et contra. СПб., 2000: 360–367. [Novogrudsky D.M. Geochemistry and vitalism. V.I.Vernadsky: Pro et contra. St.Petersburg: 360–367, 2000. (In Russ.).]
16. Деборин А.М. Проблема времени в освещении акад. Вернадского. В.И.Вернадский: Pro et contra. СПб., 2000: 369–375. [Deborin A.M. The problem of time in the interpretation of acad. Vernadsky. V.I.Vernadsky: Pro et contra. St.Petersburg, 2000: 369–375. (In Russ.).]
17. Ферсман А.Е. Успехи минералогии и геохимии за 25 лет Советской власти. Избранные труды. Т.5. М., 1959: 836–850. [Fersman A.E. Achievements of mineralogy and geochemistry in 25 years of the Soviet power. Selected works. V.5. Moscow, 1959: 836–850. (In Russ.).]

History of Geochemistry Genesis

G.B.Naumov¹, N.A.Vischnevskaya¹¹Vernadsky State Geological Museum, RAS (Moscow, Russia)

The analysis of published and archival materials shows that Vladimir I.Vernadsky was the first who clearly defined the full content of the science Geochemistry. He discovered a single measure for geochemical analysis as a living material and inanimate matter: the distribution of elements. He demonstrated the importance of Geochemistry in the study of the interaction of the external geosphere as a whole. He was ahead of his time, and his approach is becoming increasingly important in our days.

Keywords: geochemistry, Vernadsky, Goldschmidt, distribution of elements, biogeochemical cycles, history of science.

Химия

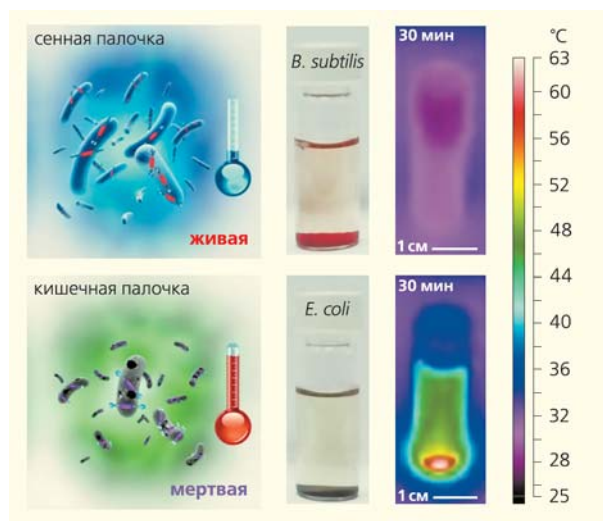
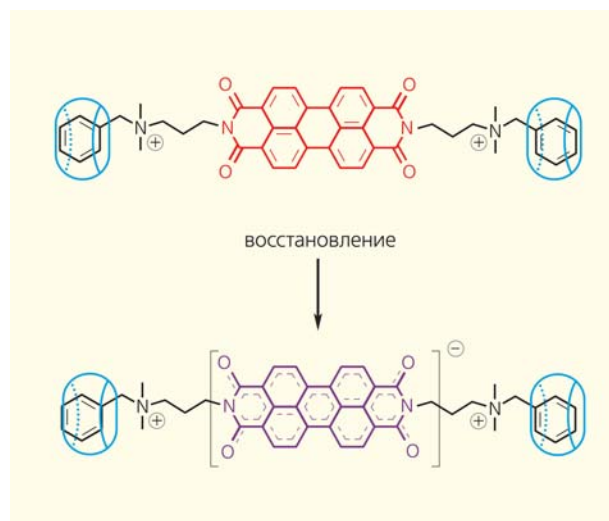
Новое киллерное вещество для факультативно-анаэробных бактерий

Чрезмерное применение в последние десятилетия антибиотиков вызвало устойчивость к ним болезнетворных микроорганизмов. Поэтому одна из важнейших задач современной медицины — поиск новых способов борьбы с патогенами. Один из подходов — фототермическая терапия, являющаяся развитием фотодинамической терапии.

Фототермическая терапия основана на использовании для нагревания нежелательных клеток электромагнитного излучения (чаще всего инфракрасного света), приводящего к их гибели, и этот метод применяют для лечения различных заболеваний, включая инфекционные. Специальные химические соединения (сенситизаторы) проникают в клетки бактерий и под действием света определенной длины волны преобразуют световую энергию в тепловую, нагревая бактериальные клетки до температуры более 50°C. При этом разрушаются (денатурируют) клеточные белки, и бактерии гибнут. Практическое применение подобных препаратов при лечении инфекционных заболеваний ограничено низкой специфичностью воздействия на микробное сообщество человека.

В статье, опубликованной в *Angewandte Chemie* — еженедельном журнале Немецкого химического общества, — Джан-Фей Су и Си Чжан из Университета Цинхуа в Пекине предложили применить для фототермической терапии при лечении от факультативно-анаэробных (способных расти как в присутствии молекулярного кислорода, так и без него) патогенных бактерий супрамолекулярный комплекс типа «гость—хозяин», состоящий из одной молекулы производного диимида перилена и двух — кукурбит[7]урилы*. Супрамолекулярный комплекс — это несколько молекул, самопроизвольно объединяющихся в устойчивое единое целое посредством межмолекулярных (нековалентных) взаимодействий. Хозяином (рецептором) обычно выступает большая органическая молекула с полостью в центре, а гостем — более простая молекула или ион. Установлено, что синтезированное авторами вещество, попадая в клетку факультативно-анаэробной бактерии, способно при его облучении ближним инфракрасным светом выделять тепло, убивающее эту бактерию. Интересно, что бактерии невольно способствуют собственной гибели, так как «активизируют» супрамолекулярный комплекс посредством химической реакции его

* *Angew. Chem. Int. Edn.* 2017; 56: 16239–16242. Doi:10.1002/anie.201708971



Реакция на препарат у аэробных (сенная палочка) и факультативно-анаэробных (кишечная палочка) бактерий при облучении светом с длиной волны 808 нм в течение 30 мин.

восстановления с образованием аниона. Ключевую реакцию осуществляют анаэробные дегидрогеназы — ферменты, которых у строго анаэробных и факультативно-анаэробных бактерий намного больше, чем у аэробных. Изменение заряда комплекса трансформирует его оптические свойства, и супрамолекулярный комплекс начинает поглощать инфракрасный свет (с длиной волны 808 нм) и излучать тепло, достаточное для разрушения белков бактерий.

Факультативно-анаэробные микроорганизмы кишечная палочка (*Escherichia coli*), энтерококк фекальный (*Enterococcus faecalis*), золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*) оказались чувствительными к новому веществу. Аэробные сенная палочка (*Bacillus subtilis*) и синегнойная палочка (*Pseudomonas aeruginosa*), напротив, устойчивы к его действию, так как эти бактерии неспособны восстанавливать супрамолекулярный комплекс.

Предполагаемое химическое соединение не токсично для клеток человека и, скорее всего, будет селективно воздействовать на микроорганизмы, встречающиеся в человеческом теле. Следовательно, есть надежда на то, что это вещество поможет усовершенствовать методы лечения от бактериальных инфекций.

Отмечу, что эксперимент проводился при большой концентрации нагреваемого вещества, однако в реальных условиях, т.е. при менее компактном расположении бактерий в организме человека, выделяющегося тепла может не хватить для их гибели. Если восстановление вещества микроорганизмами сопровождается активным его выделением из их клеток, может возникнуть неспецифический ожог окружающих тканей. Кроме того, степень селективности воздействия препарата (аэробные—анаэробные бактерии) слишком низка для того, чтобы говорить о селективном лечении от патогена.

© кандидат биологических наук **А.В.Якушев**
Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова (Москва, Россия)

Биохимия

Патология Тау-белка — новое связующее звено между болезнью Альцгеймера и диабетом 2-го типа

Эпидемиологические данные, показавшие тесную взаимосвязь болезни Альцгеймера и диабета 2-го типа (инсулиннезависимый диабет), в настоящее время находят многочисленные подтверждения на физиологическом и молекулярном уровнях.

Болезнь Альцгеймера — нейродегенеративное заболевание, характеризующееся медленно прогрессирующей деменцией и атрофией структур головного мозга. Диабет 2-го типа ассоциирован с ожирением и характеризуется повышенным уровнем сахара в крови (гипергликемией) и обус-

ловлен снижением чувствительности тканей к действию инсулина (инсулинорезистентностью). На начальной стадии заболевания нормальный уровень глюкозы в крови поддерживается за счет повышенной секреции инсулина β -клетками поджелудочной железы. Однако длительная гиперинсулинемия приводит к их истощению, и в итоге уровень гормона становится недостаточен для утилизации глюкозы, и пациент нуждается в инъекциях инсулина.

Хронические нарушения метаболизма глюкозы затрагивают многочисленные биологические процессы и приводят к развитию различных патологий, включая заболевания, связанные со снижением когнитивных способностей. Давно замечено, что диабет 2-го типа увеличивает риск развития болезни Альцгеймера почти в два раза, однако причинно-следственные связи между этими заболеваниями остаются неясны. Предположительно, решающую роль играет инсулинорезистентность. У пациентов с диабетом 2-го типа в клетках поджелудочной железы и в нейронах головного мозга при болезни Альцгеймера обнаружены агрегаты неправильно свернутых белков — β -амилоида, амилина (еще одного гормона поджелудочной железы, который вместе с инсулином регулирует уровень глюкозы в организме) и Тау-белка.

В норме Тау-белок стабилизирует микротрубочки и часто встречается в нейронах центральной нервной системы. При болезни Альцгеймера неправильно свернутый и гиперфосфорилированный Тау-белок образует фибриллярные клубки в нейронах, что приводит к разрушению цитоскелета клетки и, как следствие, нарушению внутриклеточного транспорта. Гиперфосфорилирование Тау-белка было отмечено у трансгенной модели мышей с комбинацией обеих патологий. Исследование линий мышей с нокаутом гена Тау-белка (TauKO) показало, что удаление этого гена приводит к инсулинорезистентности. Чтобы выяснить, влияет ли этот белок непосредственно на гомеостаз глюкозы в периферических органах и тканях, группа ученых из Канады и Бразилии изучила эндокринные функции поджелудочной железы, регулирующие метаболизм глюкозы у TauKO мышей.

С раннего возраста у мышей наблюдались изменения толерантности к глюкозе, гипергликемия и нарушение секреции инсулина в ответ на стимуляцию глюкозой. У взрослых животных дополнительно развивались ожирение, гиперинсулинемия, инсулинорезистентность, что в конечном счете приводило к диабету 2-го типа. Иммунофлуоресцентный анализ показал, что в поджелудочной железе Тау-белок специфически синтезируется в β -клетках, входящих в состав островков Лангерганса. Уровень внутриклеточного инсулина у TauKO мышей в островках Лангерганса оказался понижен, а проинсулина — повышен, что свидетельствовало о нарушении процессов биосинтеза и внутриклеточного транспорта ин-

сулина. Кроме того, повышенная выработка в печени ТауКО мышей глюкозо-6-фосфатазы (фермента, играющего ключевую роль в регулировании уровня глюкозы в крови) свидетельствовало об избыточном синтезе глюкозы, т.е. нарушении механизма регулирования ее синтеза в печени.

Интересно, что попытка восстановить нормальный фенотип путем экспрессии гена Тау-белка человека у ТауКО мышей не увенчалась успехом. Предположительно, это связано с различиями между мышинным и человеческим белком, несоответствием промотора и/или изоформы белка, использованных в генетической конструкции.

Работа выявила важную роль Тау-белка в регулировании функций β -клеток поджелудочной железы, в частности, в биосинтезе и секреции инсулина. Авторы предполагают, что гиперфосфорилирование Тау-белка, приводящее к его дисфункции, оказывает непосредственное влияние на гомеостаз глюкозы в целом.

Присутствие аналогичных белковых агрегатов в нейронах головного мозга и клетках поджелудочной железы позволяет причислить диабет 2-го типа к группе так называемых болезней неправильно свернутых белков, к которым относят болезни Альцгеймера, Паркинсона, Хантингтона и др. Пока неясно, можно ли считать белковые агрегаты следствием патологических изменений в панкреатической железе или они играют непосредственную роль в патогенезе диабета 2-го типа. Тем не менее уже сейчас очевидно, что нарушение свертываемости белков лежит в основе молекулярного механизма, связывающего нейродегенеративные заболевания и диабет 2-го типа. Полученные результаты позволяют открыть новое направление исследований и наметить новые мишени для терапевтического воздействия.

The FASEB Journal. 2018. Doi:10.1096/fj.201701352.

Ботаника. Генетика

Взаимодействие растений с окружающим миром

Растительная нейробиология (несмотря на отсутствие нейронных сетей, да и самих нейронов у растений, ученые используют именно этот термин) в последнее время все более активно развивается. Нейробиологи утверждают, что у растений есть слух, обоняние, а также возможность видеть и манипулировать другими растениями и даже животными, хоть и не в обычном для нас понимании этих процессов. Растения взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой с помощью мембранных белков. Однако лишь небольшая часть этих чувствительных белков изучалась с точки зрения классической генетики, и знаний о том, как они функционируют, было очень мало.

Теперь же международная команда исследователей из четырех стран (Австрии, Великобрита-

нии, Канады и США) создала первую карту сети взаимодействий для наиболее важного и большого класса этих чувствительных мембранных белков — богатых лейцином рецепторных киназ, или LRR-рецепторных киназ. Эти белки структурно похожи на толл-подобные рецепторы, которые играют ключевую роль во врожденном иммунитете млекопитающих, распознавая микроорганизмы и активируя клеточный иммунный ответ.

У растения *Arabidopsis thaliana* 225 различных LRR-рецепторных киназ, участвующих во взаимоотношениях растения с окружающим миром, в том числе в распознавании микроорганизмов, а также в процессах роста клеток и развития устьиц самого растения. Исследователи проверили 40 тыс. потенциальных взаимодействий внеклеточных структур LRR-рецепторных киназ и на основании более 550 положительных создали карту сети взаимодействий этих белков. На карте показано, что несколько ключевых белков действуют как узлы, важные для целостности всей сети. Кроме того, было обнаружено, что RR-рецепторные киназы с небольшими внеклеточными структурами (доменами) чаще взаимодействуют с другими киназами LRR-рецепторов, чем те, которые имеют большие домены. Так, удаление одного из таких белков, LRR-RK AT5G63710, получившего название APEX, вызывало серьезные проблемы в развитии растений и в их иммунных ответах, даже несмотр-



Резуховидка Таля (*Arabidopsis thaliana*).

Фото Г.Окатова

ря на то, что эти реакции контролируются рецепторными киназами в нескольких сетевых шагах от узла АРЕХ. Это говорит о значительной роли небольших рецепторных киназ в координации действий других рецепторов.

Новое понимание того, как взаимодействуют рецепторные киназы, может помочь исследователям модифицировать реакции сельскохозяйственных культур на разные негативные факторы — такие, как патогенные микроорганизмы, сильная жара, холод, засуха, засоление, наличие токсичных веществ.

Nature. 2018; 553: 342–346. Doi:10.1038/nature25184.

Палеонтология

Планирующий полет и эволюция слуха у мезозойских млекопитающих

За последние 20 лет изучение мезозойских млекопитающих переживает подлинный расцвет. Главная причина научного прорыва заключается в том, что с конца 1990-х годов в юрских и нижнемеловых отложениях Китая палеонтологи нашли множество практически целых скелетов (в том числе с отпечатками мягких тканей) представителей разных групп древних млекопитающих*. Их исследование позволило выяснить целый ряд интереснейших особенностей биологии этих животных.

Настоящей сенсацией стало открытие древесных планирующих форм с летательной перепонкой среди представителей двух групп мезозойских млекопитающих — эутриконодонтов и эухарамийид**. Известно 64 вида современных млекопитающих, способных к планирующему полету. Это белки-летяги из трибы Pteromyini (48 видов), населяющие Евразию и Северную Америку; шипохвостые летяги и малые шипохвосты из семейства Anomaluridae (шесть видов), живущие в Африке; шерстокрылы, или «летающие лемуры», из отряда Dermoptera (два вида) — обитатели Южной Азии, а также австралийские сумчатые: шесть видов из семейства Petau-

ridae и по одному виду из семейств Pseudocheiridae и Acrobatidae***. Как специализированные планеры интерпретируются более 80 ископаемых видов, но лишь несколько из них жили в мезозое, а именно в юрском периоде (164–159 млн лет назад).

Волатикотерий (*Volaticotherium antiquum*) из группы эутриконодонтов был мелким плотоядным зверьком с крупными клыками и острыми трехвершинными коренными зубами. Череп его достигал 3 см, а реконструируемая длина тела — около 30 см, причем почти две трети ее приходилось на необыкновенно длинный хвост. Основная летательная перепонка (плагипатагий) была натянута между передними и задними лапами, а еще одна (уропатагий) соединяла задние лапы и хвост. Вся летательная перепонка целиком очень велика по площади и напоминает таковую у шерстокрылов и крупных белок-летяг. Шерстяной покров на ней был плотным, тонким и ровным. Добычей волатикотерия могли быть любые мелкие животные, обитающие на деревьях, — прежде всего насекомые. Похожие на волатикотерия другие эутриконодонты (от которых известны только зубы) жили в Северной Африке и Южной Америке.

*** Jackson S.M., Thörning R.W. Gliding mammals. Taxonomy of living and extinct species. Washington, 2012.



Голотип (отпечаток и противоотпечаток) *Arboroharamiya allinhopsoni* из формации Тяоцзишань китайской провинции Хэбэй. Красными стрелками отмечены ребра, белыми — граница летательной перепонки (Han G. et al. A Jurassic gliding euharamiyidan mammal with an ear of five auditory bones. Nature. 2017; 551: 451–456. Doi:10.1038/nature24483. Extended Data Fig.2).

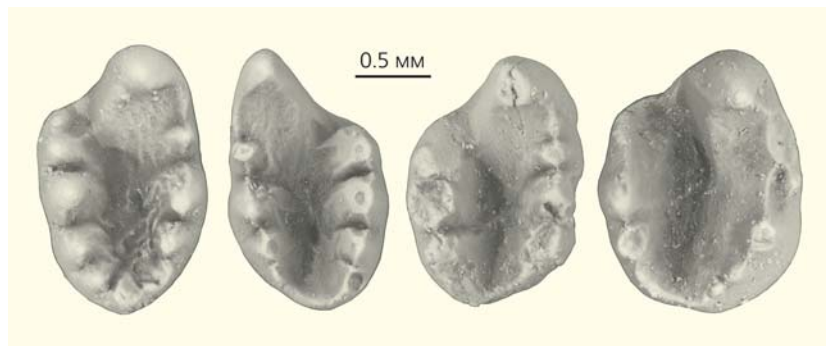
* Meng J. Mesozoic mammals of China: implications for phylogeny and early evolution of mammals. National Science Review. 2014; 1(4): 521–542.

** Han G., Mao F., Bi S., Wang Y., Meng J. A Jurassic gliding euharamiyidan mammal with an ear of five auditory bones. Nature. 2017; 551(7681): 451–456.



Реконструкция внешнего вида трех позднеюрских планирующих млекопитающих: арборохарамийи (вверху на стволе), волатикотерия (в полете) и майопатагии (внизу на ветке). Публикуется впервые.

Рисунок М.В.Синицы по эскизу А.В.Лопатина



Нижние коренные зубы синэлеутера из средней юры Красноярского края.

Фото А.О.Аверьянова

Арборохарамийя (*Arboroharamiya allinbopsoni*), майопатагий (*Maiopatagium furculiferum*), вилеволодон (*Vilevolodon diplomylos*) и сяньшоу (*Xianshou songae*) относятся к группе эухарамийид. Это были небольшие зверьки с многобугорчатыми зубами, занимавшие промежуточное филогенетическое положение между архаичными харамийидами позднего триаса — ранней юры и мультитуберкулятами юры—палеогена. Все перечисленные виды имели умеренной площади плагиопатагий, а также пропатагий (перепонку между шеей и передними конечностями) и уропатагий; летательная перепонка была покрыта длинными щетинковидными волосками. У них был длинный пушистый хвост, который использовался при маневрировании в полете. Эухарамийиды были семяядными формами — вероятно, они поедали семена и побеги папоротников и голосеменных. Длина тела вилеволодона была около 8 см (без хвоста), тогда как майопатагий достигал общей длины 23 см и массы 170 г. Клыков эти «маленькие планеры» не имели (лишь увеличенные резцы), но все-таки могли за себя постоять: судя по наличию специальных косточек в составе скелета задних конечностей, они были вооружены шпорами (возможно, ядовитыми).

Есть все основания предполагать, что для эухарамийид в целом была характерна способность к планирующему полету, и похоже, что скоро этот факт будет рассматриваться как тривиальный. Разумеется, наличие летательной перепонки невозможно обосновать в отношении форм, известных лишь по остаткам отдельных зубов и челюстей. Так, из среднеюрского местонахождения Березовский разрез в Красноярском крае (Россия) нами были описаны разрозненные зубы представителя группы эухарамийид — синэлеутера (*Sineleutherus issedomus*). Вполне вероятно, что синэлеу-

тер тоже мог обладать способностью к планирующему полету*.

Находка арборохарамийи в юрских отложениях Китая важна еще в одном аспекте — у нее сохранился полный набор косточек среднего уха. Судя по авторской интерпретации, помимо молоточка, наковальни и стремечка (типичных для млекопитающих) в него включались также угловая и хорошо развитая надугловая кости. Это означает, что эволюция косточек, обеспечивающих передачу звука, у аллотериев (к этой группе относятся харамийиды, эухарамийиды и мультитуберкуляты) шла независимо от других линий млекопитающих. В предковом состоянии, унаследованном от цинодонтов, будущие слуховые косточки (кроме стремечка, которое уже находилось внутри полости среднего уха) и угловая кость (которая позже станет барабанным кольцом) были вложены в специальный желобок на нижней челюсти. Вероятно, они были связаны с барабанной перепонкой и выполняли дополнительную функцию звукопроводения. Подобное строение данной области отмечено у морганукодонтов, докодонтов и некоторых других ранних групп, включая харамийид. В последующем слуховые косточки отделились от тела нижней челюсти и оказались подвешенными на окостенелом меккелевом хряще (такое наблюдается у эутриконодонтов и симметродонтов, предполагается для древнейших териевых). У всех современных млекопитающих (а также у мультитуберкулятов и поздних симметродонтов) слуховые косточки полностью отделены от нижней челюсти и располагаются в полости среднего уха. Последнее эволюционное событие (исчезновение связи слуховых косточек с нижней челюстью посредством меккелева хряща) recapитулируется в раннем онтогенезе у всех современных млекопитающих. Наличие «лишней» слуховой косточки — надугловой — свидетельствует о достаточно раннем ответвлении аллотериев от общего ствола маммалиаморф (млекопитающих и предковых для них цинодонтов).

© академик РАН,
доктор биологических наук
А.В.Лопатин
Палеонтологический институт
имени А.А.Борисяка РАН
(Москва, Россия)

* Аверьянов А.О., Лопатин А.В., Краснолуцкий С.А. Первая находка харамийид (Mammalia, Allotheria) в юрских отложениях России. Доклады Академии наук. 2011; 437(3): 422–425.

Организация науки

Инструменты воплощения научных идей

Динамичное развитие так называемых наук о жизни (life science) — фундаментальных исследований, направленных на понимание и использование биологических систем, — предполагает поиск новых подходов их финансовой и организационной поддержки. Формируются различные горизонтальные связи между университетами, академическими институтами, вузами, высокотехнологичными фармацевтическими и биотехнологическими компаниями, производителями медицинского и диагностического оборудования. Современную практику российско-германского сотрудничества в данной сфере 21 февраля 2018 г. обсудили около 200 участников научной дискуссии, организованной в Москве посольством Германии, Германским домом науки и инноваций (DWIH), Объединением имени Гельмгольца в сотрудничестве с компаниями Bayer и Merck. С российской стороны одним из ведущих докладчиков стал заместитель директора Департамента науки и технологий Министерства образования и науки РФ М.Ш.Минцаев.

О формах взаимодействия крупных научных коллективов, проводящих востребованные на практике исследования, рассказал доктор химических наук А.П.Синицын из Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, объединившего Институт биохимии имени А.Н.Баха, Институт микробио-



К участию в Германо-российской научной дискуссии «Науки о жизни — мост между наукой и бизнесом» были приглашены специалисты в области биологии, химии, медицины.



А.П.Синицын.



Немецкие научные организации и фонды представили свои программы поддержки молодых исследователей.

логии имени С.Н.Виноградского и Центр «Биоинженерия». Ученый подчеркнул, что при организации научных грантов задачей первостепенной важности становится поиск партнера для проведения совместных исследований. Германский дом науки и инноваций совместно с Министерством образования и науки РФ помогают найти контакты с зарубежными специалистами, имеющими близкие научные интересы. За восемь лет (начиная с 2010 г.) Синицын, его российские и немецкие коллеги успешно реализовали пять крупных проектов, в том числе разработали технологии микробиологической переработки лигноцеллюлозных источников в полезные продукты — сахара, мономеры, органические кислоты. По каждой из тем были подготовлены научные публикации,

состоялись защиты диссертаций. Итогом грантов стали патенты на промышленные биотехнологии с российской и немецкой стороны, а также совместные патенты. Для ученых это означает, что найденные ими высокоактивные штаммы микроорганизмов будут востребованы практикой, а значит, есть перспективы для продолжения научного поиска.

Небольшие научные коллективы, начинающие исследователи могут воспользоваться программами для стартапов, организуемыми немецкими компаниями Bayer и Merck. Это — особый инструмент поиска талантливых молодых ученых, поддержки инновационных научных исследований и, одновременно, отбора перспективных идей в области биотехнологии, фармацевтики и цифровой медицины для последующего их воплощения.

В 2016–2018 гг. компания Bayer и Фонд развития интернет-инициатив провели в Москве конкурсы для российских стартапов в области цифровой медицины и цифрового сельского хозяйства в рамках долгосрочной программы Grants4Apps, предполагающей трехмесячную работу в офисе Bayer в Москве, доступ к оборудованию, бесплатную экспертизу от ведущих специалистов, консультации, тренинги. В конкурсе могут участвовать и российские студенты, и опытные исследователи. Самые перспективные стартап-команды могут подготовиться к отбору в глобальный акселератор Grants4Apps в штаб-квартире фармацевтического подразделения компании Bayer в Берлине.

Компания Bayer начиная с 1991 г. ищет в России интересные проекты по созданию новых молекул для препаратов, предназначенных для лечения заболеваний в области онкологии, кардиологии, офтальмологии, и оказывает разработчикам экспертную поддержку в рамках программы «Ко-Лаборатор®» — так называемого инновационного научно-исследовательского инкубатора.

Между тем «урожай научных идей» неминуемо иссякнет, если не инвестировать в высшее образование. Международная биотехнологическая компания BIOCAD с 2017 г. выращивает кадры для своих научных лабораторий: в Пущинском государственном естественно-научном институте открылся факультет молекулярной и клеточной биотехнологии на базе BIOCAD. Обучение проводится по специальной магистерской программе, и половину времени студенты проводят в лабораториях, на производственных площадках, овладевая знаниями на стыке науки и технологий.

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

Астрономия

М.Я.Маров, И.И.Шевченко. ЭКЗОПЛАНЕТЫ. ЭКЗОПЛАНЕТОЛОГИЯ. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. 138 с.

Звезды наблюдали и изучали на разных стадиях их эволюции, и астрономы накопили по ним огромный статистический материал. Но до открытия в 1990-х годах планет у других звезд была известна лишь одна — Солнечная — планетная система. Это налагало серьезные ограничения на создание теории происхождения и эволюции таких систем. Благодаря появлению мощных наблюдательных средств ситуация начала радикально меняться. По мысли авторов, данная книга — это введение в новый раздел современной астрофизики — экзопланетологию. В издании дан краткий обзор современных представлений о структуре, динамике и формировании планетных систем у других звезд, а также о месте нашей системы среди множества других. Ближайшая к нам внесолнечная планета, входящая в систему Проксимы Центавра, отстоит от Солнца на 4.24 световых года, а наиболее удаленные из числа известных (экзопланеты SWEEPS-04 и -11) — на 27 тыс. 710 световых лет. Экзопланеты — это новый и широчайший класс объектов для изучения звездно-планетной космогонии и космохимии. Авторы рассматривают проблемы формирования планетных систем и их динамической устойчивости, анализируют такие важнейшие явления, определяющие динамическую структуру подобных систем, как резонансы и миграция. Наиболее подробно рассмотрены планеты земного типа, расположенные в орбитальных зонах, где возможно существование условий, благоприятных для жизни.



История науки

С.Е.Резник. ЭТА КОРОТКАЯ ЖИЗНЬ: НИКОЛАЙ ВАВИЛОВ И ЕГО ВРЕМЯ. М.: Захаров, 2017. 1056 с.



100 лет назад на планете жило 2 млрд человек и больше половины из них страдало от недостатка еды. Сегодня население Земли превышает 7 млрд, и оно продолжает расти, но угроза голода возникает лишь локально: из-за стихийных бедствий или военных действий, не позволяющих наладить снабжение. Можно даже сказать, что люди стали чаще страдать от переизбытка, чем от недоедания. При этом в сельском хозяйстве занята лишь малая часть населения — в развитых странах не более 2%. Среди сотен и тысяч ученых, которым люди обязаны таким чудесным достижением, одно из первых мест занимает знаменитый ботаник, географ, генетик и селекционер Н.И.Вавилов, погибший 26 января 1943 г. в Саратове в тюрьме от голода. Первая книга С.Е.Резника о Вавиллове была выпущена в 1968 г. издательством «Молодая гвардия» (в серии «Жизнь замечательных людей») в сильно урезанном цензурой виде. Новая книга — это наиболее полное и многоплановое повествование о короткой (всего 55 лет) жизни выдающегося ученого. Действие развивается на фоне турбулентных событий яростной эпохи. Вавилов показан в тесном взаимодействии с коллегами, друзьями и недругами, с государственными и политическими деятелями СССР и других стран. Автор воссоздает живые характеры многих лиц, прослеживает их неповторимые судьбы, указывая, что книга его документальная, в ней нет ни грамма вымысла.

Информация для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Статьи рецензируются и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию материалы можно

прислать по электронной почте. Текст статьи, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате doc, txt или rtf. Иллюстрации предоставляются отдельными файлами. Принимаются векторные и растровые изображения в форматах EPS или TIFF (без LZW-компрессии). Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (Bitmap) — не менее 800 dpi. Векторные изображения должны быть выполнены в программе CorelDRAW или Adobe Illustrator.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала. См.: www.ras.ru/publishing/nature.aspx; www.naukaran.com/zhurnali/katalog/priroda/

ПРИРОДА

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

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

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Перевод содержания
Т.А.КУЗНЕЦОВА

Графика, верстка:
С.В.УСКОВ

Сдано в набор 29.01.2018 г.
Подписано к печати 30.03.2018 г.
Дата выхода в свет 26.04.2018 г.
Формат 60×88 1/8
Цифровая печать
Усл. печ. л. 11,16
Уч. изд. л. 12,2
Бум. л. 12
Тираж 24 экз.
Заказ 165а
Бесплатно

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

Издатель: Российская академия наук
Исполнитель по контракту № 27-ЭА/17 ООО «Издательство РИПОЛ МЕДИА»
Оригинал-макет подготовлен ФГУП «Издательство «Наука»
Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука» по заказу ООО «Издательство РИПОЛ МЕДИА»

16+

www.ras.ru/publishing/nature.aspx; www.naukaran.com/zhurnali/katalog/priroda/
При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.

в следующем номере



Цветковые, или покрытосеменные, загадочным образом возникшие примерно 140 млн лет назад — в первой половине мелового периода, сегодня составляют почти 80% видового разнообразия растений нашей планеты. История их эволюции, в особенности ранние этапы, вызывает огромный научный интерес и вместе с тем полна трудноразрешимых загадок. Еще Ч.Дарвин назвал происхождение этой группы «отвратительной тайной». Очередной попыткой приблизиться к ее объяснению стала реконструкция цветка общего предка всех ныне существующих покрытосеменных растений, проведенная в рамках международного научного проекта eFLOWER. Его участники обратились к синтезу данных морфологического и молекулярно-филогенетического анализа у почти 800 видов, выбранных для исследования. Авторы работы исходили из того, что, соединив сведения о морфологических признаках ныне живущих растений с молекулярными данными об их родственных взаимоотношениях, можно воссоздать морфологию первого цветка. Публикация подробного отчета о проведенных изысканиях вызвала серьезную дискуссию на страницах научных журналов. Заведующий кафедрой высших растений биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова Дмитрий Дмитриевич Соколов и его коллеги первыми провели критический анализ материалов, представленных участниками проекта eFLOWER, и выявили слабые стороны модели древнейшего цветка, связанные с особенностями исходных данных.

ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОРФОЛОГИЯ ЦВЕТКА И ПРОБЛЕМА БОЛЬШИХ ДАННЫХ
Интервью с **Д.Д.Соколовым**

