

ПРИРОДА



6 2019

ВИДИМ ДНО!

В июле 2018 года исследование океанических сообществ донных животных с применением необитаемого подводного аппарата помогло российским ученым обнаружить неизвестные метановые поля в Беринговом море.

С.16



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.Шibaев**, **О.И.Шутова**, кандидат биологических наук **А.О.Якименко**

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Осьминог (*Moosoctopus profundorum*)
и морская лилия (*Ptilocrinus pinnatus*). Берингово море, глубина 2486 м.
См в номере: **С.В.Галкин**, **Г.М.Виноградов**. *Видим дно!*

Фотография предоставлена
Национальным научным центром морской биологии ДВО РАН
© ННЦМБ ДВО РАН

ИЗДАТЕЛЬСТВО

НАУКА

NAUKA

PUBLISHERS

Издательство “Наука” оказывает услуги:

- СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА
 - редактирование
 - вёрстка
 - изготовление рисунков
- ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
- ВЕСЬ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ
- РАСПРОСТРАНЕНИЕ В РОЗНИЧНОЙ СЕТИ “АКАДЕМКНИГА”

**Высокопрофессиональные специалисты “Науки”
готовы к сотрудничеству**

naukapublishers.ru

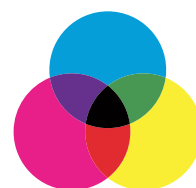
Тел.: +7 (495) 276-7735

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА PUBLISHERS

Типографии ФГУП "Издательство "Наука"
www.tnauka.ru

- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



- ◆ Удобное месторасположение
- ◆ Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва

Санкт-Петербург

Новосибирск

В НОМЕРЕ:

3 А.М.Сагалевиц

Эра романтики глубоководных погружений К 40-летию лаборатории научной эксплуатации глубоководных обитаемых аппаратов

В XXI в. исследования глубин океана уже немыслимы без визуальных наблюдений с помощью автономных глубоководных аппаратов. Во время их погружений в XX в. обнаружены гидротермальные поля Атлантического и Тихого океанов, сделаны другие важные открытия. В нашей стране ключевая роль в развитии этих изысканий принадлежит Институту океанологии имени П.П.Ширшова, где в 1979 г. была создана особая лаборатория с уникальным инженерно-исследовательским коллективом и глубоководными обитаемыми аппаратами «Пайсис» и «Мир».

16 С.Г.Галкин, Г.М.Виноградов

Видим дно!

В современных научных рейсах уникальные образцы донной фауны и фотоматериалы во многих случаях добывают необитаемые дистанционно управляемые подводные аппараты. Эта техника позволяет проводить практически те же операции, которые ранее мог выполнить только квалифицированный пилот обитаемого аппарата.

23 ОТКРЫТЫ САМЫЕ СЕВЕРНЫЕ МЕТАНОВЫЕ ПОЛЯ ПАЦИФИКИ

Летом 2018 г. во время 82-го рейса научно-исследовательского судна «Академик М.А.Лаврентьев», организованного Национальным научным центром морской биологии имени А.В.Жирмунского Дальневосточного отделения РАН, на материковом склоне Берингова моря впервые обнаружены обширный район выходов метана и специфические сообщества животных, которые служат маркерами подобных биотопов. Экспедицией собраны уникальные данные, которые важны для разведки нефтегазовых залежей и для разработки принципов рационального природопользования.

24 Е.М.Крылова, С.В.Галкин, В.В.Мордухович,
В.А.Денисов, А.Н.Малютин, П.Е.Михайлик,
Н.С.Полоник, Н.П.Санамян, В.А.Шилов,
А.В.Адрианов

Новый регион восстановительных сообществ Мирового океана

30 Е.М.Крылова, Е.В.Колпаков

Живые индикаторы метановых выходов и гидротерм

36 Н.С.Полоник

Источники метана на Корякском склоне Берингова моря

44 Э.М.Галимов

Оледенения в истории Земли, биосфера и низкая светимость Солнца

В геологической истории Земли случались периоды оледенений. Иногда они носили катастрофический характер, приводя к массовым вымираниям отдельных видов, но никакой ясной закономерности во времени их наступления не просматривалось.

53 А.В.Лопатин

Затерянный мир Тавриды: древнейшая ископаемая пещерная фауна в Крыму

В июне 2018 г. в центральной части Крыма в ходе строительства федеральной автомобильной трассы «Таврида» (Симферополь—Керчь) была вскрыта карстовая пещера Таврида. Изучение комплекса ископаемых остатков позвоночных из этой пещеры позволило установить его приблизительный возраст — 1.5–1.8 млн лет. Это самая древняя ископаемая пещерная фауна в Крыму и в России в целом.

62 О.В.Степаньян

Филлофорное поле Зернова: к 110-летию уникального открытия в Черном море

Гигантское скопление ценной красной водоросли филлофоры, обнаруженное в Черном море в 1908 г., к настоящему времени уменьшилось в тысячу раз. Почему так произошло? Есть ли шансы сохранить и восстановить этот биологический объект?

71 Е.Н.Черных

Культуры *Ното* в оценках мироздания и архетипы ментальности

Продолжение. Начало в №5

79 ВРЕМЕНА И ЛЮДИ

Н.В.Гончаренко

Возвращение имени: зоолог Борис Сукачёв

85 НОВОСТИ НАУКИ

Грибы стали старше? Т.А.Кузнецова (**85**). **Тщательное пережевывание пищи как фактор эволюции млекопитающих.** А.В.Лопатин (**86**). **Новый метод для определения пола древних людей.** Е.В.Сударикова (**89**).

91 РЕЦЕНЗИИ

Н.В.Маркина

О драконах, оборотнях и животных- экстрасенсах с точки зрения науки

(на книгу: О.Арнольд. Люди и звери: мифы и реальность)

94 НОВЫЕ КНИГИ

CONTENTS:

3 A.M.Sagalevich

Deep-Sea Romance Era To the 40th Anniversary of the Deep Sea Manned Submersibles Laboratory

In the XXI century the studies of the depths of the ocean are unthinkable without visual observations using autonomous deep submergence vehicles. In the XX century the discoveries of hydrothermal fields of the Atlantic and Pacific oceans and other important findings were made during their dives. The enormous contribution of Russian specialists to this work is worldwide appreciated. And the era of deep-sea vehicles began in Russia in 1979 at the Shirshov Institute of Oceanology, RAS, where a unique engineering and research team works on the manned submergence vehicles "Pisces" and "Mir".

16 S.V.Galkin, G.M.Vinogradov

We See the Bottom!

In modern scientific voyages, unique samples of bottom fauna and photographic materials in many cases are obtained by unmanned remotely operated underwater vehicles. This technique allows to carry out practically the same operations that previously could only be performed by a qualified pilot of a manned deep submergence vehicle.

23 THE DISCOVERY OF THE MOST NORTHERN METHANE FIELDS OF THE PACIFIC

In the summer of 2018, during the 82nd cruise of the research vessel "Akademik M.A.Lavrentyev", conducted by the Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, a large area with gas manifestations, related to the cold methane seeps was found on the continental slope of the Bering Sea. They were accompanied by specific communities of animals that develop only under reducing conditions, serving as markers of such biotopes. These areas are promising for the exploration of gas hydrates and oil and gas deposits and are of interest to resource companies.

24 E.M.Krylova, S.V.Galkin, V.V.Mordukhovich,
V.A.Denisov, A.N.Malyutin, P.E.Mikhailik,
N.S.Polonik, N.P.Sanamyran, V.A.Shilov,
A.V.Adrianov

A New Region of Restorative Communities of the World Ocean

30 E.M.Krylova, E.V.Kolpakov

Live Indicators of the Deep-Sea Hydrotherm Vents and Methane Seepage

36 N.S.Polonik

Methane Sources at the Continental Slope of the Bering Sea

44 E.M.Galimov

Glaciations in the History of the Earth. Biosphere. Low Luminosity of the Sun

From time to time in the geological history of the Earth there were periods of glaciation. Sometimes they were catastrophic, leading to mass extinctions of some species. Although no clear time-patterns of their occurrence was determined.

53 A.V.Lopatin

The Lost World of Taurida: the Earliest Fossil Cave Fauna in Crimea

In June 2018 in the central part of the Crimea during the construction of the federal highway Taurida (Simferopol-Kerch) the karst cave Taurida was discovered. The study of the complex of vertebrate fossils from this cave made it possible to determine its approximate age of 1.5–1.8 Ma. This is the oldest fossil cave fauna in the Crimea and in Russia.

62 O.V.Stepanyan

Zernov's Phyllophora Field: 110 Years of the Unique Discovery in the Black Sea

The giant cluster of valuable red alga Phyllophora, discovered in the Black Sea in 1908, has now decreased in a thousand times. Why did it happen? Do we have chances to preserve and restore this unique biological object?

71 E.N.Chernykh

Homo Cultures in the Estimates of the Universe and the Archetypes of Mentality

Continuation

79 TIMES AND PEOPLE

N.V.Goncharenko

Rescuing Name from Oblivion: Zoologist Boris Sukachev

85 SCIENCE NEWS

Fungi Became Older? T.A.Kuznetsova (85). **Fine Chewing as an Evolution Factor in Mammals.** A.V.Lopatin (86). **A New Method for Determining the Sex of Ancient People.** E.V.Sudarikova (89).

91 BOOK REVIEWS

N.V.Markina

About Dragons, Werewolves, and Paranormalist Animals from the Scientific Point of View

(the book: O.Arnold. People and Animals: Myths and Reality)

94 NEW BOOKS

Эра романтики глубоководных погружений

К 40-летию лаборатории научной эксплуатации глубоководных обитаемых аппаратов

доктор технических наук А.М.Сагалеви́ч

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

e-mail: sagalev1@yandex.ru

Основание в Институте океанологии имени П.П.Ширшова лаборатории научной эксплуатации глубоководных обитаемых аппаратов в 1979 г. ознаменовало появление нового направления исследований океана. В статье бессменного руководителя лаборатории, всемирно известного пилота глубоководных аппаратов, доктора технических наук А.М.Сагалеви́ча рассказано об основных этапах ее становления и развития, об уникальном инженерно-исследовательском коллективе. Автор пишет и об инициаторах создания глубоководных обитаемых аппаратов — людях, благодаря которым стала возможна огромная работа, приумножившая славу отечественной океанологии. Ряд эпизодов, описанных в статье, освещен также в книге А.М.Сагалеви́ча «Романтическая океанология» (2018).

Ключевые слова: глубоководные обитаемые аппараты, ГОА «Мир», ПОА «Пайсис», лаборатория научной эксплуатации глубоководных обитаемых аппаратов Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН.

Днем рождения глубоководных обитаемых аппаратов (ГОА) по праву считается 26 октября 1948 г., когда выдающийся швейцарский изобретатель Огюст Пикар и биолог Теодор Моно на батискафе FRNS-2 впервые в истории совершили погружение на глубину 1500 м в водах Атлантики. Плаву́честь сконструированному О.Пикаром аппарату придавала легкая жидкость — бензин, наполнявший огромный поплавок. Подобный прием используется при полете стратостата: подъемная сила создается благодаря закачанному в воздушный шар легкому газу. Долгое время это остроумное инженерное решение глубоководного аппарата оставалось единственным. В 1960 г. швейцарский ученый Жак Пикар и американский офицер Дон Уолш на батискафе «Триест» установили абсолютный рекорд погружения в Марианском желобе (10916 м), побитый лишь в мае 2019 г. американским исследователем Виктором Весково, который достиг глубины 10927 м на ГОА «Тритон» — аппарате нового поколения, пришедшем на смену батискафам. Но обо всем по порядку.

В 1963 г. недалеко от Флориды в Атлантическом океане на глубине 2800 м утонула атомная подводная лодка ВМС США «Трешер» со всем экипажем, а в 1968 г. та же участь постигла подводную лодку «Скорпион». После гибели «Трешера» выяснилось, что искать лодку и спуститься

к ней для обследования может только батискаф «Триест», но его огромные габариты и технические возможности не позволяли обеспечить работы в необходимом объеме. Этот фактор стимулировал довольно бурное развитие строительства подводных аппаратов нового поколения, малогабаритных, легких и маневренных. В данном случае плаву́честь обеспечивала уже не легкая жидкость, а твердый плавучий материал синтактик, изобретенный в США в начале 1960-х годов. Синтактик представляет собой композит из стеклянных микросфер и эпоксидной смолы, спрессованных в вакууме. В течение 10 лет в США было построено около 100 обитаемых аппаратов, различающихся предельной глубиной погружения [1]. Но за это время интерес к ним военных заметно угас и необходимо было искать для ГОА иное применение. Большинство из них ждали своего часа на берегу. И постепенно некоторые аппараты начали использовать для проведения научных исследований.

Изучение океанских глубин требует новых технологий

Ведущие научные организации мира приобрели либо специально построили обитаемые аппараты для изучения океана. Так, в Вудсхольском океанографическом институте появился «Алвин» (в 1964 г. предельная глубина погружения составляла 2000 м,

с 1973 г. — 4000 м, а с 2015 г. — 6500 м), во французском IFREMER (Научно-исследовательском институте освоения океана) — «Сьяна» (глубина погружения до 3000 м), в японском ДЖАМСТЕКЕ (Японском агентстве морземледведческой науки и техники) — «Шинкай-2000». В конце 60-х годов XX в. план приобретения обитаемого аппарата созрел и в Институте океанологии имени П.П.Ширшова АН СССР (ныне РАН).

Изначально эта идея зародилась у директора института, члена-корреспондента АН СССР Андрея Сергеевича Мони́на после общения со знаменитым исследователем Мирового океана Жаком Ивом Кусто. Мысль о приобретении аппарата за рубежом была абсолютно правильной, так как в этом случае мы получали доступ к развитым западным подводным технологиям, а также получали современный ГОА в кратчайшие сроки, определяемые сроком действия контракта с зарубежной фирмой. Однако процесс поиска фирмы-поставщика и создания аппаратов оказался довольно сложным, ибо существовало эмбарго на поставку в страны социалистического лагеря подводного оборудования для глубин свыше 1000 м. Этап преодоления преград, создававшихся американцами, а также история строительства и поставки аппаратов в нашу страну подробно описаны мною в книгах «Глубина» и «Романтическая океанология». Здесь лишь отмечу, что результатом этой, почти шестилетней, истории стало приобретение двух ГОА — «Пайсис VII» и «Пайсис XI» (рабочая глубина 2000 м). Аппараты строила фирма «НУСО»

в Ванкувере, где автор этих строк работал в течение двух лет (1974–1976). В 1976 г. оба «Пайсиса» оказались в Южном отделении ИО РАН, и началось освоение глубин сначала Черного моря, а затем Байкала на новом техническом уровне. В 1978 г. мы вышли с «Пайсисами» в Тихий океан. Во время пионерных погружений пришлось столкнуться и с первыми нештатными ситуациями, но их преодоление только способствовало приобретению опыта, сплачивало коллектив подводников. Думаю, читателю будет небезынтересен один из таких случаев, происшедших на Байкале.

Первое наше погружение на глубину более 1000 м состоялось 12 августа 1977 г. Экипаж аппарата «Пайсис XI» — пилоты А.М. Сагалевич, А.М. Подражанский, и руководитель водолазной группы Лимнологического института СО АН СССР Н.С. Резников. Закрыли люк, спустили аппарат на воду, отбуксировали в точку погружения. Открыли клапаны вентиляции, вода заполнила цистерны главного балласта — пластиковые емкости в верхней части ГОА. Затем приняли воду в прочные балластные сферы и ушли с поверхности. Подошли к глубине 1000 м и сообщили на поверхность: «Глубина тысяча!» В ответ прозвучало многоголосое «ура». И сразу, как по мановению волшебной палочки, через один из кабельных вводов в прочную сферу над левым иллюминатором брызнула струйка воды. Конечно, сразу сигнализировали на поверхность, затем включили насос высокого давления, откачивающий водяной балласт из балластных сфер. Решили измерить, насколько быстро вода поступает внутрь. Николай

Резников быстро выпил бутылку пепси-колы и подставил ее под струю. Скорость поступления воды оказалась небольшой. По мере откачки воды аппарат ускорялся. Подражанский с грустью спросил меня: «Что будем делать?» Я ответил, что после устранения неисправности завтра пойдем снова в том же составе. На следующий день погружение прошло нормально, без проблем.

Эта история имеет интересное продолжение. Во-первых, руководство компании «Пепси-Кола» впоследствии прислало благодарственное письмо за рекламу фирмы как спасителя человеческих жизней. А в 1980 г., когда мы были на конференции «Ocean's-80» в Вашингтоне, ко мне подошел представитель «Пепси-Колы» и подвел к новой машине «Форд-мустанг» со слова-



Испытания аппарата «Пайсис XI» в заливе Джарвис в Ванкувере.

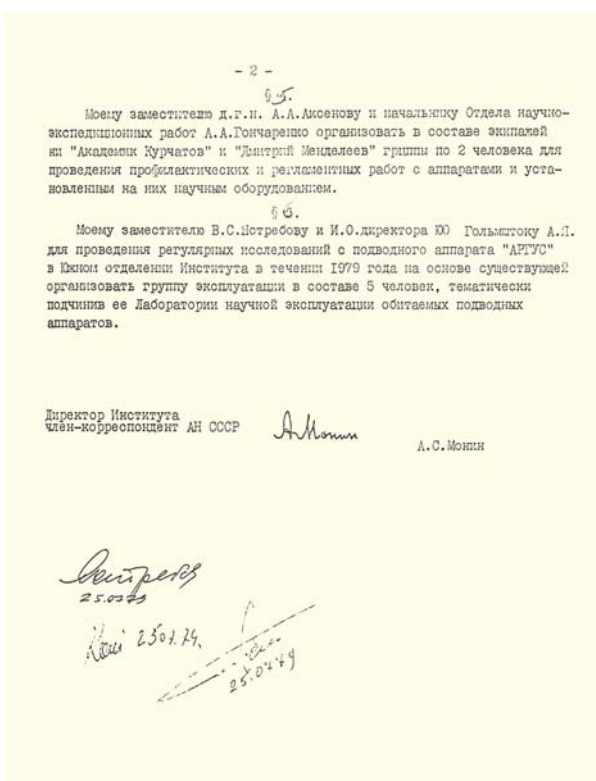
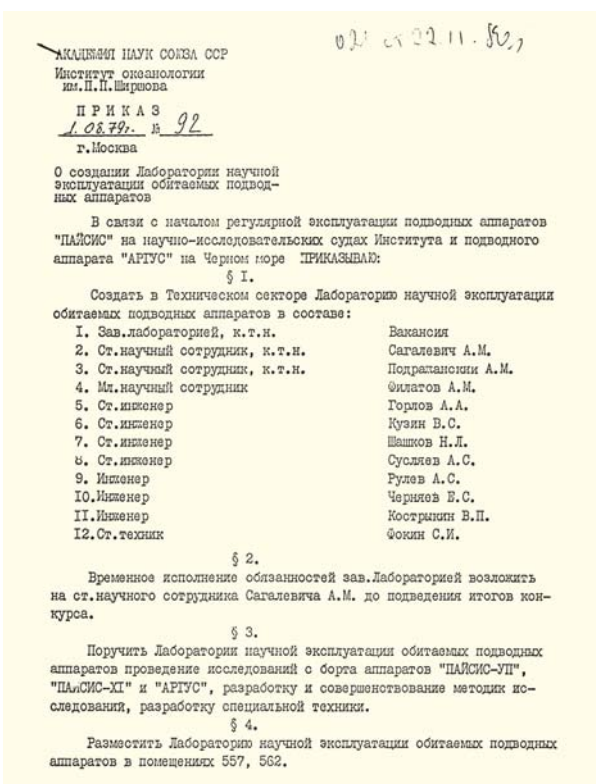
Фотографии предоставлены автором

ми: «Это вам подарок фирмы за рекламу гуманизма нашего предприятия, ведь бутылка пепси-колы практически спасла жизни подводников». Разумеется, я отказался от щедрого подарка.

Экспедиция на Байкал в 1977 г. имела большое значение как в плане получения навыков пилотирования подводниками, так и с точки зрения формирования подводной команды. Западный склон Байкала имеет сложное геологическое строение, похожее по своей структуре на океанические рифтовые зоны. Он изобилует вертикальными стенками, нависающими карнизами, тектоническими трещинами различной ширины и т.д. Поэтому тренировка в таких условиях позволила пилотам «Пайсисов» приобрести опыт, который позже очень помог во время работы в океанических рифтовых зонах и на затонувших кораблях. 43 погружения, сделанные на Байкале, дали возможность определить костяк подводной команды, выделив командиров аппаратов и бортинженеров. В качестве командиров утвердились А.М.Подражанский, В.С.Кузин, А.А.Горлов и А.М.Сагалеви́ч. Наиболее перспективными борт-инженерами были Е.С.Черняев, А.А.Рулев, С.И.Фокин. Разумеется, дальнейшая жизнь внесла свои коррективы, но первые шаги были именно такими. И этот состав подводников начал проводить экспедиции с аппаратами в океане.

А.С.Монин организует лабораторию научной эксплуатации ГОА

В 1978–1979 гг. были проведены экспедиции в Тихий и Индийский океаны. В Тиморском море в 1979 г. совершено погружение на 1730 м — рекордное для аппаратов серии «Пайсис» в то время. В этом погружении мы провели уникальные измерения пульсации гидрофизических параметров и опубликовали результаты в ряде статей. Состоялись работы в нефтеносных районах Индийского океана, геологические исследования в Тихом и Индийском океанах. Работы с «Пайсисами» набирали обороты, приносили интересные данные. В середине 1979 г. директор ИО РАН А.С.Монин впервые озвучил идею организации новой лаборатории. А 1 августа 1979 г. был подписан приказ об организации лаборатории научной эксплуатации подводных обитаемых аппаратов в составе 10 человек. Ее заведующим назначили автора этих строк. Я очень радовался тому, что удалось включить в наш коллектив одного из старейших сотрудников института — Анатолия Сергеевича Суслеева, механика высшей квалификации. Хорошим приобретением был и выпускник Московского физтеха Н.Л.Шашков, который в дальнейшем сыграл ключевую роль в автоматизации процессов измерений с помощью датчиков, установленных на аппаратах, а также в совершенствовании их системы навигации.



Приказ об организации лаборатории научной эксплуатации подводных обитаемых аппаратов.

Ключевой для вновь созданной лаборатории стала экспедиция в Красное море, которую возглавил директор Института океанологии А.С.Монин. Базовым судном было НИС «Академик Курчатов»

с «Пайсисом XI» на борту. В экспедиции участвовало также НИС «Профессор Штокман», готовившее полигон для погружений, и НИС «Акванавт», проводившее геофизические исследования. Впервые экспедицию организовали так, что «Пайсис XI» служил основным техническим средством исследований: вся ее программа базировалась на погружениях ГОА. Данные измерений и пробоотбора с борта судов должны были дополнять результаты, получаемые с помощью аппарата. Но очень часто они помогали определить места погружения «Пайсиса XI». Мы сделали 30 погружений. Внедрили и отработали методику полигонного метода исследований с применением донных гидроакустических маяков, обеспечивавших точную навигационную привязку погружений. Это позволило довольно точно определять подводные маршруты «Пайсиса XI», привязывая к рельефу основные операции, которые проводили пилоты (отбор проб, измерения, фотографирование, видеосъемку и т.д.). Методика, отшлифованная в Красном море, стала стандартной при проведении исследований в океане с помощью «Пайсисов», а позднее и ГОА «Мир-1 и -2». Основные результаты этой экспедиции описаны во многих статьях, а также в книге «Атлас подводных фотографий дна Красного моря». Здесь кратко опишу лишь погружение в донную впадину Атлантик, заполненную плотным горячим рассолом [2].

В горячие рассолы никто никогда не погружался, и было непонятно, что нас ждет. Монин заявил категорично: «В Атлантик пойду сам, вторым пилотом бери кого хочешь». Верхняя граница рассола в Атлантике располагается на глубине 2000 м, заглянуть за этот рубеж мечтал Подражанский, и мы пошли в погружение втроем. При приближении к отметке 2000 м на экране локатора высветилась четкая отражающая граница («Дно!» — предположил Монин), однако малопомалу она становилась все более размазанной, мутнела вода за иллюминатором. На экране системы сбора данных отобразился рост температуры: уже не 21.2°C, стабильно державшиеся в толще воды, а 27°C. Я не предпринимал никаких действий, тем не менее движение аппарата замедлилось и, наконец, ГОА остановился. А ведь дна нет! Я слегка тронул ручки регулировки скорости оборотов двигателей, и вдруг в иллюминаторе мы увидели небольшие волны. «Сидим на поверхности рассола», — констатировал Монин. «А давайте нырнем в рассол!», — предложил я, развернув двигатели вертикально, и включил максимальные обороты. Аппарат начал медленно погружаться в неизвестность, на экране медленно росли значения глубины и температуры. На уровне 2030 м (37.5°C) ГОА остановился, хотя двигатели продолжали вращаться на максимальных

оборотах. Но стоило их выключить, как аппарат быстро выскочил из рассола. Экспериментировать повторно не стали, тем более что мы впервые опустили на глубину, которая превышала рабочие показатели «Пайсиса XI» и была рекордной для всей серии ГОА «Пайсис».

ГОА «Мир» — новый этап отечественных глубоководных исследований

После Красного моря состоялась серия погружений в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах. Институт океанологии вошел в лидирующую группу научных организаций мира по проведению глубоководных исследований океана с помощью обитаемых аппаратов [3]. Лаборатория получила мировое признание, наши доклады звучали на конференциях, ученые-подводники ведущих организаций мира обменивались с нами визитами. Практически сразу после ввода в эксплуатацию «Пайсисов» мы стали готовиться к созданию глубоководного обитаемого аппарата с рабочей глубиной 6000 м. Приняли решение строить его за рубежом, что было наиболее рационально, сэкономило время и средства. Поиск подходящего варианта изготовления ГОА возглавлял заведующий Отделом глубоководных обитаемых аппаратов ИО РАН, доктор технических наук Игорь Евгеньевич Михальцев, который привлекал автора настоящей статьи к решению ключевых вопросов.

В 1977 г. произошло одно из знаковых событий океанологии XX в.: американские ученые с помощью буксируемого аппарата «Ангус» и обитаемого аппарата «Алвин» открыли в районе Галапагосских островов гидротермальное поле на дне океана. В 1979 г. в точке 21° с.ш. Восточно-Тихоокеанского поднятия были впервые найдены так называемые черные курильщики с температурой бьющего струей флюида 350–400°C. Ученые ведущих научных организаций мира поняли: исследования гидротермальных полей становятся основным направлением в океанологии, и необходимо приступить к созданию еще более совершенных ГОА, для которых выбрали максимальную глубину погружения 6000 м — это позволяло охватить исследованиями 98% площади дна Мирового океана. В результате в 1980-е годы в мире построили пять ГОА с рабочей глубиной 6000 м (табл.), и наш институт оказался в лидирующей группе.

ГОА «Мир-1 и -2» были построены в Финляндии на фирме «Раума-Репола» в кратчайшие сроки — в течение 2.5 лет (автор посвятил этой работе 1985–1987 гг.) [4] и очень скоро завоевали репутацию лучших обитаемых аппаратов из всех когда-либо создававшихся в мире (согласно заключению Центра развития технологий США,

Таблица

Характеристики глубоководных обитаемых аппаратов, построенных в 1980-е годы

Параметр	Название ГОА			
	«Наутилус»	«Си-Клиф»	«Мир-1» и «Мир-2»	«Шинкай 6500»
Сухой вес, т	18.5	29.0	18.6	26.0
Длина, м	8.0	8.6	7.8	9.5
Ширина (с боковыми двигателями), м	2.7	3.6	3.8	2.7
Высота (без рубки), м	3.45	3.4	3.0	3.2
Высота (с рубкой), м	—	—	3.45	—
Запас энергообеспечения, кВт/ч	50	60	100	43
Запас жизнеобеспечения, чел./ч	390	300	246	380
Максимальная скорость, миль/ч	2.5	2.0	5.0	2.5
Запас плавучести (с поверхности), кг	200	250	290	200
Численность экипажа	3	3	3	3
Диаметр главной сферы, м	2.1	2.1	2.1	2.0
Материал главной сферы	титановый сплав	титановый сплав	никелевая сталь	титановый сплав
Год постройки	1985	1986	1987	1989

1994 г.). Генерировали идеи при создании «Миров» И.Е.Михальцев, руководитель финских инженеров Саули Руохонен и автор этой статьи. С вводом в эксплуатацию ГОА «Мир» статус нашей лаборатории на мировой арене значительно возрос. Россия на некоторое время стала единственной державой, владеющей глубоководно-исследовательским комплексом с двумя шеститысячниками: в Финляндии НИС «Академик Мстислав Келдыш» («АМК») дооборудовали с целью его использования в качестве судна обеспечения погружений ГОА «Мир».

«Пентагон клацает зубами от зависти и злости!» — сказал мне тогда один американский знакомый. Зарубежные коллеги понимали, что глубоководные обитаемые аппараты — техника двойного назначения, а американцы всегда стремились к лидерству в этой сфере деятельности.



ГОА «Мир-1» и «Мир-2».



НИС «Академик Мстислав Келдыш» с двумя ГОА «Мир» на борту.

Финансирование науки тает, визуальные наблюдения глубин продолжаются

В конце 80-х — начале 90-х годов XX в. лаборатории научной эксплуатации ГОА пришлось работать и с «Мирами», и с «Пайсисами», что было довольно сложно, поскольку людей явно не хватало. К тому же произошли серьезные изменения в нашем государстве, с крушением Советского Союза наука осталась практически без финансового обеспечения. Оставалось рассчитывать только на контрактные работы. «Пайсисы», проведя последние экспедиции на Байкале в 1990 и 1991 гг., оказались на приколе в Калининграде. Их миссия — осуществление первых отечественных научных исследований в глубоком океане с возможностью визуальных наблюдений — была выполнена. Вспоминаю, как однажды наш выдающийся геолог Лев Павлович Зоненшайн после погружения в «Пайсисе» сказал: «Я теперь не мыслю исследований дна океана без подводных аппаратов». Под этими словами подписались бы практически все ученые, погружавшиеся в глубины океана.

До начала 1990-х годов пришедшие на смену «Пайсисам» шеститысячники «Миры» успели провести большой объем научных исследований на гидротермальных полях Атлантического и Тихого океанов: были изучены районы задугового спрединга — Лау, Манус, Вудларк, несколько районов в Тихом океане. Мне хочется вернуться к впечатлениям от самых первых наблюдений, которые получены с борта ГОА «Мир» в апреле 1988 г. на гидротермальном поле ТАГ (Трансатлантический геотраверз, 26° с.ш. Срединно-Атлантического хребта) в рейсе НИС «АМК», и я позволю себе процитировать описание из книги «Глубина» [4].

«...Глубина 3710 метров. Сели на дно, на склон вулканической постройки. Начали движение вверх по склону курсом 270°», — эти слова я передаю на борт судна по подводной гидроакустической связи, в просторечье — по подводному телефону. Следует ответ: «Понял. Работайте».

Идем вверх по склону небольшого холма, который сложен лавовыми излияниями причудливых форм: шарообразными базальтами, длинными трубами,

разветвляющимися на множество более мелких. Такие формы изверженная горячая лава принимает при застывании в результате контакта с холодной придонной водой. Миновали вершину этого небольшого лавового сооружения. «Пока никаких признаков», — передаю наверх по связи. Если не выйдем на активную гидротерму, это еще не значит, что погружение прошло впустую, ведь научные наблюдения выполняются по маршруту постоянно: манипуляторы отбирают образцы пород, ведутся видеозапись и фотографирование, измеряются параметры водной среды. Однако все эти данные получают совсем иную окраску, если мы выйдем на «живую» гидротерму и проведем комплекс исследований непосредственно вокруг нее.

По склону лавовой постройки спускаемся в ложбинку. На фоне осадка оранжевого цвета видим базальты, покрытые густым зеленым налетом. Этот налет говорит о том, что гидротермальный источник, возможно, расположен неподалеку. Встречаем первого вестника гидротермальной — небольшой угорь, приветливо вильнув хвостом, поплыл вверх, приглашая нас следовать за ним.

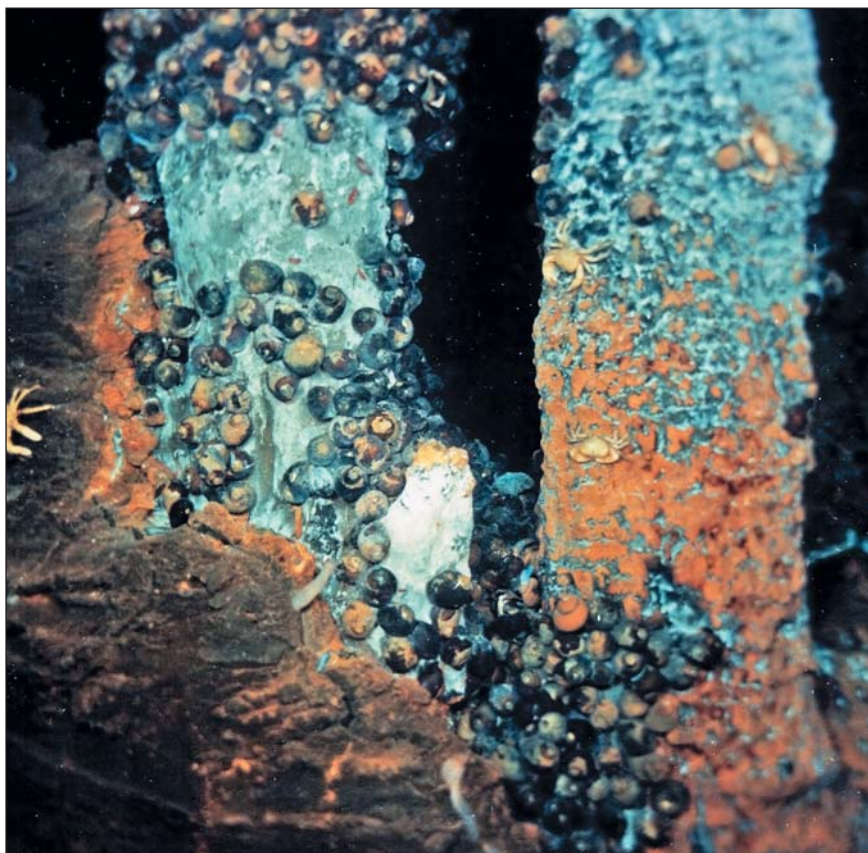


Гидротермальная постройка на поле Рейнбоу.

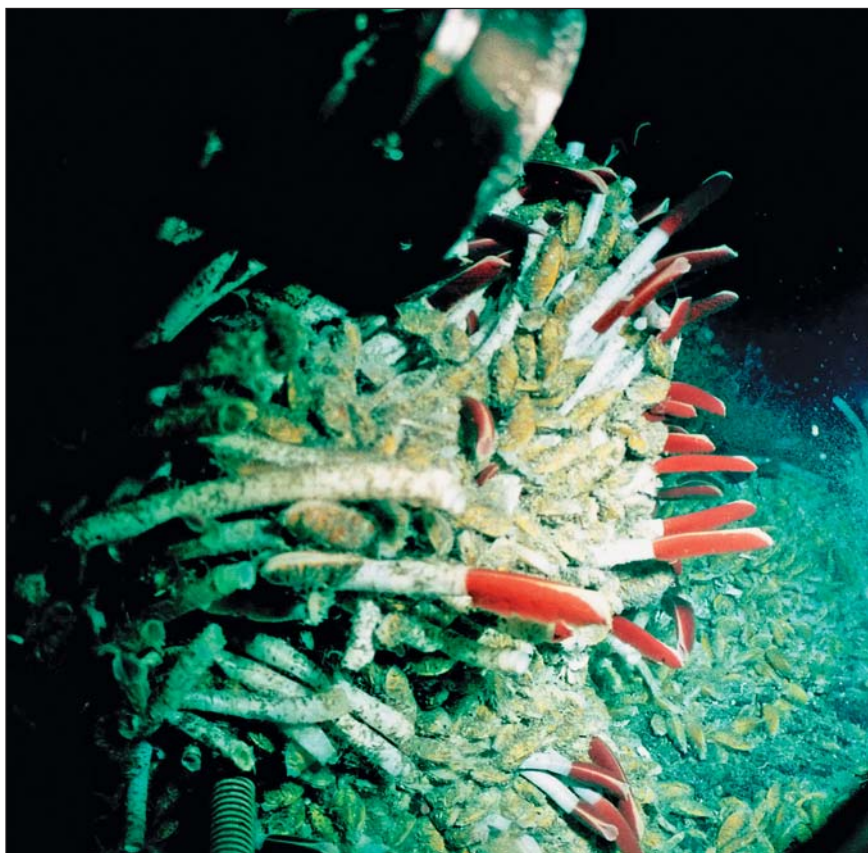
Теперь мы медленно поднимаемся вдоль склона, на котором уже нет массивных базальтовых шаров и труб. Их сменил мягкий осадок с желтой, оранжевой, красной, багряной окраской.

Появившиеся в поле зрения небольшие сульфидные постройки напоминают маленькие башенки высотой 30–40 см. А вот и теплая вода: просачивается сквозь осадок и устремляется вверх. Оказывается, здесь, на глубине 3700 метров, тоже “журчат ручьи”, но только вода струится не вниз по склону, как на суше, а вверх, поскольку она теплее и легче придонной холодной воды. Нас как будто несет вверх, словно мы плывем по волнам этого струящегося ручья, играющего всеми цветами радуги в лучах светильников подводного аппарата. Увеличивается количество маленьких белых актиний, гурьбой снуют проворные угри, величаво ступает оранжевый краб. Датчик температуры за бортом показывает $+8.5^{\circ}\text{C}$, тогда как обычная температура на этой глубине около 0°C . Появляются отдельные креветки размером 3–4 см, затем их количество постепенно увеличивается до десятка, до нескольких десятков...

И наконец, вот оно — то, ради чего мы сюда стремились: первый черный дымок, пробивающийся сквозь осадок на вершинке маленького холма. Вывожу манипулятор и обрушиваю эту вершинку — черный дым поднимается вверх мощным потоком, заслоняя вид из иллюминаторов. Аппарат погружается во тьму, хотя внешние светильники включены. По видимому, мы разрушили преграду, удерживавшую черный дым — частицы минеральной взвеси — под плотной коркой осадка. Продвигаемся немного вперед, выходим из крошечной тьмы и упираемся в склон, сплошь покрытый креветками, колышущимися словно ковер, сотканный из живых существ. Черные дымы прорываются сквозь него, создавая картину



Сульфидные столбы на поле Лау с поселениями моллюсков *Ifremeria*.



Вестиментиферы *Riftia* на гидротермальном поле Восточно-Тихоокеанского поднятия.

какого-то буйства. В этом смешении креветок и дымов все настолько динамично и непривычно для человеческого глаза, что возникает впечатление сплошного движения. Вокруг невозможно найти ни одного статичного участка: все дымит, колыхается, ползает, плавает. Даже не верится, что это происходит на глубине 3700 метров!

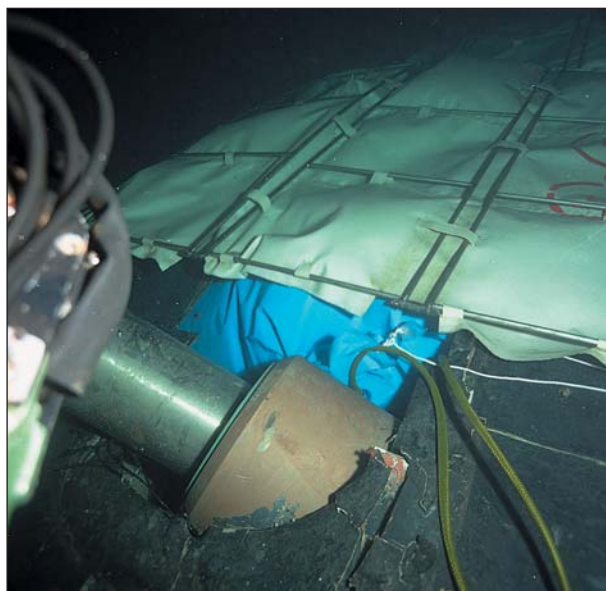
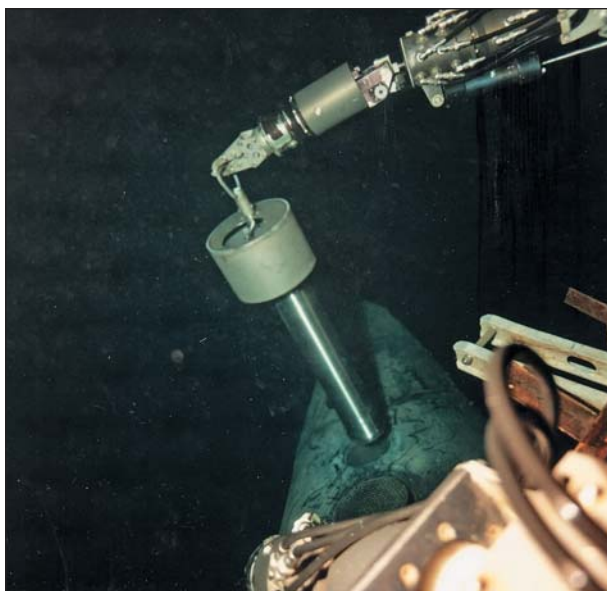
Прошел уже час, как мы вышли на это удивительное место, но никаких действий пока не предпринимаем: в состоянии эйфории прильнули к иллюминаторам и, не отрываясь, наблюдаем за происходящим вокруг. Лишь борт-инженер Анатолий Благодарев щелкает тумблерами и кнопками, фиксируя все на видеомagneитофон и фотопленку. Да, будет что посмотреть нашим коллегам на борту судна, когда мы поднимемся на поверхность! Вывожу манипулятор и пытаюсь отобрать образцы сульфидов, которыми был сложен холм. Но здесь полиметаллическая руда совсем свежая и горячая, а потому крошится в стальной клешне манипулятора, но все же часть ее попадает в бункер. Позже из разных мест на вершине этой гидротермальной постройки мы наберем полный бункер разноцветных образцов, которые после нашего всплытия заиграют на солнце, как драгоценные камни... А пока захватываю манипулятором сачок и пытаюсь загрести с поверхности дна как можно больше животных. Креветки поднимаются со дна и образуют вокруг аппарата густую живую массу. «Настоящий креветочный суп вокруг», — замечает Анатолий Благодарев. Позже мой друг биолог Лев Москалев скажет: «Поймали двадцать экземпляров креветок! Не много, но и не мало!» (Значит, для детального изучения в лабораторных условиях достаточно.) Затем добавит: «Этих гид-

ротермальных креветок называют «римикарис». Они совсем не такие, каких мы употребляем с пицом, к тому же пахнут сероводородом». Успокаиваться рано, мы подняли представителей только одного вида креветок, а их здесь как минимум три. В 1991 и 1994 гг. мы снова будем работать в этих водах и наберем сотни креветок; среди них окажутся и недостающие два вида, и еще два принципиально новых для науки, но эти первые двадцать — очень важны.

После этой первой экспедиции будет еще много экспедиций на гидротермальные поля океана, но это была первая, а потому врезалась в память, как «мое открытие гидротермali».

«Миры» обследуют затонувшие субмарины, суда и ведут научную работу

7 апреля 1989 г. в Норвежском море на глубине 1700 м затонула атомная подводная лодка «Комсомолец». В это время НИС «АМК» с «Мирами» на борту держал курс на гидротермальные поля в Атлантике, и поскольку в России не нашлось других технических средств для обследования затонувшей лодки, наше судно, изменив курс, пошло на север. Далее в течение шести лет «Миры» работали на «Комсомольце» каждый год, проводя радиационный мониторинг, а также выполняя специальные глубоководные операции по частичной герметизации носового отсека лодки [5]. Коллектив лаборатории вырос в высокопрофессиональный отряд глубоководников, который в 2003 г. был признан американцами лучшим в мире. Мне, как его руководителю, вручили специальный приз Морского технологического общества США «Международ-



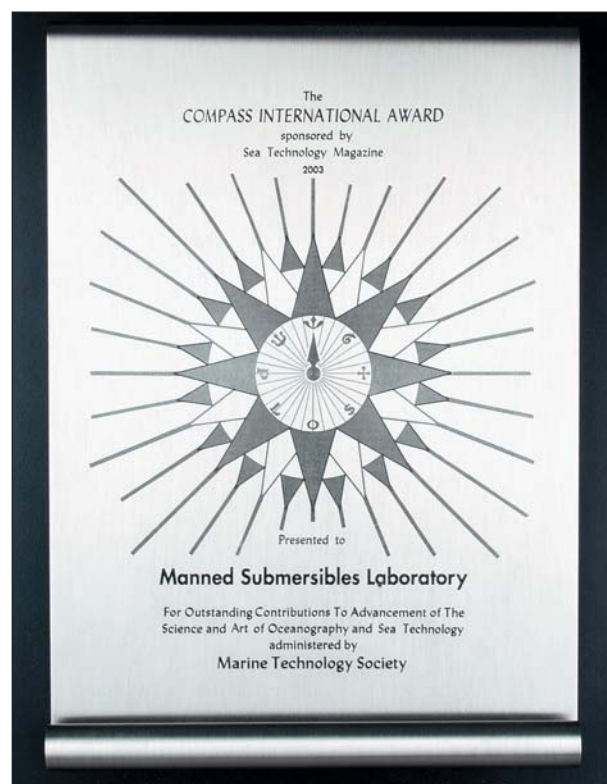
Работа ГОА «Мир» на атомной подводной лодке «Комсомолец»: введение гамма-спектрометра в вентиляционную трубу реактора атомной лодки (слева), герметизация ее носовой части (справа).

ный компас» с письменным комментарием: «Лучшей глубоководной команде мира».

В 1991 г. финансирование научных исследований в России прекратилось. Пришлось искать партнеров за рубежом, чтобы обеспечить работы аппаратов по выполнению контрактных обязательств и проведению научных исследований, которые мы намеревались продолжать даже в коммерческих экспедициях. Такое сочетание требовало большого напряжения. Кроме того, надо было объяснять партнерам, что наука — наш основной жизненный интерес, который нужно учитывать при заключении любых контрактов. В целом такая стратегия приносила успех, ведь никто в мире не владел судном с двумя обитаемыми шеститысячниками на борту. Во всех экспедициях на «АМК» присутствовала группа ученых в составе 12–15 человек, и в программы рейсов обязательно включались погружения на гидротермальных полях. Я всегда с благодарностью вспоминаю доктора геолого-минералогических наук Юрия Александровича Богданова, который в наших комплексных океанических экспедициях был бессменным руководителем научной группы и самым опытным подводным наблюдателем, проведя свыше 700 ч в глубоководных погружениях [6].

ГОА «Мир» работали в 23 гидротермальных районах Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов. На некоторых из них мы побывали по три — четыре раза, наблюдая динамику развития гидротермальной деятельности во времени. Были сделаны важные открытия: глубинной гидротермальной циркуляции на поле Логачева [7], новых видов животных (калпиготен, креветок и др.)... Наряду с американским «Алвином», французским «Наутилем» и японским «Шинкаем 6500» «Миры» называют в числе ГОА, внесших наибольший вклад в мировую копилку изучения гидротермальных полей на дне океана.

На «Келдыше» стояло два ГОА, которые могли одновременно работать под водой. Эстетичные формы «Миров» и их технические данные (большой запас энергии аккумуляторов, высокая маневренность) привлекали кинематографистов США и Канады. Первый фильм, снятый с участием наших аппаратов, — «Титаника» режиссера Стивена Лоу. Вторым стал знаменитый «Титаник» Джеймса Кэмерона, а также его фильмы «Призраки бездны», «Бисмарк», «Пришельцы глубин». С компанией «Би Би Си» было снято две части по 1.5 ч для серии «Голубая планета». Телевидение Общества национальной географии США снимало фильмы о японской лодке I-52, а также первый глубоководный фильм в 3D формате о «Титанике» (1991 г.). Благодаря кино и телевидению «Миры» стали известны во всем мире. Впервые простые люди узнали специфику проведения работ на больших глубинах океа-



Приз Морского технологического общества США «Международный компас», присужденный нашей лаборатории.

на. Вместе с тем с помощью ГОА «Мир» сотрудники лаборатории решали задачи большой государственной значимости.

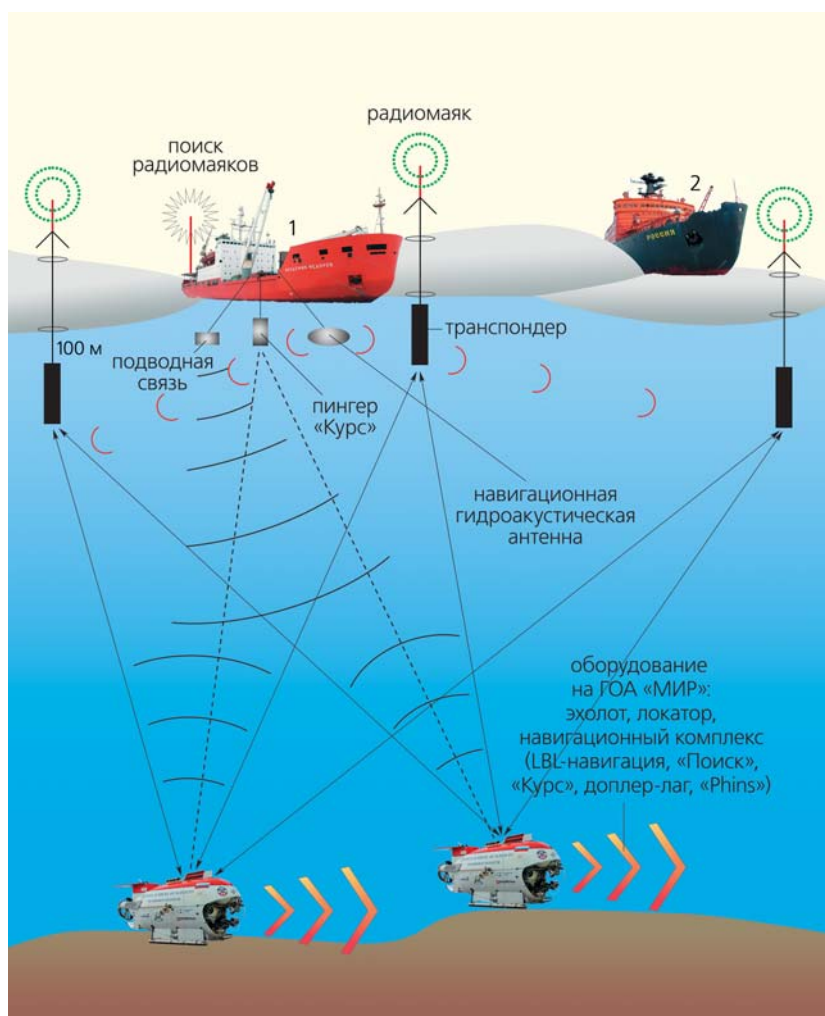
Помимо ежегодного мониторинга «Комсомольца» (1989–1995 гг.), в 2000 г. «Миры» проводили работы на атомном подводном крейсере «Курск», затонувшем в Баренцевом море. На базе



Рубка атомного подводного крейсера «Курск».



ГОА «Мир» во льдах на Северном полюсе.



Система гидроакустической навигации, применявшаяся при погружении «Миров» на Северном полюсе. 1 — НИС «Академик Федоров», 2 — атомный ледокол «Россия».

данных, полученных с помощью «Миров», были приняты меры по ликвидации последствий аварии «Курска». Последней экспедицией, проведенной с помощью ГОА «Мир» в океане, стали работы 2007 г. на Северном полюсе, когда два аппарата опустились под толстый лед на глубину 4300 м. Эти погружения были связаны с большим риском, однако их проведению предшествовала тщательная проработка методики и обеспечения безопасности [8]. Главное внимание мы уделили разработке системы гидроакустической навигации, ключевой для обратного выхода аппаратов в небольшую полынью на поверхности.

В 1991–2007 гг. НИС «Академик Мстислав Келдыш» с двумя «Мирами» находился в ведении нашей лаборатории, которая работала на самофинансировании, и заведующий (автор статьи) обеспечивал судно и аппараты из заработанных в экспедициях средств. В 2006 г. новый директор Института океанологии посчитал, что «Келдыш» должен быть передан в ведение Отдела флота [9]. Далее руководство реализовало намерения о сдаче НИС «АМК» во фрахт, предварительно сняв с него глубоководные аппараты «Мир».

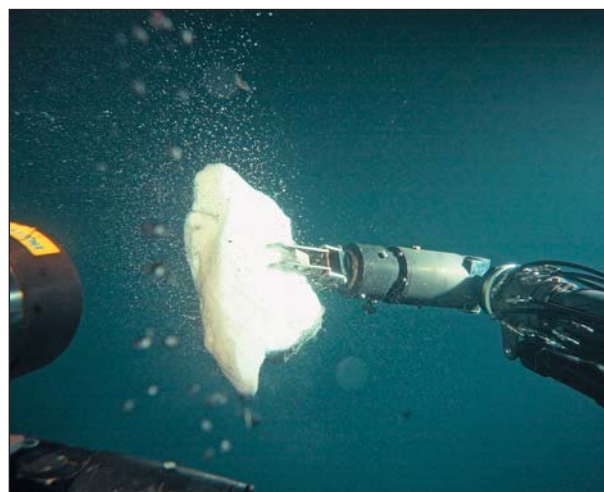
В 2008–2010 гг. «Миры» работали на Байкале, где для погружений была оборудована баржа. Финансирование обеспечивал Михаил Викторович Слипенчук, в то время генеральный директор компании «Метрополь». В течение трех летних сезонов было выполнено 178 погружений, во время которых удалось сделать важные открытия: на дне озера найдены обширные депозиты твердых газогидратов (впервые в пресной воде), сочтения нефти из битумных холмиков, следы гидротермальной активности в виде керамических трубок, из которых ранее, видимо, выходили горячие флюиды; в северной части



Комплекс обеспечения погружений ГОА «Мир» на озере Байкал.



Твердые газогидраты на дне озера Байкал.



Байкала (бухта Фролиха) мы обнаружили на дне бактериальные маты*.

Последняя экспедиция российских обитаемых глубоководных аппаратов

Последняя экспедиция с применением ГОА «Мир» состоялась в 2011 г. на Женевском озере, ее финансировал швейцарский фармацевт (исследователь, бизнесмен, филантроп, путешественник) Фредерик Паулсен. В исследованиях экологии озера приняли

участие ученые Швейцарии, Франции, Германии, США. Полученные результаты опубликованы на французском языке [10]. На этом активная жизнь лучших в мире ГОА «Мир» закончилась. В 2012 г. подготовленный контракт по работам «Миров» на «Титанике» (к 100-летию со дня гибели судна) руководство института отклонило несмотря на намерения партнеров провести после «Титаника» совместные работы на гидротермальных полях Атлантики и погружения ГОА «Мир» у побережья Антарктиды, а также на наличие соответствующего материального обеспечения (комплекс работ собирался оплатить Фредерик Паулсен, финансировавший работы с аппаратами на Северном полюсе).

* Сагалевич А.М. обитаемые аппараты «Мир» на Байкале // Природа. 2013. №5. С.38–46.



Сотрудники лаборатории около аппарата «Мир-1». 1-й ряд (сидят, слева направо): В.Р.Малахов, В.В.Кушников, П.И.Перепелюк, В.А.Нищета, А.Ю.Захаров, И.В.Пономарев, Л.С.Симагин; 2-й ряд: С.С.Кудряшов, Н.П.Петко, А.М.Сагалевиц, В.И.Федонов, Д.А.Петров, Т.С.Кузнецова, Е.В.Парчевская, Л.Н.Бирюкова, В.И.Козлович, А.М.Фионов; 3-й ряд: В.Ю.Гордеев, В.Г.Петровский, Г.Я.Хлевнов, Е.С.Черняев, Д.Л.Оводков, А.В.Варламов, Ю.А.Володин, И.Л.Игрунов; 4-й ряд (возле винта): В.В.Щадилов, О.В.Устинова, А.Ю.Федотов, С.А.Клепиков; на винте — С.В.Смолицкий.

После погружений в Женевском озере ГОА «Мир» отчасти разделили судьбу «Пайсисов»: первоначально аппараты были поставлены в ангар в Калининграде. В 2016 г. «Мир-1» передали во временное хранение в Музей Мирового океана, где он выставлен в качестве экспоната — так же, как «Пайсис VII». «Пайсис XI» находится в Байкальском музее (пос.Листвянка, Иркутский район).

За свою короткую жизнь ГОА «Пайсис VII» и «Пайсис XI» сделали 776 погружений, ГОА «Мир-1» и «Мир-2» — 1095, с широким спектром научных исследований и подводно-технических работ. Такого разнообразия глубоководных операций не знал ни один обитаемый аппарат в мире. Ученые-океанологи опубликовали 28 книг и более 800 научных статей на основе результатов, полу-

ченных в погружениях. Сотрудники лаборатории научной эксплуатации ГОА награждены высокими правительственными наградами: двумя Звездами Героев Российской Федерации, Орденом Ленина, Орденом «Трудового Красного Знамени», пятью Орденами «Мужества», тремя Орденами «Знак Почета» и многими медалями. Заслуги коллектива лаборатории отмечены международными призами.

Большое дело не обходится без потерь. В год 40-летия коллектива я хочу назвать ушедших из жизни сотрудников лаборатории, чьи имена хранятся в памяти коллег: это старейший сотрудник института, механик от бога Анатолий Сергеевич Сусяев, которого иностранцы называли *golden hands*; Владимир Аркадьевич Кузьмин, руководитель навигационной группы ГОА «Мир» и прекрасный волейболист; Лев Сергеевич Симагин, рулевой катера-буксировщика «Кореш»; Генна-

дий Яковлевич Хлевнов, командир надувной шлюпки «Зодиак»; Алексей Максимович Фиронов, прекрасный механик и замечательный человек; Виктор Владимирович Щадилов; Михаил Фалин, подававший большие надежды как пилот ГОА; прекрасная Наталья Ивановна Туманцева, обеспечивавшая финансовые дела экспедиций с ГОА «Мир».

Я бесконечно признателен всем сотрудникам, работающим и работавшим в лаборатории за честный и самоотверженный труд, высокий профессионализм и преданность нашему большому и нелегкому делу. Отдельных слов благодарности заслуживают экипажи судов — палубные команды, капитаны, старпомы, штурманы и боцманы, вместе обеспечивавшие погружения глубоководных аппаратов и разделившие с нами эру романтической глубоководной океанологии. ■

Литература / References

1. *Busby Frank R.* Manned submersibles. Wash. (D.C.): Office of the Oceanographer of the NAVY, 1976.
2. *Monin A.S., Plakhin E.A., Podrazhansky A.M., et al.* Visual observations of the Red Sea hot brines. *Nature*. 1981; 291: 222–225.
3. *Сагалевиц А.М.* Океанология и подводные обитаемые аппараты: методы исследований. Отв. ред. И.Е.Михальцев. М., 1987. [*Sagalevich A.M.* Oceanology and underwater manned vehicles: research methods. I.E.Mikhaltsev (ed.). Moscow, 1987. (In Russ.).]
4. *Сагалевиц А.М.* Глубина. М., 2002. [*Sagalevich A.M.* Depth. Moscow, 2002. (In Russ.).]
5. *Сагалевиц А.М., Хетагуров С.В. и др.* Океанологические исследования и подводно-технические работы на месте гибели атомной подводной лодки «Комсомолец». Под ред. М.Е.Виноградова и др. М., 1996. [*Sagalevich A.M., Khetagurov S.V. et al.* Oceanographic research and underwater technical operations on the spot death of the nuclear submarine «Komsomolets». M.E.Vinogradov et al. (eds.). Moscow, 1996. (In Russ.).]
6. *Богданов Ю.А., Сагалевиц А.М.* Геологические исследования с подводных обитаемых аппаратов «Мир». М., 2002. [*Bogdanov Y.A., Sagalevich A.M.* Geological studies of deep-sea submersibles «Mir». Moscow, 2002. (In Russ.).]
7. *Sagalevich A.M.* 30 years experience of Mir submersibles for the ocean operations. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2017; 1–13.
8. *Sagalevich A.M.* Under the Ice Dome at the Geographic North Pole. *Sea Technology*. 2007; 12: 10–13.
9. *Сагалевиц А.М.* Романтическая океанология. М., 2018. [*Sagalevich A.M.* Romantic Oceanography. Moscow, 2018. (In Russ.).]
10. *Dans les abysses du Léman.* Sous la direction d'Ulrich Lemmin. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, 2016.

Deep-Sea Romance Era

To the 40th anniversary of the Deep Sea Manned Submersibles Laboratory

A.M.Sagalevich

Shirshov Institute of Oceanology, RAS (Moscow Russia)

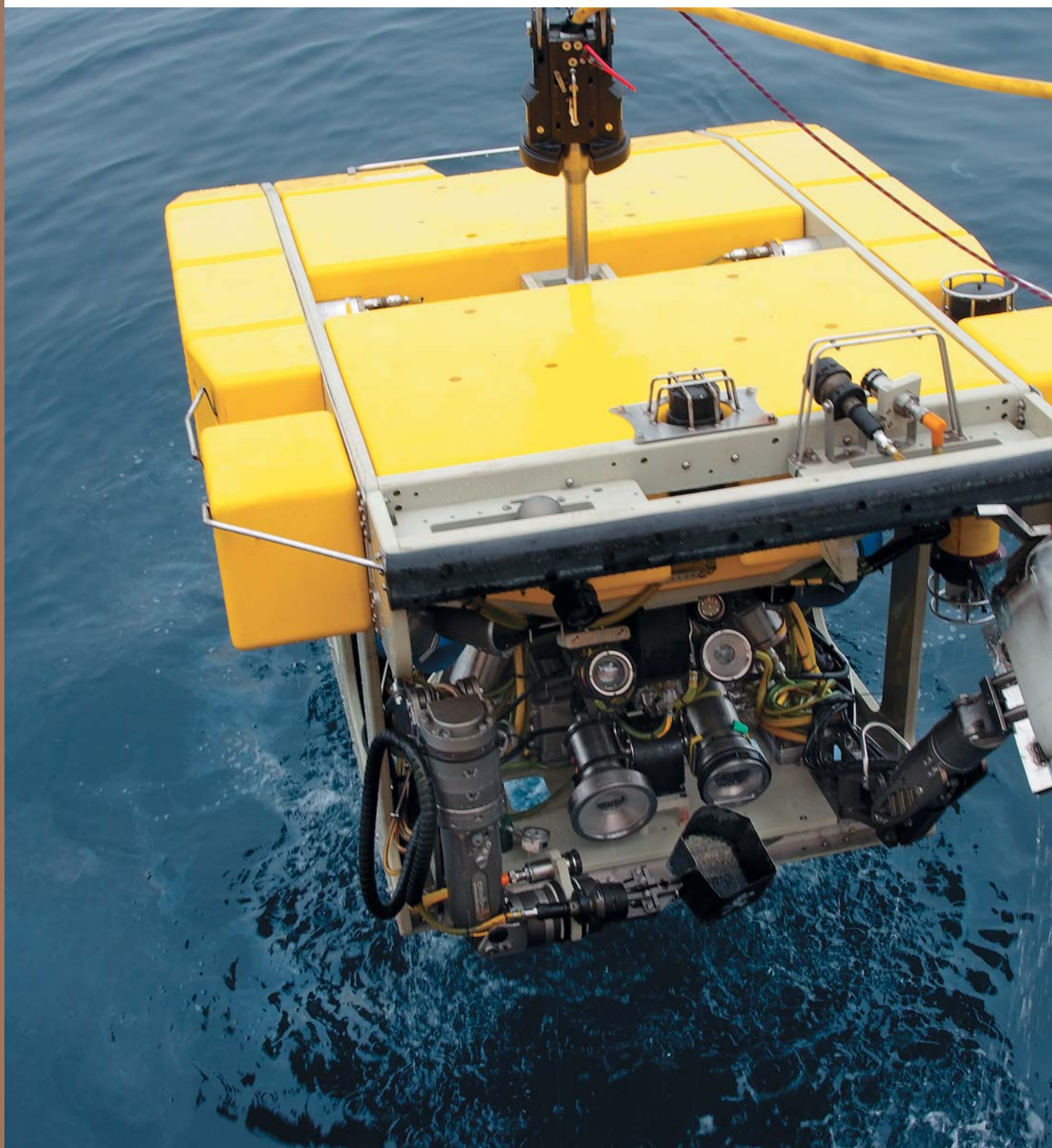
The establishment of the Deep Sea Manned Submersibles Laboratory in the Shirshov Institute of Oceanology in 1979 meant the emergence of a new direction of ocean research. The article of the permanent director of the Laboratory, the world-famous pilot of deep submergence vehicles, Doctor of Technical Sciences A.M.Sagalevich tells about the main stages of its formation and development, about its unique engineering and research team. The author also writes about the initiators of the creation of manned deep submergence vehicles — people that provide a huge work, which multiplied the glory of Russian Oceanology. A number of episodes described in the article are also covered in the book by A.M.Sagalevich “Romantic Oceanology” (2018).

Keywords: manned deep submergence vehicles, “Mir” DSV, “Pisces” DSV, Deep Sea Manned Submersibles Laboratory of the Shirshov Institute of Oceanology of RAS.

Видим дно!

С.В.Галкин¹, Г.М.Виноградов¹

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





Телеуправляемый аппарат «Команч 18».
Здесь и далее фото предоставлены
Национальным научным центром
морской биологии ДВО РАН

В статье описаны особенности проведения глубоководных исследований с применением дистанционно управляемых аппаратов. На примере аппарата «Команч 18», с которым авторы работают в Беринговом море, показаны возможности получения посредством такой техники уникальной информации о биоте океана.

Ключевые слова: глубоководные обитаемые аппараты, дистанционно управляемые аппараты, гидротермальные экосистемы океана, холодные высачивания углеводородов, глубоководная фауна.



Сергей Владимирович Галкин, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН. Область научных интересов — таксономия, экология и биогеография глубоководной фауны, типология гидротермальных экосистем, структура глубоководных ландшафтов. Участник более 40 морских экспедиций, многих погружений глубоководных аппаратов «Пайсис» и «Мир». Разработчик ряда методов подводных наблюдений и отбора проб.
e-mail: galkin@ocean.ru



Георгий Михайлович Виноградов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник того же института. Занимается изучением населения придонного слоя океана, взаимодействием бентосных и пелагических сообществ, а также систематикой амфипод. Участник 15 больших морских экспедиций и 17 погружений глубоководных аппаратов «Мир».
e-mail: egor@ocean.ru

Таинственные океанские бездны издревле притягивали человека. Не имея возможности их достичь, наши предки в своем воображении населяли глубины океана сказочными чудовищами, а позже — и представителями иных цивилизаций (вспомните роман Конан Дойля «Маракотова бездна»). Планомерные исследования океана начались немногим более 200 лет назад, причем почти до конца XIX в. считалось, что из-за чудовищного давления жизнь на глубинах свыше 500 м невозможна. Лишь позже выяснилось, что населены даже глубоководные океанические впадины и желоба. Немалую роль в этом сыграли экспедиции легендарного судна «Витязь», в которых животные были подняты из бездны Марианской впадины. Многие исследования тогда проходили под руководством выдающегося океанолога Льва Александровича Зенкевича, чей 130-летний юбилей мы отмечаем в эти дни.

Однако долгие годы ученым приходилось довольствоваться тем, что приносят со дна приборы, опускаемые с судна на стальном тросе. А это все равно, что изучать природу Подмоскovie, вися на воздушном шаре в густых облаках. Воочию увидеть, что происходит в бездне, позволили лишь глубоководные обитаемые и телеуправляемые аппараты, оказавшиеся в распоряжении океанологов в последние десятилетия. Появление этой техники означало настоящий прорыв в океанологических исследованиях. Ученые наконец получили возможность исследовать донную экосистему как ландшафт, т.е. применяя методологические подходы, традиционно используемые для изучения наземных природных комплексов. Кроме того, подводные аппараты абсолютно незаменимы для изучения небольших, фактически «точечных» объектов антропогенного и природного происхождения на дне океана. К таковым относятся затонувшие суда, подводные коммуникации, а также уникальные гидротермальные экосистемы и экосистемы холодных высачиваний (о них речь пойдет ниже).

Начало эры глубоководных аппаратов

Первые глубоководные наблюдения проводились Вильямом Бибом еще в 1930-е годы через иллюминатор батисферы, спускавшейся под воду на тросе. В 1934 г. В.Биб вместе с О.Бартоном достиг рекордной по тем временам глубины 923 м.

Следующим поколением глубоководных обитаемых средств стали батискафы. Первое погружение в батискафе FRNS-2, созданном Огюстом Пикаром, состоялось 26 октября 1948 г. в восточной Атлантике, у о-вов Зеленого Мыса, глубина достигла 1515 м. Так началась эра подводных обитаемых аппаратов, не имеющих никаких механических связей с поверхностью и свободно перемещающихся в водной толще. В течение 30 лет батискафы оставались единственными техническими средствами, способными погружаться на предельные глубины в океане, с их помощью последовательно устанавливали рекорды погружений, во время которых проводили научные наблюдения. Однако большие габариты и вес до 300 т обусловили низкую маневренность батискафов, к тому же их эксплуатация связана с наличием на борту судна нескольких сотен тонн бензина, необходимого для работы балластной системы, что требует соблюдения строгих мер безопасности и может привести к загрязнению окружающей среды.

К середине 1960-х годов настало время аппаратов нового типа — мобильных, легких, маневренных. В 1964–1970 гг. в США были построены глубоководные обитаемые аппараты (ГОА) «Алюминат» (с глубиной погружения до 4500 м), «Алвин», «Си-Клифф» и «Тётл» (максимальное погру-

жение 2000 м), а также серия аппаратов «Стар» (до 1300 м), в Канаде — аппараты «Пайсис», достигающие глубины 2000 м, а в 1971 г. во Франции появился аппарат «Сиана» (погружение до 3000 м), который внес большой вклад в науку в 1970–1980-х годах. В течение 1960–1970-х создано несколько десятков подобных аппаратов. Одновременно с совершенствованием их конструкции разрабатывалось новое оборудование ГОА: забортные фотокамеры в прочных корпусах; локаторы кругового обзора, позволяющие обнаруживать цели на дне; манипуляторы со многими степенями свободы и т.д. ГОА превращались в своего рода подводные лаборатории, дающие возможность исследователю вести не только визуальные наблюдения, но и проводить комплексное изучение окружающей среды на разных глубинах. Тех, кто хочет подробнее узнать об истории создания и использования глубоководных обитаемых аппаратов для океанологических исследований, мы адресуем к замечательным книгам Анатолия Михайловича Сагалевича «Глубина», «Романтическая океанология» [1, 2].

Роль глубоководных обитаемых аппаратов для развития океанологии трудно переоценить. Именно благодаря им стало возможным открытие и исследование гидротермальных полей на дне океана. В 1976 г. в районе Галапагосского рифта с помощью глубоководного буксируемого аппарата «Ангус» сфотографированы скопления необычных животных на дне. На следующий год в этом районе с борта ГОА «Алвин» были проведены важнейшие наблюдения на глубине 2500 м, во время которых ученые узнали о существовании гидротермальных источников и совершенно необычной фауны, обитающей вокруг них [3]. В 1979 г. на 21°с.ш. Восточно-Тихоокеанского поднятия с борта «Алвина» люди впервые наблюдали черные и белые курильщики с температурой флюида на выходе до 355°C, с очень высоким содержанием сероводорода, обилием новых видов гидротермальной фауны и невероятно высокой биомассой. Это открытие положило начало целой серии замечательных исследований в разных районах Мирового океана и самых выдающихся открытий в океанологии XX в. [4, 5].

Дистанционно управляемые глубоководные аппараты

Однако по мере развития океанологической техники в глубоководных исследованиях все большую роль стали играть необитаемые, дистанционно управляемые аппараты (в переводе с англ.: remotely operated vehicle — сокращенно ROV). Если ранее закрепленные на стальном тросе фотокамеры приносили лишь отдельные изображения океанского дна, причем без точной привязки к координатам, то теперь гидроакустическая система на-



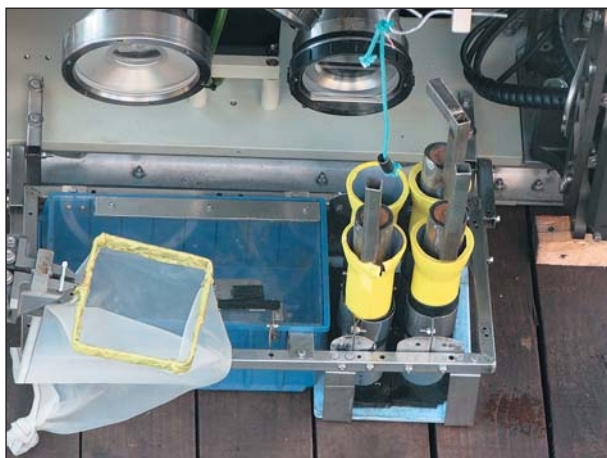
Научно-исследовательское судно «Академик М.А.Лаврентьев».

вигации с ультракороткой базой позволяет вести оперативные определения местоположения аппарата с борта судна, сообщая оператору его координаты. Кроме того, появление компактных фото- и видеокамер высокого разрешения с регулируемым в широких пределах фокусным расстоянием, а также совершенствование орудий пробоотбора позволяет оператору, находящемуся на борту судна, проводить практически те же операции, которые ранее мог выполнить только квалифицированный пилот обитаемого аппарата.

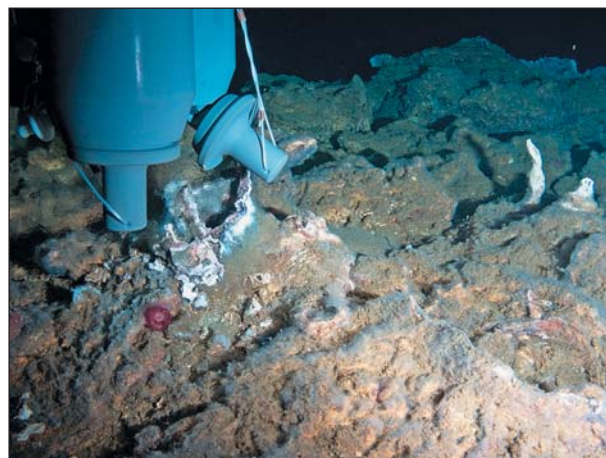
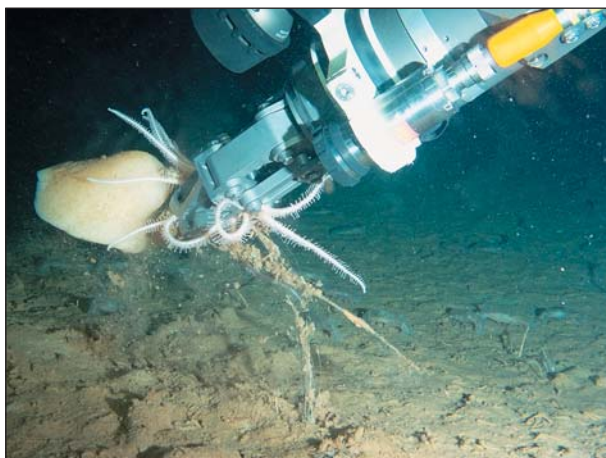
К преимуществам дистанционно управляемых аппаратов (в сравнении с ГОА) относятся их дешевизна и безопасность: пилот находится не под водой в маленькой сфере, а на борту судна, в относительно комфортных условиях. Кроме того, время работы аппарата на дне практически неограничено: если автономный ГОА работает исключительно

но на собственных аккумуляторах, то в данном случае питание подается с судна по кабель-тросу. Все это привело к тому, что во многих странах налажено серийное производство таких аппаратов, в мире насчитывается несколько десятков ROV разных систем. Один из них (производства шотландской фирмы «Sub-Atlantic»), под названием «Команч» с серийным номером 18 («Comanche 18»), уже несколько лет находится в распоряжении Национального научного центра морской биологии (ННЦМБ) во Владивостоке, который возглавляет академик А.В.Адрианов. С этим аппаратом нам и довелось работать в Беринговом море в ходе уже трех экспедиций научно-исследовательского судна «Академик М.А.Лаврентьев». Максимальная рабочая глубина этого аппарата — 6000 м.

Надо сказать, что «Команч» (как и большинство аппаратов подобного типа) изначально предназна-



Приборы для взятия образцов (слева) и процедура отбора пробы сачком (справа).



Отбор проб аппаратом «Команч»: слева — манипулятором, справа — батометром (воды из гидротермального источника).

чался не для научных исследований, а для чисто прикладных задач — осмотра и мелкого ремонта подводных сооружений и коммуникаций. Для того чтобы использовать аппарат при исследованиях донных экосистем и сборе научного материала, его пришлось оборудовать целым рядом дополнительных приспособлений. Конечно, фирменные приборы, предназначенные для подводных аппаратов, невероятно дороги. И дело не столько в технической сложности их изготовления, сколько в их уникальности. Это в полном смысле штучное, зачастую ручное производство. И тут ярко проявились таланты сотрудников группы технического обеспечения аппарата ННЦМБ, которой руководит В.А.Денисов. Из подручных материалов в обычных мастерских нашим российским «левшам» удалось изготовить приспособления, зачастую не уступающие зарубежным дорогостоящим аналогам. Так, на «Команче» появились контейнер для биологических образцов, миниатюрные геологические трубки, сачки разных размеров, батометр для прицельного отбора проб воды. Только так удастся отобрать пробы флюида из самого жерла горячего источника. Было изготовлено всасывающее устройство (на профессиональном языке слэп-ган) — прибор, работающий по принципу обыкновенного пылесоса. С его помощью можно собрать неповрежденными мелких нежных животных, таких как медузы или сифонофоры, или поймать существ, столь подвижных, как креветки.

«Команч» в Беринговом море

Работа с ROV весьма сложна и требует согласованных действий научной группы и всего экипажа судна-носителя. Вначале с борта судна краном опускают сам аппарат. Затем с кормовой П-рамы на стальном кабель-тросе опускают металлическую раму-депрессор, с которой аппарат связан гибким кабелем, имеющим нулевую плавучесть. Депрессор

гасит качку (ее амплитуда достигает нескольких метров). Длина гибкого кабеля составляет около 100 м — на такое расстояние аппарат может удаляться от депрессора. Получается довольно короткий «поводок», и для того чтобы «Команч» двигался по заданному маршруту, судно-носитель должно перемещаться строго с той же скоростью и в том же направлении. Добиться установленной цели при сильном ветре и волнении, обычных в Беринговом море, очень непросто, однако это блестяще удается капитану В.Б.Птушкину и штурманам «Лаврентьева». А положение судна, рамы депрессора и аппарата отображается на мониторах в рубке управления, куда выводятся показатели GPS, обработанные в специальной программе данные подводной навигации и все основные параметры движения и действий аппарата.

Когда аппарат достигает дна, начинается многочасовая кропотливая работа наблюдателей. Попутно отбираются образцы. Следует, однако, заметить, что взятие проб при погружениях — не самоцель. Мы ловим лишь немногих животных, совершенно необходимых для исследования. Важнейшее преимущество пробоотбора с помощью подводного аппарата — экологическая чистота: в отличие от традиционных орудий (тралов, драг, дночерпателей), движения ROV не оказывают деструктивного воздействия на экосистему.

Получаемая с помощью «Команча» информация поистине уникальна. В 75 рейсе (2016) уже в первом погружении на глубину 4278 м мы обнаружили чрезвычайно плотное скопление небольших голотурий *Kolga kamchatica*, а среди них неспешно передвигались крупные сородичи *Psychropotes longicaudata*. Длина последних достигает 40 см, и чтобы перемещать такое большое тело, голотурии «обзавелись» широким хвостовым придатком, который ориентируется на течение и действует как парус. Как и *Kolga*, эти животные — детритофаги: они «пасутся» на мягких грунтах, соби-



Управление «Команчем»: пилоты и наблюдатели.

рая детрит при помощи ротовых щупалец. О большой роли голотурий в глубоководных сообществах было известно, но такой их численности и биомассы на абиссальных глубинах мы не ожидали. Скопления голотурий-детритофагов, обнаруженные с помощью телеуправляемого аппарата, связаны с высокой продуктивностью поверхностных вод, которая подпитывает обильный «снегопад» органики — опускание хлопьев органического вещества (остатков погибших планктонных животных и водорослей и т.п.) из верхних, освещенных слоев воды до самых глубин.

Еще более сенсационное открытие ждало нас на глубине 2290 м. Здесь мы обнаружили огромное количество кишечнорылающих (Enteropneusta). Среди этих удивительных животных (родственных иглокожим и хордовым) в 2005 г. было описано глубоководное семейство Torquaratoridae. Эти черви до сих пор считались редкими, что вполне объяснимо: консистенция их тела немногим отличается от киселя, поэтому они очень плохо улавливаются традиционными орудиями — донными тралами и драгами. Здесь же нам довелось наблюдать многотысячное скопление кишечнорылающих, прости-



На глубине 4278 м в сообществе доминируют голотурии *Kolga kamchatica*.



Абиссальное «пастбище»: крупная голотурия *Psychropotes longicaudata* в окружении мелких голотурий *Kolga kamchatica*. Глубина 4276 м.



В диапазоне глубин 2290–1830 м наблюдалось массовое скопление кишечнодышащих Enteropneusta семейства Torquatoridae (до 10 особей на м²).

равшееся до глубин 1830 м, а виртуозным пилотам «Команча» удалось собрать несколько экземпляров таких существ. Представьте, каких усилий стоит подцепить столь нежное создание механической рукой-манипулятором, способной крушить базальтовые глыбы!

Подводный аппарат дает возможность не только получить наглядное представление о составе и численности донного населения, но и наблюдать за поведением глубоководных животных, порой весьма необычным. Так, встретившийся нам на

глубине 2486 м крупный осьминог вместо того чтобы удрасть при приближении аппарата, отчаянно бросился защищать от страшного пришельца свою драгоценную морскую лилию... или просто удобное жилье в щели между камней. Разумеется, мы его не тронули.

Конечно, во время погружений аппарата «Команча» были проведены и другие интересные и важные наблюдения (о них рассказано в статьях коллег в этом номере журнала). Надеемся, что еще больше открытий ждет нас впереди. ■

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема 0149-2019-0009).

Литература / References

1. Сагалевич А.М. Глубина. М., 2002. [Sagalevich A.M. Depth. Moscow, 2002. (In Russ.).]
2. Сагалевич А.М. Романтическая океанология. М., 2018. [Sagalevich A.M. Romantic Oceanology. Moscow, 2018. (In Russ.).]
3. Галкин С.В., Сагалевич А.М. Гидротермальные экосистемы Мирового океана: исследования с глубоководных обитаемых аппаратов «Мир». М., 2012. [Galkin S.V., Sagalevich A.M. Hydrothermal ecosystems of the World ocean: research from deep-sea manned submersibles «Mir». Moscow, 2012. (In Russ.).]
4. Ballard, R.D., Grassle, J.F. Incredible world of the deep-sea rifts (strange world without sun. Return to oases of the deep). National Geographic. 1979; 156(5): 680–705.
5. Sagalevich A.M. 30 years experience of Mir submersibles for the ocean operations. Deep-Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography, 2017.

We See the Bottom!

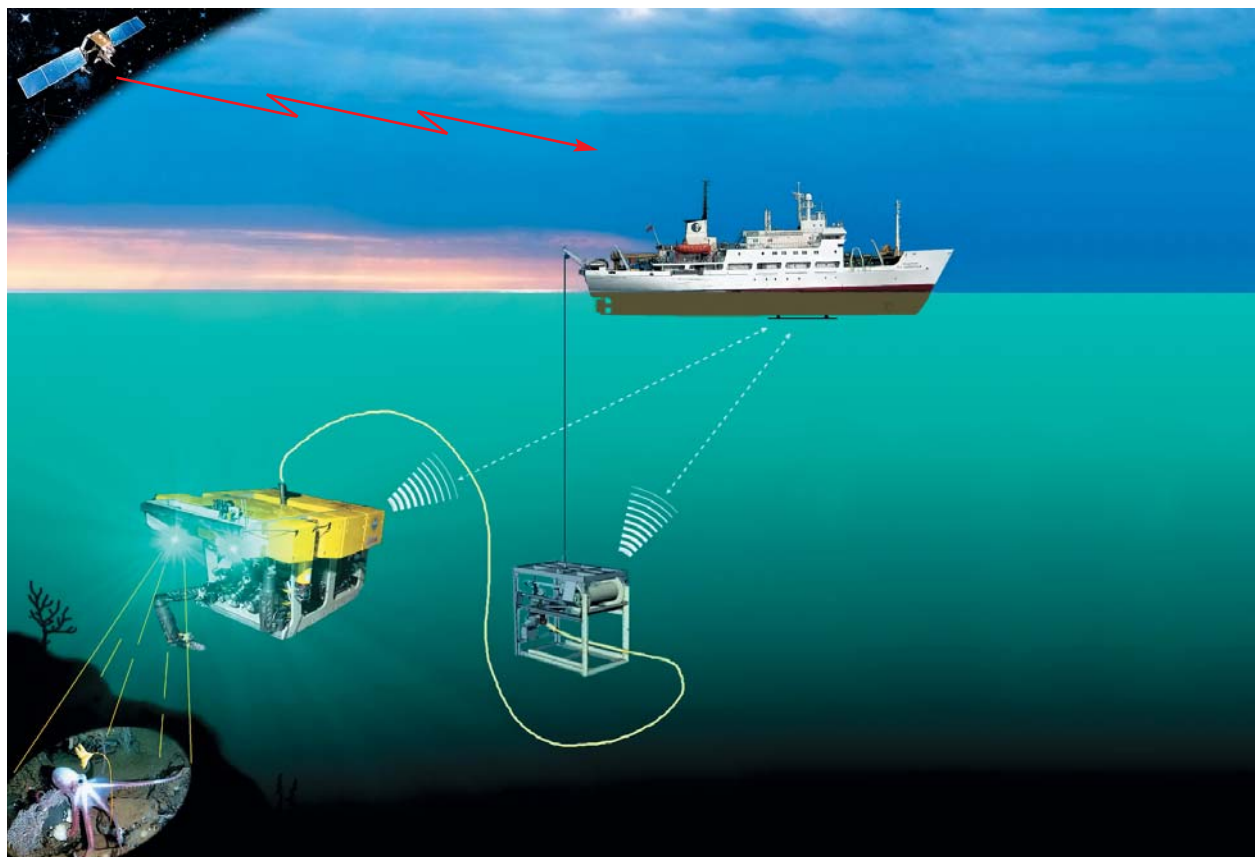
S.V.Galkin¹, G.M.Vinogradov¹

¹Shirshov Institute of Oceanology, RAS (Moscow Russia)

The article describes the specificity of deep sea research using remotely operated vehicles. On the example of the vehicle “Comanche”, with which the authors work in the Bering Sea, they show the possibility of obtaining unique information about the ocean biota.

Keywords: deep-sea manned submersibles, remotely operated vehicles, hydrothermal ecosystems of the ocean, cold seeps, deep-sea fauna.

ОТКРЫТЫ САМЫЕ СЕВЕРНЫЕ МЕТАНОВЫЕ ПОЛЯ ПАЦИФИКИ



«Видим дно!» — традиционный сигнал пилотов глубоководного аппарата, работающего во взаимодействии с командой научно-исследовательского судна (НИС). Сообщение означает, что аппарат достиг дна и можно начинать визуальные наблюдения донных экосистем, имеющие огромное значение для задач междисциплинарных исследований. В июле 2018 г. во время комплексной экспедиции НИС «Академик М.А.Лаврентьев» российские океанологи впервые обнаружили на материковом склоне Берингова моря протяженный район выходов метана и специфические сообщества донных организмов, связанные с глубинными источниками этого газа. Так был открыт самый северный в Тихом океане район метановых высачиваний и появились новые возможности понять закономерности глобального распространения так называемых восстановительных биотопов — «оазисов жизни», насыщенных метаном, сульфидами, водородом и основанных на продукции хемосинтеза. В ходе глубоководных работ телеуправляемого необитаемого аппарата «Команч» удалось нанести на географическую карту поля метановых высачиваний и собрать уникальные образцы донных осадков, воды и организмов. О выводах междисциплинарных исследований в Беринговом море, об их значении в познании биологической структуры океана и о новых возможностях для поиска в океане месторождений нефти и газогидратов участники 82-го рейса НИС «Академик М.А.Лаврентьев» рассказали в подборке статей, подготовленных специально для журнала «Природа». Многие данные авторы обсуждают впервые.

Новый регион восстановительных сообществ Мирового океана

кандидат биологических наук Е.М.Крылова¹, доктор биологических наук С.В.Галкин¹, кандидат биологических наук В.В.Мордухович^{2,4}, В.А.Денисов², кандидат биологических наук А.Н.Малютин², кандидат геолого-минералогических наук П.Е.Михайлик³, кандидат химических наук Н.С.Полоник⁵, кандидат биологических наук Н.П.Санамян⁶, В.А.Шилов², академик РАН А.В.Адрианов²

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

²Национальный научный центр морской биологии имени А.В.Жирмунского ДВО РАН (Владивосток, Россия)

³Дальневосточный геологический институт ДВО РАН (Владивосток, Россия)

⁴Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Россия)

⁵Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН (Владивосток, Россия)

⁶Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский, Россия)

В статье кратко описаны научные проблемы, определившие цели и задачи комплексной экспедиции на борту НИС «Академик М.А.Лаврентьев», которая состоялась в июне — июле 2018 г. в Беринговом море. Рейс был организован Национальным научным центром морской биологии имени А.В.Жирмунского ДВО РАН. Авторы отмечают, что в 82-м рейсе НИС «Академик М.А.Лаврентьев» были получены новые данные, значительно дополняющие существующие представления о распространении и составе восстановительных сообществ в Мировом океане. Результаты экспедиции могут представлять интерес для ресурсодобывающих компаний и важны для проведения природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: холодные высачивания метана, восстановительные сообщества Мирового океана, телеуправляемый подводный аппарат, Корякский склон Берингова моря.

Тридцать пять лет назад на дне Мексиканского залива на глубинах около 3000 м было обнаружено сообщество животных, процветающее в водах, обогащенных метаном и сероводородом [1]. Вскоре после этого открытия последовали многочисленные сообщения о новых «оазисах» на дне океана, связанных с высачиваниями из осадка метана и других восстановленных соединений [2].

Животные, населяющие поля метановых выходов, были удивительно похожи на обитателей гидротермальных биотопов, впервые обнаруженных на Галапагосском рифте в 1977 г. Оказалось, что в водах, богатых метаном и сероводородом, также живут бескишечные черви вестиментиферы и крупные двусторчатые моллюски, но условия их обитания не всегда связаны с тектонической активностью. Из-за отсутствия температурных аномалий биотопы метановых выходов часто называют холодными высачиваниями. В сообществах метановых выходов (точно так же, как вблизи гидротермальных источников на дне океана) в роли проду-

центов выступают хемо- и метанотрофные бактерии, свободноживущие или симбионты многоклеточных организмов. Высокие биомассы в этих системах, сравнимые по продуктивности с сообществами литорали, обеспечивает органика «местного» происхождения, которую синтезируют бактерии в процессе хемосинтеза и метанотрофии.

Со временем стало понятно: выходы метана (метановые сипы) — распространенное явление на дне Мирового океана, они встречаются в большом диапазоне глубин и в различных геологических условиях. Для понимания процессов, влияющих на климат Земли, важно знать источники поступления в атмосферу и динамические характеристики потоков этого парникового газа, второго по значению после диоксида углерода. Хотя глубоководные сипы не считаются значительным источником метана, вклад относительно мелководных приконтинентальных высачиваний в баланс атмосферы планеты может быть выше, чем полагают, особенно если учесть пространственную протяженность зон

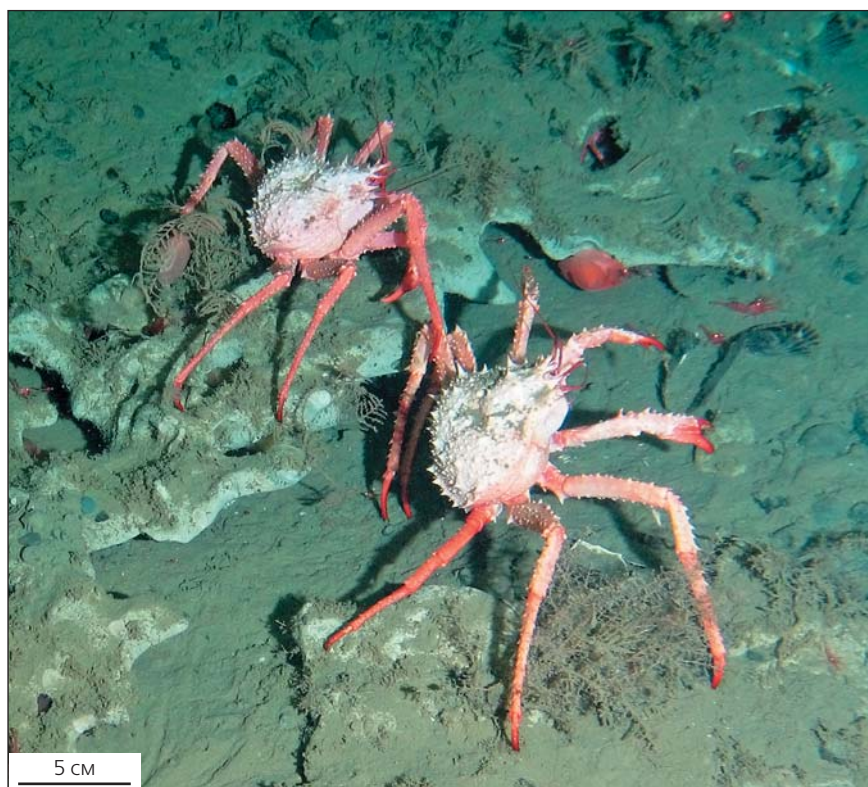


Фоновое сообщество с доминированием офиур. Корякский склон, 665 м.

Все фотографии предоставлены Национальным научным центром морской биологии ДВО РАН

разгрузки метана. Кроме того, районы его выходов представляют интерес с точки зрения природопользования как индикаторы месторождений углеводородов. В то же время, развивающиеся в восстановительных условиях биологические системы уязвимы для антропогенного воздействия, и, выбирая режим возможной эксплуатации «сиповых» экосистем, следует хорошо знать их особенности. Перечисленные обстоятельства говорят о несомненной важности комплексного изучения районов метановых выходов, включая исследование населяющих их биологических сообществ.

В морях России выходы метана и связанные с ними сообщества многоклеточных животных отмечены только в Охотском море [3] и в море Лаптевых [4]. В Беринговом же холодные метановые высачивания известны не были, однако на континен-



Карбонатные корки служат удобным субстратом для многих животных (крабы *Chionoecetes angulatus*). Корякский склон, 660 м.



Разноразмерный материал ледового разноса на периферии зоны метановых выходов. Актиния *Actinostola* sp. и кладка брюхоногого моллюска на крупном обломке породы, креветки *Eualus biunguis*; местами заметны клочки бактериального мата. Корякский склон, 660 м.

тальном склоне в результате исследований сейсмики в 1988 и 2007 гг. ученые выявили зоны, которые потенциально могли содержать газогидраты [5]. На существование в данном районе восстановительных условий указывало также присутствие в траловых уловах створок двустворчатых моллюсков плиокардиин [6, 7]. Более того, на основании этих находок было сделано предположение о наличии на Корякском склоне гидротермального района, которому в случае обнаружения предлагалось присвоить имя Ч.М.Нигматуллина (Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Калининград), первым собравшего здесь плиокардиин [6]. Очевидно, что для более глубокого понимания закономерностей распространения восстановительных условий и биологии восстановительных сообществ требовались специальные исследования континентального склона Берингова моря. И летом 2018 г. Национальный научный центр морской биологии имени А.В.Жирмунского ДВО РАН организовал комплексную экспедицию на борту научно-исследовательского судна (НИС) «Академик М.А.Лаврентьев».

В 82-м рейсе НИС «Академик М.А.Лаврентьев» работали специалисты из Владивостока, Москвы, Петропавловска-Камчатского и Севастополя.



Фоновое сообщество с доминированием морских перьев *Protophilum* sp. с сидящими на них симбиотическими офиурами *Asteropur* sp. Корякский склон, 430 м.



Морские ежи *Brisaster latifrons* среди бактериальных матов в сипе. Корякский склон, 429 м.

В число наших важнейших задач входили поиск и описание восстановительных биотопов на Корякском склоне Берингова моря, определение их геологических и химических особенностей, а также состава и структуры биологических сообществ, развивающихся в восстановительных условиях.

Определить местонахождение небольших по площади сообществ на основании результатов траления можно лишь приблизительно, но наш исследовательский коллектив возлагал большие надежды на работы с применением телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) «Команч»: мы предполагали использовать его в качестве одного из основных методов локализации сипов и сбора материала.

Поскольку на Корякском склоне отсутствуют геологические предпосылки для развития гидротермальных проявлений, мы ожидали обнаружить не гидротермы, а поля углеводородных высачиваний. Расчеты полностью оправдались. В июле 2018 г. были найдены поля метановых высачиваний и ассоциированные с ними сообщества [8].

В результате работы экспедиции на всем протяжении Корякского склона обнаружены метановые выходы*. По нашим предварительным данным, основные места разгрузки метана на изученной



Фоновое сообщество с доминированием актиний *Sagartiogiton* cf. *S. californicus*. Корякский склон, 402 м.

* См. статью Н.С.Полоника (с.36).



Интенсивно развитые бактериальные маты в районе метанового высачивания. Корякский склон, 402 м.

акватории Берингова моря располагаются на глубинах от 332 до 708 м.

Было обследовано пять полей холодных высачиваний и связанных с ними сообществ на глубинах от 400 до 693 м. Сделаны сотни фотографий и отсняты часы видеозаписей, взяты пробы грунта для исследования мейобентоса и отобраны образцы макрофауны для проведения морфологических, молекулярных и изотопных исследований. В настоящее время специалисты анализируют собранные материалы для получения детальной информации о структуре и функционировании сообществ холодных высачиваний Корякского склона. На основе предварительных данных можно утверждать, что метановые выходы, обнаруженные на разных глубинах, значительно различаются по своим проявлениям, и приуроченные к ним сообщества можно разделить на три типа.

Сообщества первого типа отмечены на глубинах 695–647 м в окружении фоновой биоты, состоящей из офиур и креветок. Специализированные хемосимбиотрофные двустворки *Calyplogena pacifica* (Pliocardiinae)* присутствуют в больших количествах, образуя поселения вдоль трещин, из которых сочится флюид, обогащенный метаном. В таких зонах фауна богаче и разнообразнее по сравнению с фоновыми участками, в частности здесь отмечены

виды актиний, не встреченные ранее. Заметны карбонатные постройки причудливой формы — «карбонатные холмы», достигающие высоты 1 м. В определенной мере обилие фауны в районах высачиваний можно объяснить присутствием в этих зонах большого количества карбонатных образований, а также материала ледового разноса, которые используются животными как твердый субстрат.

Сообщества второго типа обнаружены на глубинах от 429 до 417 м в пределах фонового биотопа, где доминируют морские перья *Protoptilum* с сидящими на них симбиотическими офиурами *Asteronyx* sp. и морские ежи *Brisaster latifrons*. Из специализированных форм представлены калиптогены, но уже не в таких количествах, как на большей

глубине. Численность и разнообразие фауны в районе высачиваний несколько выше, чем на фоновых участках. Плотность поселений морских ежей вблизи локальных сипов (которые заметны по бактериальным матам) заметно увеличивается в сравнении с окружающим пространством, в то время как морские перья явно избегают мест высачиваний метана. По предварительным данным, ежи используют бактериальный мат в пищу.

Сообщества третьего типа — самые мелководные были обнаружены на глубинах 400–402 м. В фоновом биотопе доминируют актинии *Sagartiogeton* cf. *S. californicus* (Sagartiidae). Многочисленные и обширные высачивания размером более 1 м маркируются интенсивными бактериальными матами. Калиптогены присутствуют в очень небольших количествах на периферии сипов. Реакции макрофауны на такие выходы метана выявить не удалось.

Метановые высачивания на Корякском склоне представляют собой новый регион восстановительных биотопов в масштабе Мирового океана. В бассейне Тихого океана это самые северные из известных в настоящее время сообществ, основанных на хемосинтезе. Дальнейшее изучение собранного в экспедиции материала поможет выявить детали их структуры и определить специфику функционирования восстановительных сообществ в высоких широтах. ■

* См. статью Е.М.Крыловой, Е.В.Колпакова (с.30).

Авторы глубоко благодарны капитану В.Б.Птушкину и всей команде судна «Академик М.А.Лаврентьев» за всестороннюю помощь и поддержку. Без высокопрофессиональной работы штурманской службы судна и пилотов ТНПА «Команч 18» проведенная работа была бы невозможна.

Экспедиционные исследования проведены при финансовой поддержке ФАНО (целевое финансирование на проведение морских экспедиционных исследований), отбор и первичная обработка биологических образцов выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда №14-50-00034 (направление 2); геологические работы выполнялись в рамках раздела 1.3 «Геодинамика формирования окраинных бассейнов Западной Пацифики, особенности седиментогенеза и вулканизма» темы 1 НИР ДВГИ ДВО РАН; первичная таксономическая обработка и анализ ландшафтов на основе видеозаписей выполнялись в рамках госзадания (тема №0149-2019-0009); работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 18-05-60228).

Литература / References

1. Paull C.K., Hecker B., Commeau R. *et al.* Biological communities at the Florida escarpment resemble hydrothermal vent taxa. *Science*. 1984; 226(4677): 965–967. Doi:10.1126/science.226.4677.965.
2. Suess E., Carson B., Ritger S.D. *et al.* Biological communities at Vent sites along the subduction zone off Oregon. *Bulletin of the biological of Washington*. 1985; 6: 475–484.
3. Sahling H., Galkin S.V., Salyuk A. *et al.* Depth-related structure and ecological significance of cold-seep communities — a case study from the Sea of Okhotsk. *Deep-Sea Res. Part I, Oceanogr. Res. Pap.* 2003; 50: 1391–1409. Doi:doi.org/10.1016/j.dsr.2003.08.004.
4. Savvichev A.S., Kadnikov V.V., Kravchishina M.D. *et al.* Methane as an organic matter source and the trophic basis of a Laptev Sea cold seep microbial community. *Geomicrobiology Journal*. 2018; 35(5): 411–423. Doi:10.1080/01490451.2017.1382612.
5. Греция Е.В., Петровская Н.А. Нефтегазоносность Хатырского осадочного бассейна (Берингово море). Газовая промышленность. 2010; 38–44. [Gretskaya E.V., Petrovskaya N.A. Khatyrskoe petroleum potential of the sedimentary basin (Bering sea). *Gas Industry*. 2010; 38–44. (In Russ.).]
6. Данилин Д.Д. Двустворчатые моллюски как потенциальные индикаторы районов гидротермальной активности. Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский, 2013; 291–294. [Danilin D.D. Bivalves as potential indicators of hydrothermal activity areas. *Materials of the conference devoted to the day of volcanologist «Volcanism and related processes»*. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2013; 291–294. (In Russ.).] Available at: www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2013/art41.pdf
7. Krylova E.M., Kolpakov E.V., Sharina S.N. *et al.* Distribution patterns of chemosymbiotic bivalves of the subfamily Pliocardiinae (Bivalvia: Vesicomidae) from the North-West Pacific. 15-th International deep-sea biological Symposium. Monterey (USA). 2018; 32–33.
8. Галкин С.В., Мордухович В.В., Крылова Е.М. и др. Комплексные исследования экосистем гидротермальных выходов и холодных высачиваний в Беринговом море (82-й рейс НИС «Академик М.А.Лаврентьев»). Океанология. 2019; 4 (в печати). [Galkin S.V., Mordukhovich V.V., Krylova E.M. *et al.* Comprehensive studies of ecosystems of hydrothermal outlets and cold seeps in the Bering sea (82-nd voyage of RV “Academik M.A.Lavrentyev”). *Oceanology*. 2019; 4 (in press). (In Russ.).]

A New Region of Methane-Seep Communities of the World Ocean

E.M.Krylova¹, S.V.Galkin¹, V.V.Mordukhovich^{2,4}, V.A.Denisov², A.N.Malyutin², P.E.Mikhailik³, N.S.Polonik⁵, N.P.Sanamyana⁶, V.A.Shilov², A.V.Adrianov²

¹Shirshov Institute of Oceanology, RAS (Moscow, Russia)

²Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch of RAS (Vladivostok, Russia)

³Geological Institute, Far Eastern Branch of RAS (Vladivostok, Russia)

⁴Far East Federal University (Vladivostok, Russia)

⁵Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of RAS (Vladivostok, Russia)

⁶Kamchatka Branch of Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of RAS (Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia)

The article briefly describes the scientific goals and preliminary results of the multidisciplinary expedition onboard RV “Akademik M.A.Lavrentyev”, conducted by the A.V.Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of FEB RAS. During the 82nd cruise, a new methane seep region was discovered on the Koryak slope of the Bering Sea. These cold seeps are the northernmost chemosynthesis-based communities in the Pacific. Further study of collected materials will help to understand how these communities function at high latitudes. Results of the expedition can be of considerable interest to resource companies and are necessary for environmental protection activity.

Keywords: cold methane seepage, chemosynthesis-based communities, remotely operated vehicle, Koryak Slope of the Bering Sea.

Живые индикаторы метановых выходов и гидротерм

Е.М.Крылова¹, Е.В.Колпаков²

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

²Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Владивосток, Россия)

В статье изложена история изучения глубоководных двустворчатых моллюсков плиокардин (*Bivalvia: Vesicomysidae: Pliocardiinae*), являющихся маркером восстановительных биотопов на дне океана, включая гидротермы и районы метановых выходов. Описаны особенности биологии этих животных. Рассказано о значении открытия российскими учеными местообитаний плиокардин на Корякском склоне Берингова моря в июле 2018 г. Находки плиокардин не только указывают на современные районы метановых выходов, но и позволяют реконструировать распределение восстановительных условий в прошлом.

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, *Pliocardiinae*, *Vesicomysidae*, восстановительные биотопы, углеводородные высачивания, гидротермы, бактериальная симбиотрофия, адаптации, реконструкция путей распространения, Берингово море.

В число задач 82-го рейса научно-исследовательского судна «Академик М.А.Лаврентьев» были включены поиск и описание восстановительных биотопов на Корякском склоне Берингова моря. О существовании в этом районе восстановительных условий свидетельствовало присутствие в траловых уловах научно-исследовательских судов живых двустворчатых моллюсков плиокардин и створок их раковин [1, 2]. В июле 2018 г. с помощью телеуправляемого необитаемого подводного аппарата «Comanche 18» («Команч») было найдено самое северное местообитание плиокардин в Мировом океане, отобраны биологические пробы, получены редкие фото- и видеоматериалы [3].

Для того чтобы объяснить читателю, почему летом 2018 г. места находок плиокардин стали «путеводной нитью» наших изысканий и какими особенностями этих двустворок обусловлена их приуроченность к районам гидротерм и высачиваний углеводородов, перевернем назад несколько страниц истории изучения этих глубоководных моллюсков и вернемся в последнюю треть XX в.



Елена Михайловна Крылова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории донной фауны океана Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН. Принимала участие в российских и международных океанических научных рейсах. Область научных интересов — фауна восстановительных биотопов, систематика, морфология, распространение и эволюция глубоководных двустворчатых моллюсков.
e-mail: elenamkr@mail.ru



Евгений Викторович Колпаков, научный сотрудник лаборатории бентоса Тихоокеанского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. Область научных интересов — фауна, распространение и экология двустворчатых моллюсков дальневосточных морей.
e-mail: kolpakovternei@mail.ru

Загадочные гигантские двустворки

Двустворки подсемейства плиокардин (*Bivalvia: Vesicomysidae*) — одни из самых ярких представителей глубоководных сообществ, развивающихся на основе хемосинтеза в так называемых восстановительных условиях. В течение почти 100 лет, прошедших со времени описания первых видов этого

подсемейства до открытия глубоководных восстановительных биотопов на дне океана в 1977 г., эти моллюски оставались самой таинственной и малоизученной группой глубоководных двустворок. В сборах экспедиций они встречались крайне редко и обычно на глубинах свыше 1000 м. Как правило, размеры глубоководных двустворок невелики: моллюски длиной 3 см уже считаются гигантами. Однако у подавляющего большинства плиокардиин длина тела превышает 3.5 см и в среднем составляет 8–10 см. Им же принадлежит рекорд среди глубоководных двустворок: длина отдельных экземпляров достигает 30 см (!). Столь значительные размеры тела при довольно неблагоприятных трофических условиях нижней батиали и абиссали — поистине парадокс! И он требовал объяснения.

Поскольку при отборе проб попадались, в основном, пустые створки моллюсков, ученые предполагали, что эти фрагменты могли быть снесены течениями с шельфа. Однако в мелководных местообитаниях загадочных двустворок тоже не находили...

В рамках существовавшей до 1977 г. парадигмы, согласно которой все органическое вещество Мирового океана образуется в его поверхностных горизонтах или поступает с суши, было невозможно разгадать природу существования в глубоководье (т.е. в условиях хронического недостатка питательных веществ) крупноразмерных животных, формирующих популяции высокой плотности. Попытка объяснить процветание гигантов на глубинах наличием альтернативного источника органики — хемосимбиотрофных бактерий, которые живут в клетках их тела — в то время граничила бы с фантастикой.

В 1977 г., когда на глубинах около 3000 м в районе Галапагосского рифа с помощью американского подводного обитаемого аппарата «Алвин» были обнаружены выходы горячих растворов, обогащенных сероводородом, солями металлов и водородом, начался новый этап в истории изучения плиокардиин. В непосредственной близости от выходов гидротермальных флюидов процветали богатые сообщества необычных животных, питающихся, как было показано позднее, органическим веществом хемосинтетического происхождения. Одним из доминирующих видов сообществ была гигантская двустворка неизвестного науке вида (рис.1), который получил говорящее название «*magnifica*» [4]. Этот вид плиокардиин стал символом эпохального открытия гидротермальных систем.

Вслед за гидротермами были открыты холодные углеводородные высачивания и связанная с ними фауна на дне Мексиканского залива и у берегов штата Орегон в северо-восточной части Тихого океана. Затем последовали многочисленные сообщения о новых находках «оазисов»

на дне океана. В отечественных исследованиях восстановительных биотопов ключевую роль сыграли подводные обитаемые аппараты «Пайсис», «Мир-1» и «Мир-2» [5]. Повышенные концентрации метана и сульфидов были отмечены не только в районах гидротерм и холодных высачиваний, но также и в местах скопления разлагающейся органики, например, около затонувших скелетов китов. Практически в каждом из этих биотопов встречались, а часто и доминировали двустворки плиокардиины.

В настоящее время в подсемействе Pliocardinae описано более 110 ныне живущих видов, распространенных в восстановительных биотопах по всему Мировому океану на глубинах от 100 до 6809 м [6]. Плиокардиины вошли в число самых изученных глубоководных групп двустворчатых моллюсков и стали модельным объектом для изучения физиологии, биохимии, популяционной генетики и эволюции хемосимбиотрофных организмов. Практически весь материал для этих исследований был получен с помощью подводных аппаратов, без использования которых изучение восстановительных сообществ Мирового океана было бы невозможно [5].

Бактериальная симбиотрофия

Плиокардиины — наиболее успешная группа двустворок восстановительных биотопов, по числу видов они лидируют среди двустворчатых моллюсков районов углеводородных высачиваний. Биомасса плиокардиин может превышать 30 кг/м², что сопоставимо с биомассой мидиевых банок на мелководье. Успех группы обеспечил целый комплекс морфологических, физиологических и био-



Рис.1. Популяция *Calymene magnifica* в природе. Калифорнийский залив, 2290 м, гидротермальный биотоп. Длина раковин на снимке около 20 см. Фото любезно предоставлено MBARI (Исследовательский институт аквариума Монтеррея) с разрешения Р.Врайенхука.

химических адаптаций, главной из которых стало развитие внутриклеточного симбиоза с хемолито-автотрофными бактериями.

Все до сих пор изученные виды плиокардиин живут в обязательном симбиозе с сульфид-окисляющими (тиотрофными) гамма-протеобактериями [7]. Эти бактерии содержатся в специализированных клетках эпителия жабр, называемых бактериоцитами. Моллюск снабжает симбионтов необходимыми для их функционирования сульфидами, кислородом и углекислым газом. А бактерии, используя энергию окисления сульфидсодержащих восстановленных соединений, синтезируют органическое вещество из неорганического углерода, за счет которого и живет моллюск [8]. Предполагают, что моллюск получает питательные вещества посредством лизиса бактериальных клеток, в результате чего органические молекулы попадают в цитоплазму бактериоцитов, а далее в гемолимфу. Молекулярный анализ показал, что по сравнению со свободноживущими бактериями геномы симбиотических бактерий имеют значительно меньшие размеры. Так, геном симбионта *Calyplogena magnifica* в два раза меньше геномов их ближайших свободноживущих родственников [9]. Это свидетельствует о значительных перестройках физиологии участников симбиотического взаимодействия. Основной путь «заражения» плиокардиин бактериальными симбионтами — так называемый вертикальный: бактерии передаются от материнских особей к следующим поколениям моллюсков через яйцеклетки.

Изначально на поверхности каждой яйцеклетки имеется около 400 бактерий, которые в процессе развития и дифференциации тканей и органов моллюска размножаются и занимают внутриклеточное положение в тканях жабр [10]. В целом, бактерии видоспецифичны для плиокардиин (каждый вид моллюсков содержит свой вид бактерий). Однако описано несколько случаев, когда в тканях моллюска помимо обычных его симбионтов присутствовало небольшое число бактерий, характерных для живущего поблизости вида плиокардиин [11]. Механизм такой передачи симбионтов еще не известен. Установление симбиотических отношений с тиотрофными бактериями дало возможность плиокардиинам широко освоить глубоководные восстановительные биотопы.

Вовлечение моллюсков в симбиотические отношения с бактериями вызвало значительные анатомические, биохимические и физиологические перестройки их организма. Поскольку жабры превратились в орган-инкубатор для бактерий, у каждого жаберного филамента появилась дополнительная часть — так называемая септа, состоящая из клеток-бактериоцитов, заполненных бактериями (рис.2). Пищеварительная система, на-

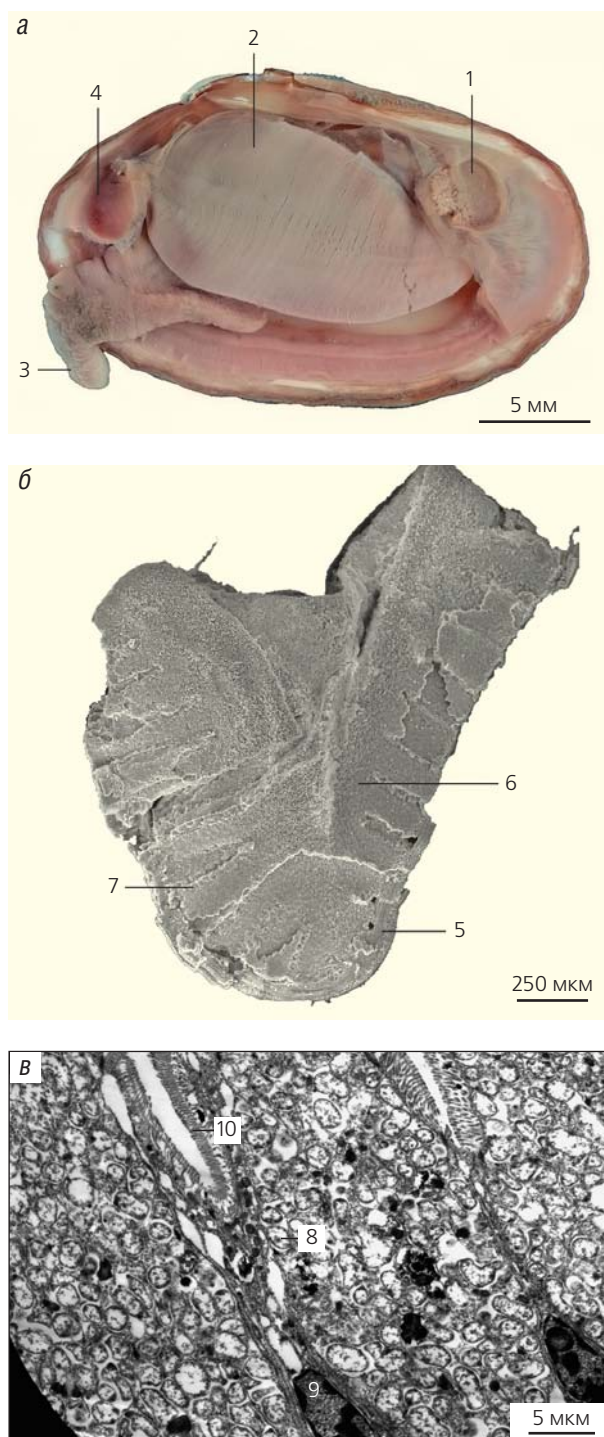


Рис.2. Строение плиокардиины: а — тело *Calyplogena pacifica* (левая створка удалена), 1 — задний мускул-замыкатель, 2 — левая жабра, 3 — нога, 4 — передний мускул-замыкатель; б — внутреннее строение жабры (сканирующий электронный микроскоп), 5 — жаберный филламент; 6 — септа, состоящая из бактериоцитов и заполняющая пространство между филламентами, 7 — отдельные бактериоциты, различаемые в септе; в — жаберный эпителий плиокардиины, в котором видны специализированные клетки бактериоциты, содержащие многочисленные бактерии, и узкие промежуточные клетки с ядрами у основания бактериоцитов (просвечивающий электронный микроскоп), 8 — бактерии, 9 — ядро, 10 — микровилли.

против, уменьшилась. Кишка самых приспособленных к симбиотрофии моллюсков превратилась в тонкую, лишенную петель трубку. Пищеварительная камера («желудок») также мала и отличается упрощенной внутренней структурой.

В отличие от подавляющего большинства двусторчатых моллюсков, у плиокардин в гемолимфе присутствует внутриклеточный гемоглобин, отчего она окрашена в красный цвет. Более того, виды плиокардин могут различаться по структуре и числу видов гемоглобина, имеющего у этих животных в среднем очень высокое сродство к кислороду (хотя оно варьирует у разных видов) [12]. Способность гемоглобина эффективно связывать кислород имеет особое значение в восстановительных местообитаниях.

Живая летопись тектонической активности на дне океана

Поскольку плиокардины живут в обязательном симбиозе с тиотрофными бактериями, повышенное содержание сульфидов в осадке — неременное условие их существования. Источник повышенной концентрации сульфидов может быть любым. В случае гидротерм, восстановленные соединения, включая H_2S и сульфиды металлов, присутствуют в горячих растворах, выделяющихся из трещин океанической коры. В районах холодных углеводородных выходов присутствие в осадках сульфидов — результат анаэробного окисления метана. В целом для подсемейства нижняя граница необходимой концентрации сульфидов в осадках составляет примерно 100 мкмоль.

Мы составили карту всех местообитаний плиокардин, включая литературные и неопубликованные оригинальные данные (рис.3). 33 вида плиокардин были описаны до открытия феномена восстановительных сообществ и собраны с помощью тралов «вслепую». Оказалось, что все старые находки расположены в районах, где впоследствии обнаружены углеводородные или гидротермальные выходы.

Открытие донных восстановительных биотопов и связанных с ними специализированных сообществ на Корякском склоне стало одной из наиболее ярких научных удач экспедиции. Было собрано много материала, требующего длительной обработки и анализа, так что детальное обсуждение результатов и основные выводы еще впереди. Но уже сейчас можно с уверенностью

сказать: открыты самые северные в бассейне Тихого океана восстановительные биотопы. Кроме того, это самая северная в мире область, где обнаружены современные плиокардины. Ранее в Беринговом море восстановительные условия и связанные с ними сообщества были отмечены только на вулкане Пийпа, расположенном в юго-западной части Берингова моря на склоне Командорских островов*. Тогда исследования проводились с применением обитаемых глубоководных аппаратов Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН [13].

Пока на Корякском склоне встречены два вида плиокардин (*Calyptogena pacifica* и *Phreagena soyoeae*). *C.pacifica* обнаружена на глубинах от 400 до 695 м, причем на 650 м вид образовывал очень плотные поселения (рис.4). В тех же поселениях были встречены единичные экземпляры *P.soyoeae*.

Еще до того как состоялись наши находки, было известно, что оба вида, несмотря на узкоспецифические требования к среде, имеют протяженные амфиоцифические ареалы — т.е. обитают и в Западной, и в Восточной Пацифике. Молекулярные данные указывали на высокий уровень генетического сходства популяций из удаленных частей ареалов [14]. Однако механизм поддержания генетического сходства на всем протяжении области распространения был непонятен. О популяциях, которые могли бы обеспечивать связь между различными частями ареала, известно не было.

Новые находки плиокардин в Беринговом море значительно уменьшают расстояние между западными и восточными частями ареалов видов. Кроме того, полученные в ходе нашей экспедиции данные о количественном распространении метана

* Островной склон — подводный склон острова, лежащего вне шельфовой зоны.

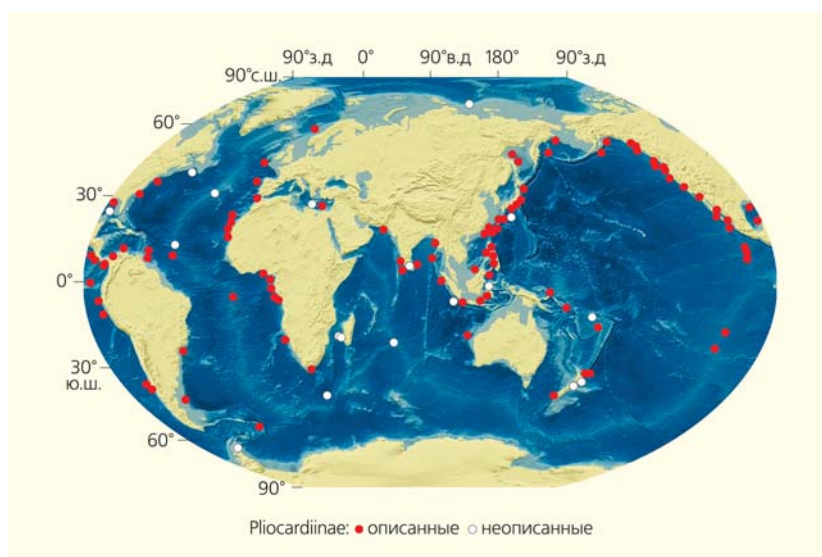


Рис.3. Карта распространения двустворок плиокардин (*Bivalvia: Vesicomidae*).

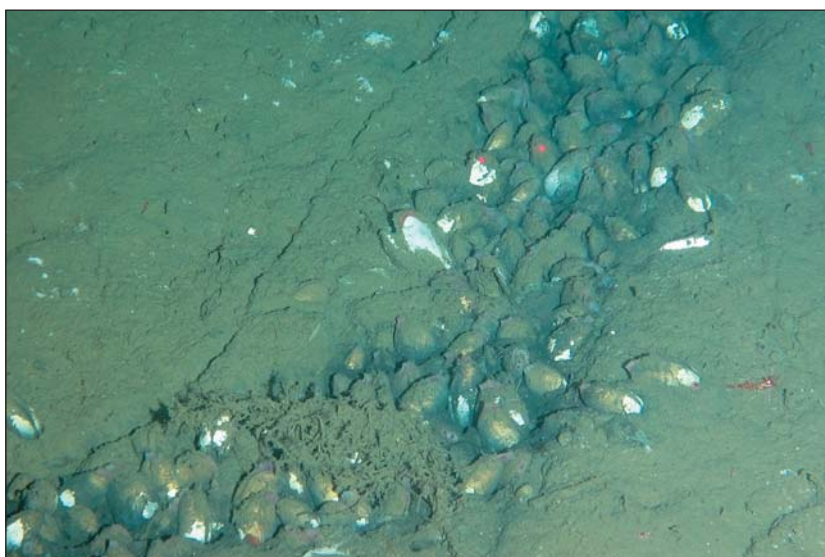


Рис.4. Популяция *Calyptogena pacifica* в природе. Корякский склон, 660 м, биотоп метановых выходов. Расстояние между лазерными точками — 5 см. Фото представлено Национальным научным центром морской биологии ДВО РАН.

в толще воды на Корякском склоне* указывают на более широкое, чем известно в настоящее время, распространение восстановительных условий, которые могут поддерживать еще не обнаруженные специализированные сообщества. Получается, что западная и восточная части ареалов связываются через северный «мост» из уже открытых и предполагаемых восстановительных биотопов. Заметим: в северной части Тихого океана более трети видов плиокардиин имеют амфиокеанический ареал, что значительно больше, чем в Атлантике, где западный и восточный континентальные склоны расположены ближе друг к другу, но не связаны цепочкой подходящих для плиокардиин биотопов [2].

Околоконтинентальные восстановительные биотопы в северной Пацифике располагаются в батии (от 300 до 3000 м), обеспечивая пути распространения видам, живущим именно на этих глубинах.

Интересно, что сходство фаун плиокардиин западной и восточной частей Северной Пацифики проявляется не только в большой доле общих видов, но и в наличии близкородственных сестринских — так называемых видов-двойников. В отли-

чие от амфиокеанических видов, «двойники» обитают преимущественно в абиссали, т.е. глубже 3000 м. Возможно, виды-двойники появились у западного и восточного континентальных склонов Пацифики в результате более ранних миграций, которые невозможны в современных условиях. Время дивергенции видов двойников, имеющих общего предка, определено на основе молекулярных данных [15] и приходится на конец миоцена — начало плиоцена. Известно, что именно в этот период в Северной Пацифике возросла тектоническая активность, что, в частности, привело к открытию Берингова пролива около 5.4 млн лет назад [16]. С тектонической активностью на дне океана связано

появление восстановительных биотопов, что могло способствовать усилению трансацифических миграций абиссальных плиокардиин.

Прочная связь распространения плиокардиин с районами повышенной концентрации сульфидов делает их удобными и надежными индикаторами восстановительных условий на дне океана. Данные о нахождении плиокардиин дают возможность выявлять области углеводородных высачиваний и гидротермальных выходов, а также реконструировать восстановительные условия, существовавшие в прошлом.

На карте распространения плиокардиин часть современных находок совпадает с областями, в которых восстановительные биотопы пока не известны, однако их присутствие можно прогнозировать с очень высокой степенью вероятности (см. рис.3). Так, в частности, мы можем ожидать наличие восстановительных условий в абиссали Бискайского залива (восточная часть Атлантического океана) и на склоне о.Мадагаскар (западная часть Индийского океана). Анализ ареалов моллюсков однозначно свидетельствует о том, что восстановительные условия в Мировом океане распространены шире, чем это предполагается сейчас. ■

* См. статью Н.С.Полоника (с.36).

Мы благодарим В.А.Надточего (Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО)) за материалы плиокардиин с Корякского склона Берингова моря, собранные в экспедициях ТИНРО. Е.М.Крылова глубоко благодарна сотрудникам и руководству Национального научного центра морской биологии имени А.В.Жирмунского ДВО РАН за приглашение принять участие в экспедиции, всему научному составу экспедиции, капитану В.Б.Птушкину и команде судна «Академик М.А.Лаврентьев», пилотам и техникам телеуправляемого необитаемого подводного аппарата «Команч» за высокопрофессиональную работу.

Работа Е.М.Крыловой частично поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-05-60228).

Литература / References

1. Данилин Д.Д. Двустворчатые моллюски как потенциальные индикаторы районов гидротермальной активности. Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский, 2013; 291–294. http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2013/art41.pdf [Danilin D.D. Bivalves as potential indicators of hydrothermal activity areas. Materials of the conference devoted to the day of volcanologist «Volcanism and related processes». Petropavlovsk-Kamchatsky, 2013; 291–294. (In Russ.).]
2. Krylova E.M., Kolpakov E.V., Sharina S.N. et al. Distribution patterns of chemosymbiotic bivalves of the subfamily Pliocardiinae (Bivalvia: Vesicomidae) from the North-West Pacific. 15-th International deep-sea biological symposium, Monterey (USA). 2018; 32–33.
3. Галкин С.В., Мордухович В.В., Крылова Е.М. и др. Комплексные исследования экосистем гидротермальных выходов и холодных высачиваний в Беринговом море (82-й рейс НИС «Академик М.А.Лаврентьев»). Океанология. 2019; 4 (в печати). [Galkin S.V., Mordukhovich V.V., Krylova E.M. et al. Comprehensive studies of ecosystems of hydrothermal outlets and cold seeps in the Bering sea (82nd voyage of research vessel "Academik M.A.Lavrentyev"). Oceanology. 2019; 4 (in press). (In Russ.).]
4. Boss K.J., Turner R.D. The giant white clam from the Galapagos rift, *Calyptogena magnifica* species novum. Malacologia. 1980; 20: 161–194.
5. Сагалевиц А.М. Значение визуальных наблюдений в глубоководных исследованиях океана. Природа. 2018; 8: 58–66. [Sagalevich A.M. The Value of visual observations in deep ocean studies. Priroda. 2018; 8: 58–66. (In Russ.).] Doi:10.31857/S0032874X0000489-6.
6. Krylova E.M., Sahling H. Vesicomidae (Bivalvia): current taxonomy and distribution. PLoS ONE. 2010; 5(4): e9957. Doi:10.1371/journal.pone.0009957.
7. Dubilier N., Bergin C., Lot C. Symbiotic diversity in marine animals: The art of harnessing chemosynthesis. Nature Reviews Microbiology. 2008; 6: 725–740. Doi:10.1038/nrmicro1992.
8. Cavanaugh C.M. Symbiotic chemoautotrophic bacteria in marine invertebrates from sulphide-rich habitats. Nature. 1983; 302: 58–61. Doi:10.1038/302058a0.
9. Newton I.L.G., Woyke T., Auchtung T.A. et al. The *Calyptogena magnifica* chemoautotrophic symbiont genome. Science. 2007; 315: 998–1000. Doi:10.1126/science.1138438.
10. Ikuta T., Igawa K., Tame A. et al. Surfing the vegetal pole in a small population: extracellular vertical transmission of an “intracellular” deep-sea clam symbiont. Royal Society Open Science. 2016; 3: 160130. Doi:10.1098/rsos.160130.
11. Decker C., Olu K., Arnaud-Haond S. et al. Physical proximity may promote lateral acquisition of bacterial symbionts in vesicomid clams. Public Library of Science One. 2013; 8: e64830–64812. Doi:10.1371/journal.pone.0064830.
12. Decker C., Zorn N., Potier N. et al. Globin's structure and function in vesicomid bivalves from the Gulf of Guinea cold seeps as an adaptation to life in reduced sediments. Physiological and Biochemical Zoology. 2014; 87: 855–869. Doi:10.1086/678131.
13. Сагалевиц А.М., Торохов П.В., Галкин С.В. и др. Гидротермальные проявления подводного вулкана Пийпа (Берингово море). Изв. РАН. Сер. геол. 1992; 9: 104–114. [Sagalevich A.M., Torokhov P.V., Galkin S.V. et al. Hydrothermal manifestations of the underwater Pijp volcano (Bering sea), Izv. RAS. Ser. geologist. 1992; 9: 104–114. (In Russ.).]
14. Audzijonyte A., Krylova E.M., Sahling H., Vrijenhoek R.C. Molecular taxonomy reveals broad trans-oceanic distributions and high species diversity of deep-sea clams (Bivalvia: Vesicomidae: Pliocardiinae) in chemosynthetic environments. Systematics and Biodiversity. 2012; 10: 403–415. Doi:10.1080/14772000.2012.744112.
15. Johnson S.B., Krylova E.M., Audzijonyte A. et al. Phylogeny and origins of chemosynthetic vesicomid clams. Systematics and Biodiversity. 2017; 1–15. Doi:10.1080/14772000.2016.1252438.
16. Gladenkov A.Y., Gladenkov Y.B. 2004. Onset of connections between the Pacific and Arctic Oceans through the Bering Strait in the Neogen. Stratigr. Geol. Correl. 2004; 12: 175–187.

Live Indicators of the Deep-Sea Hydrothermal Vents and Methane Seeps

E.M.Krylova¹, E.V.Kolpakov²

¹Shirshov Institute of Oceanology, RAS (Moscow, Russia)

²Pacific Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (Vladivostok, Russia)

The article describes the history of research of deep-sea pliocardine bivalves (Bivalvia: Vesicomidae: Pliocardiinae), which are a marker of hydrothermal vents and hydrocarbon seeps on the ocean floor. Ecological and morphological traits of these molluscs are reviewed. The importance of the discovery of populations of pliocardines on the Koryak slope in the Bering Sea in July 2018 is discussed. Findings of pliocardines not only indicate the modern areas of methane seeps, but also allow reconstructing the distribution of reducing conditions in the past.

Keywords: bivalve molluscs, Pliocardiinae, Vesicomidae, reducing environments, methane seeps, hydrothermal vents, bacterial symbiotrophy, adaptations, reconstruction of dispersal, Bering sea.

Источники метана на Корякском склоне Берингова моря

Н.С.Полоник

Тихоокеанский океанологический институт имени В.И.Ильичева РАН (Владивосток, Россия)



В статье впервые представлен ряд результатов комплексной экспедиции научно-исследовательского судна «Академик М.А.Лаврентьев», состоявшейся в июне — июле 2018 г. и посвященной поиску и исследованию глубоководных источников метана. При изучении континентального склона Берингова моря на глубинах от 400 до 700 м с помощью газохимических методов были обнаружены многочисленные газопроявления, связанные с деятельностью холодных метановых сипов.

Ключевые слова: холодные метановые сипы, газовые гидраты, окраинные моря, Берингово море, газохроматографический анализ, метан в морской воде.



Никита Сергеевич Полоник, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории газогеохимии Тихоокеанского океанологического института имени В.И.Ильичева РАН. Область научных интересов — геохимия органического вещества морских осадков, хромато-масс-спектрометрия, изучение взаимосвязи диагенеза осадочных отложений и образования газовых гидратов.
e-mail: nikpol@poi.dvo.ru

На протяжении нескольких последних десятилетий ученые интенсивно исследуют холодные метановые сипы и другие источники метана, локализованные на морском дне [1, 2]. Интерес к этим необычным геологическим объектам связан с освоением шельфовой зоны на участках нефте- и газодобычи, со строительством подводных трубопроводов, разведкой запасов нефти и газа, а также таких перспективных видов углеводородного сырья как газовые гидраты. Особую значимость поискам газовых сипов, мониторингу их активности, расчетам величин поступления метана в гидросферу и атмосферу придает проблема глобального потепления, вызванная эмиссией парниковых газов, в том числе метана. Дальнейшее повышение температуры воздуха способно привести к разрушению значительных запасов газовых гидратов в морских осадках арктических морей и многолетних мерзлых породах, что спровоцирует резкое высвобождение больших объемов метана, его поступление в атмосферу, а это, в свою очередь, запустит цикл непрерывного изменения климата [3].

Метан подводных источников необходим для развития метанотрофных бактерий, он формирует специфические физико-химические условия для развития уникальных сообществ восстановительных биотопов, включающих в себя представителей моллюсков, актиний, червей, офиур и других гидробионтов [4]. Такие оазисы подводной жизни представляют большой интерес для поиска и изучения новых видов морской биоты, в том числе с целью выделения из них новых биологически активных веществ для разработки новых лекарств.

Методы обнаружения и изучения газовых проявлений

Активные метановые сипы чаще всего обнаруживают в ходе работ по акустическому зондированию водной толщи: в этом случае фиксируется характерная акустическая аномалия в виде факела, столба или колонны. Но отсутствие «факелов» еще не свидетельствует об отсут-

Корякский берег, Берингово море.
Фото Н.П.Санамян

ствии выходов метана, поскольку иногда выбросы газов происходят спонтанно или носят периодический, пульсирующий характер. Кроме того, метан может медленно диффундировать из осадка в водную толщу без образования пузырьков или пузырьковых струй, заметных для эхолота. В этом случае выявить наличие малоактивных сипов позволяет анализ данных о структуре морского дна, полученных в ходе батиметрической съемки многолучевыми эхолотами, при помощи комплекса других геофизических методов. В местах выхода метана наблюдаются уникальные геологические образования: *покмарки* — конусовидные выемки (кратеры) или *плугмарки* — протяженные углубления, похожие на борозды [5]. Подобные структуры на дне — один из маркеров участков газовой разгрузки в районе исследований. Для подтверждения присутствия газовых сипов и получения данных о газовом составе «факела» незаменимы гидрологические и гидрогеохимические методы.

Гидрологические методы, такие как CTD-профилирование с применением датчиков метана и кислорода, обеспечивают получение основной информации о физико-химических свойствах воды (электропроводности, солености, плотности, температуре, мутности), позволяют предварительно оценить содержание растворенных газов в морской воде, выявить ее слои с аномальными физико-химическими характеристиками (например, зоны гипоксии). Гидрогеохимические методы, включая различные виды изотопного анализа, направлены на получение данных о химическом составе воды, донных осадков и аутигенных минералов. Газохроматографический анализ образцов морской воды выступает в качестве точного метода определения концентрации метана и его гомологов в каждом из горизонтов водной толщи. На основании данных этого исследования ученые строят модели распределения метана в морской воде, картируют участки газовой разгрузки. Большую помощь в поиске метановых сипов и изучении морского дна оказывают обитаемые или телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА). Эта техника позволяет вести визуальное наблюдение за процессами на морском дне в режиме реального времени, отбирать биологические и геологические образцы, пробы воды. Подводя итог краткому обзору методов, используемых для поиска и изучения газовых проявлений в акваториях, следует отметить, что окончательные выводы о наличии на морском дне метановых сипов можно сделать только в результате комплексных исследований.

Экспедиция научно-исследовательского судна (НИС) «Академик М.А.Лаврентьев» (рейс 82) состоялась в июне-июле 2018 г. в Беринговом море и была посвящена поиску и изучению холодных метановых сипов, а также исследованию биоло-

гического разнообразия восстановительных биотопов [6]. В соответствии с задачами экспедиции автор провел газохроматографический анализ более 230 проб морской воды, отобранных на 35 CTD-станциях, которые расположены на Корякском склоне Берингова моря. Кроме того, были проанализированы пять образцов, отобранных ТНПА «Comanche 18» («Команч») из придонного слоя воды на участках с явно выраженными газопроявлениями.

Холодные метановые сипы Берингова моря

Экспедиция работала, в основном, на Корякском склоне Берингова моря, представляющем собой протяженный подводный участок акватории от мыса Олюторский до мыса Наварин (рис.1). Шельфовая зона здесь простирается на 60 км от берега, переходя в крутой континентальный склон, приуроченный к диапазону глубин от 200 до 3000 м и на всем протяжении граничащий с глубоководной (свыше 3000 м) Алеутской котловиной. Район исследований относится к южной и центральной частям Хатырского осадочного бассейна, на континентальной части которого были обнаружены газовая (Янракоимская площадь) и нефтегазовая (Угловая площадь) залежи. Шельф и континентальный склон Хатырского осадочного бассейна ранее изучали с помощью геофизических методов, благодаря чему удалось определить потенциальные газогидратоносные участки на глубинах 300–900 м [7, 8]. Некоторые отечественные исследователи рассматривают Хатырский осадочный бассейн как перспективную нефтегазовую провинцию [9].

Еще одним «аргументом» для выбора участка работ в этом районе Берингова моря стали недавно найденные в приловах донных тралов раковины морских симбиотрофных моллюсков *Calyptragenia* и *Acharax* [10]. Распространение представителей названных родов ограничено специфическими условиями обитания, поскольку для жизнедеятельности бактерий-симбиотрофов, обеспечивающих подобных моллюсков энергией и питанием, необходимо постоянное присутствие значительного количества сульфидов в окружающей среде. В районах метановых сипов сульфиды в морском осадке образуются в результате восстановления сульфат ионов (сульфат-редукции) в процессе анаэробного окисления метана при участии бактериального консорциума. Иными словами, местообитания тиотрофных моллюсков становятся хорошим маркером восстановительной обстановки, которая, очевидно, связана с длительным поступлением метана в морской осадок. Следует отметить, что помимо Корякского склона в Беринговом море калиптогены были обнаружены только вблизи гидротерм подводного вулкана Пийпа [11].

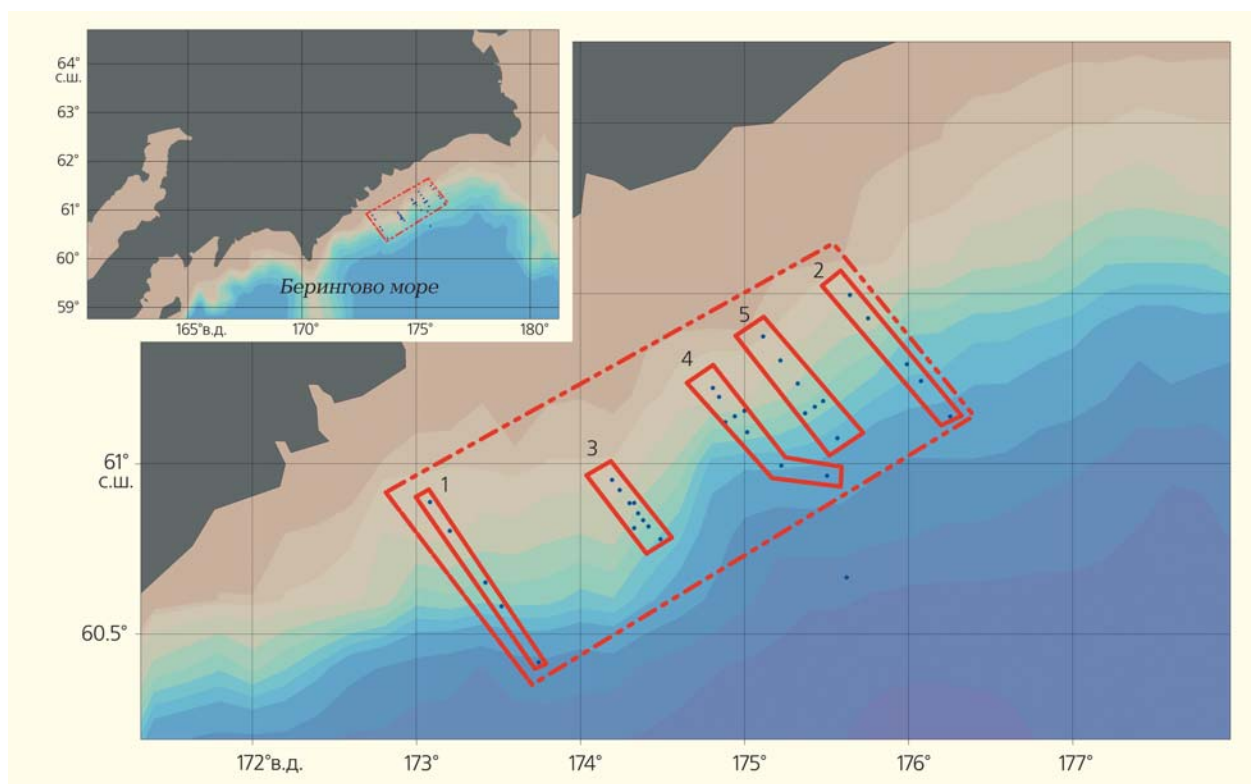


Рис.1. Карта района исследований и основные выполненные профили.

Итак, при первоначальном выборе участков геохимической съемки основным ориентиром послужили координаты участков тралений, в приловах которых обнаружены раковины калиптоген.

Вначале был пройден профиль 3, состоявший из семи основных и двух вспомогательных станций. На первых же из них зафиксированы высокие концентрации метана в придонном слое морской воды на глубине 440 м (46 нмоль/л) и в промежуточном горизонте 200 м (60 нмоль/л). Высокие концентрации метана (26–44 нмоль/л) обнаружены также в промежуточных горизонтах от 100 до 450 м на других станциях этого профиля. На всех его глубоководных (ниже 700 м) станциях концентрации метана оставались фоновыми. Диаграмма распределения метана в морской воде (рис.2) более наглядно показывает, что выявленные аномалии занимали участок склона в диапазоне глубин от 400 до 700 м.

На этом же профиле были выполнены первые погружения ТНПА «Команч», в ходе которых на морском дне найдены характерные признаки присутствия активных метановых сипов: карбонатные образования в виде построек различной формы (корки, холмы, трубки), трещины, окаймленные скоплениями

симбиотрофных моллюсков *C.pacifica* и бактериальными матами. На некоторых участках рельефа на поверхности были обнаружены темные слои морского осадка, вероятнее всего сформированные аутигенным минералом — гидротроилитом ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), образующимся в восстановительной среде. Наблюдения с ТНПА «Команч» подтвердили: вновь найденные участки газовой разгрузки не относятся к гидротермам, это — типичные холодные метановые сипы, причем существуют они в течение длительного периода времени.

Уже при выполнении измерений на профиле 3 отчетливо выделились станции с различными паттернами распределения метана в морской воде. Все станции, пройденные в районе исследований,

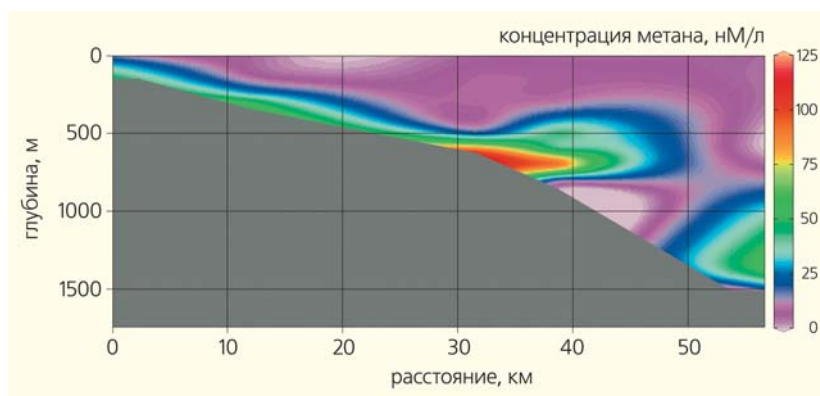


Рис.2. Диаграмма распределения метана в морской воде на профиле 3.

можно условно разделить на три группы (рис.3). Для первого и самого распространенного типа распределения метана характерно постепенное увеличение его содержания от поверхности ко дну, либо резкое нарастание концентрации в придонном слое воды (рис.3,а,б). Этот тип представлен станциями с наибольшими концентрациями метана (до 557 нмоль/л) и с наибольшей вариабельностью максимумов его содержания (от 18 до 557 нмоль/л). На большинстве мелководных (126–638 м) станций было в значительной степени выражено постепенное, зачастую линейное нарастание содержания метана от поверхности к придонному слою, при этом максимальная его концентрация в придонном слое не превышала 36 нмоль/л. По всей видимости, такой паттерн формируется вследствие апвеллинга — переноса насыщенных метаном водных масс из более глубоких горизонтов. В то же время на станциях с максимальными концентрациями метана (от 46 до 557 нмоль/л) наблюдалось резкое, скачкообразное увеличение его содержания в придонном слое. Такие станции располагались на больших глубинах (от 332 до 708 м) и окаймляли континентальный склон.

Особенности второго типа распределения метана — низкая концентрация в придонном слое и относительно высокая в промежуточных (рис.3,в). Такая закономерность была обнаружена на 14 станциях, и эту группу отличала большая вариабельность глубин (146–1509 м) и максимумов концентраций метана (от 6 до 124 нмоль/л). Лишь на четырех станциях группы были установлены аномально высокие концентрации метана (60–124 нмоль/л), на всех остальных его содержание не превышало 46 нмоль/л, а средняя концентрация составляла 25 нмоль/л. Максимумы концентраций метана (60–124 нмоль/л) на станциях с этим типом его распределения наблюдались в промежуточных горизонтах в диапазоне глубин от 200 до 700 м. Подобный паттерн, по-видимому, вызван перемещением насыщенных метаном водных масс с соседних участков локализации метановых сипов.

На третьей, немногочисленной, группе станций наблюдалось бимодальное распределение метана, при котором его максимальные концентрации сосредоточены в придонном и промежуточных слоях морской воды (рис.3,г). Эта группа представле-

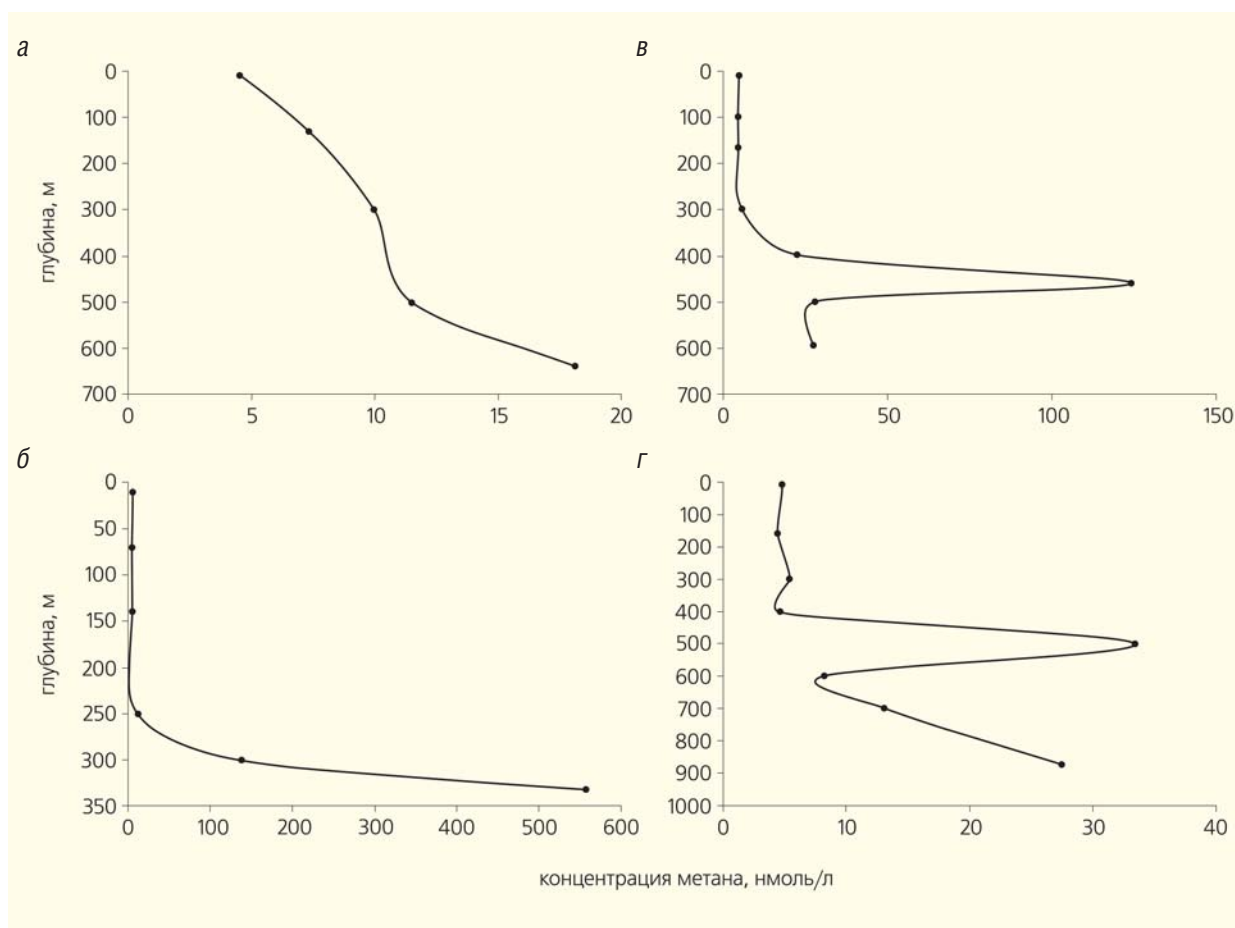


Рис.3. Различные типы распределения метана в водной толще: а — с постепенным нарастанием концентрации метана от поверхности ко дну на мелководных станциях; б — с резким скачкообразным увеличением концентрации метана в придонном слое; в — с максимумом в промежуточном слое; г — бимодальное распределение.

на мелководными (533–891 м) станциями с высоким содержанием метана (17–35 нмоль/л). Необычный характер его распределения в данном случае отражает как поступление из метановых сипов на дне, так и перенос водных масс под действием течений.

Наша дальнейшая работа на материковом склоне была направлена на более четкое определение географической границы зоны распространения метановых сипов и на выявление участков с максимальными концентрациями метана в придонном слое. Профиль 4 располагался в 35 км северо-восточнее профиля 3, в диапазоне глубин от 137 до 1479 м (рис.4). На двух станциях мы зафиксировали высокие концентрации метана: 57 и 232 нмоль/л в придонном слое воды, что указывает на наличие зоны с метановыми сипами. На профиле 4 наблюдалась четкая локализация обнаруженных максимумов концентраций метана в узком диапазоне глубин 337–400 м.

На профиле 5 картина распределения метана в морской воде выглядела сложнее: на более пологом склоне метановые сипы образуют террасы, располагающиеся на глубине 332 и 655 м (рис.5). В пределах этого участка шельфа обнаружена самая высокая концентрация метана в морской воде во всем районе исследований — 557 нмоль/л.

Эти первые три профиля в основном характеризуют район, в котором обнаружены зоны с аномально высоким содержанием метана в придонной воде. Для определения его географических границ были выполнены измерения еще на двух профилях. Северную границу изученного района окаймляет профиль 2 (рис.6). Холодные метановые сипы располагались на кромке континентального склона на глубине около 700 м, о чем свидетельствовала высокая концентрация метана (97 нмоль/л) в придонном слое. На этом профиле наиболее выражен эффект переноса насыщенных метаном водных масс на мелководье. Действительно, на мелководных станциях при движении

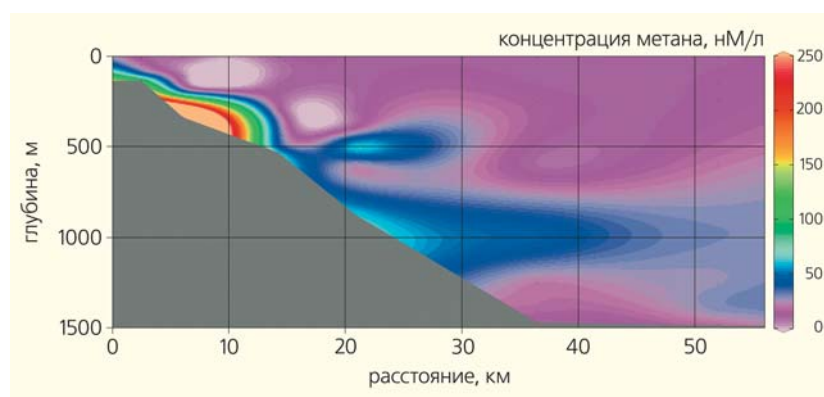


Рис.4. Диаграмма распределения метана в морской воде на профиле 4.

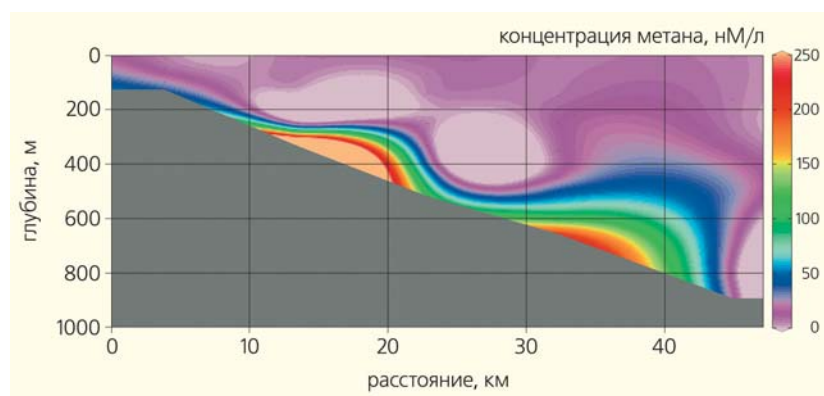


Рис.5. Диаграмма распределения метана в морской воде на профиле 5.

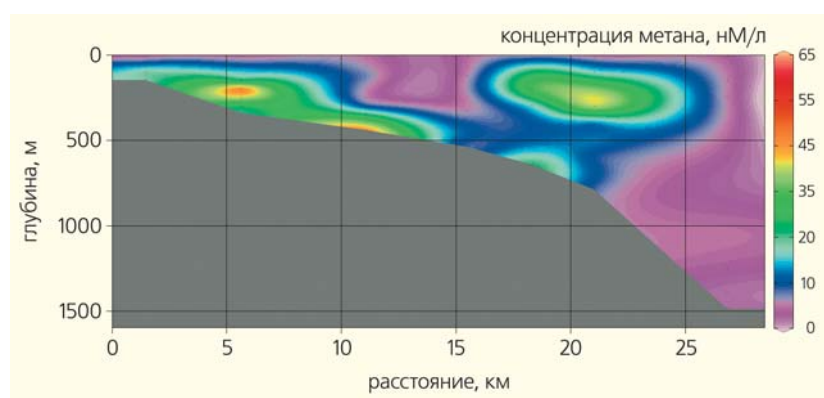


Рис.6. Диаграмма распределения метана в морской воде на профиле 2.

вверх по склону концентрация метана в придонном слое постепенно уменьшалась с 51 нмоль/л на 349 м до 36 нмоль/л на 150 м.

Южная граница исследованного района представлена профилем 1 со слабовыраженными газопоявлениями (рис.7). Измерения на его станциях выполнены в диапазоне глубин от 148 до 1463 м. Содержание метана в придонных слоях воды на глубинах 350–638 м не превышало 29 нмоль/л, а максимум его концентрации был приурочен к промежуточному горизонту (110 и 1250 м) крайней глубоководной станции профиля 1. Появление

ние промежуточных слоев с повышенной концентрацией метана на глубоководных станциях наблюдалось ранее на самом северном профиле 2, а также на единственной станции в Алеутской котловине (3132 м) на удалении более 100 км от изученного района. Наличие подобных аномалий требует более детального изучения глубоководных участков склона.

В целом, профили 1 и 3 продемонстрировали значительное снижение концентрации метана в придонных слоях по сравнению с профилями 2, 4 и 5, расположенными севернее. Последние располагаются ближе к центру перспективного Хатырского нефтегазового бассейна, шельфовая зона которого рассматривается как потенциально газогидратоносная.

Газохроматографический анализ образцов воды, отобранных аппаратом «Команч», не выявил наличия газообразных гомологов метана (этана, пропана, бутана). Они отсутствовали и в воде, отобранной на всех STD-станциях. Отсутствие в пробах легких углеводородных газов позволяет отдать приоритет гипотезе о биогенной природе происхождения метана в результате микробного метаногенеза осадочных отложений континентального склона. Кроме того, его источником могут быть и залежи газовых гидратов, так как глубина участков (400–700 м) с найденными метановыми сипами хорошо укладывается в диапазон глубин (300–900 м), на которых потенциальные газогидратоносные участки были определены ранее с помощью геофизических методов.

Метановые сипы и подводные сообщества морских организмов

Интересные результаты получены при обследовании холодных метановых сипов с помощью аппарата «Команч», на котором мы установили батометры для отбора проб воды в местах предполагаемых выходов метана, а именно на участках с наличием карбонатных корок и построек, трещин в донных отложениях, прослоек гидротроилита, бактериальных матов, скоплений облигатных симбиотрофных видов морских организмов (табл.). Концентрации метана в образцах воды, отобранных «Команчем» (18–493 нмоль/л) были сопоставимы с его концентрациями на STD-станциях с максимальным содержанием метана (14–557 нмоль/л), в морской воде. При отборе проб операторы «Команча» ориентировались на плотность поселений *Calyptogenia pacifica*. Предполагалось, что в областях с наибольшей численностью этого симбиотрофного моллюска концентрация метана также должна быть повышена по сравнению с фоном, но не достигать очень высоких значений. Как было показано [12], калиптогены предпочитают участки с умеренно высокой концентрацией метана. По нашим данным, в местах скоплений калиптоген концентрация метана составляла 18–97 нмоль/л. В зоне с его наибольшим содержанием в придонной воде (493 нмоль/л) встречались лишь единичные экземпляры *Calyptogenia pacifica*. Центральную часть сипа с довольно высокой концентрацией метана (226 нмоль/л) занимали хорошо развитые бактериальные маты и морские ежи

Brisaster latifrons, а скопления *Calyptogenia pacifica* были распределены по периметру сипа. Естественно, у каждого облигатного обитателя восстановительных биотопов существует свой оптимальный диапазон содержания метана.

Главным достижением проведенной экспедиции стало открытие на континентальном склоне Берингова моря протяженной (более 170 км) зоны холодных метановых сипов, приуроченной к диапазону глубин от 400 до

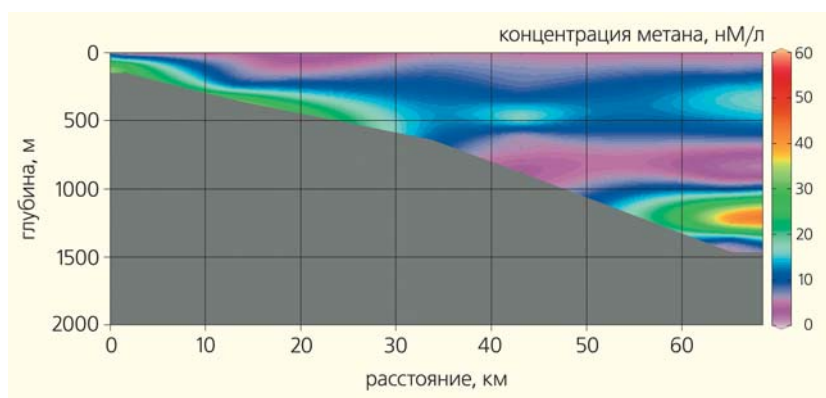


Рис. 7. Диаграмма распределения метана в морской воде на профиле 1.

Таблица

Результаты анализа проб воды, отобранных ТНПА «Команч» на участках с визуально идентифицированными метановыми сипами

Глубина отбора, м	CH ₄ , нмоль/л	Визуальные признаки присутствия холодных метановых сипов
401	493	бактериальные маты, слои гидротроилита, единичные экземпляры <i>Calyptogenia pacifica</i>
659	18	карбонатные корки, трещина со скоплением <i>Calyptogenia pacifica</i>
693	97	трещина, карбонатные корки, бактериальные маты, скопления <i>Calyptogenia pacifica</i>
427.9	226	бактериальные маты, <i>Calyptogenia pacifica</i>
660	35	трещина, обрамленная скоплением <i>Calyptogenia pacifica</i> , бактериальные маты, карбонатные корки

700 м. Не менее важно и обнаружение нового района восстановительных биотопов, поддерживающих сообщества с доминированием симбиотрофных видов морских организмов. Полученные ре-

зультаты открывают новые горизонты в деле исследования морской биоты, а также поиска газовых гидратов и нефтегазовых залежей на шельфе дальневосточных морей России. ■

Автор выражает благодарность сотрудникам и руководству Национального научного центра морской биологии имени А.В.Жирмунского ДВО РАН за приглашение принять участие в экспедиции, а также капитану и членам команды НИС «Академик М.А.Лаврентьев» за отличные условия для работы на борту судна.

Литература / References

1. Levin L.A., Baco A.R., Bowden D.A. *et al.* Hydrothermal vents and methane seeps: rethinking the sphere of influence. *Frontiers in Marine Science*. 2016; 3: 72. Doi:10.3389/fmars.2016.00072.
2. Леин А.Ю., Иванов М.В. Биогеохимический цикл метана в океане. М., 2009. [Lein A.Yu., Ivanov M.V. Biogeochemical Cycle of Methane in the Ocean. Moscow, 2009. (In Russ).].
3. Ruppel C.D., Kessler J.D. The interaction of climate change and methane hydrates. *Reviews of Geophysics*. 2017; 55: 126–168. Doi:10.1002/2016RG000534.
4. Bernardino A.F., Levin L.A., Thurber A.R. *et al.* Comparative composition, diversity and trophic ecology of sediment macrofauna at vents, seeps and organic falls. *PLoS ONE*. 2012; 7(4): e33515. Doi:10.1371/journal.pone.0033515.
5. Judd A., Hovland M. Seabed Fluid Flow. The impact on geology, biology, and the marine environment. Cambridge, 2007.
6. Галкин С.В., Мордухович В.В., Крылова Е.М. и др. Комплексные исследования экосистем гидротермальных выходов и холодных высачиваний в Беринговом море (82-й рейс НИС «Академик М.А.Лаврентьев»). *Океанология*. 2019; 4 (в печати). [Galkin S.V., Mordukhovich V.V., Krylova E.M. *et al.* Comprehensive studies of the ecosystems of hydrothermal outputs and cold seeps in the Bering sea (82nd cruise “Akademik M.A.Lavrentyev”). 2019; 4 (in press). (In Russ).].
7. Грецкая Е.В., Петровская Н.А. Нефтегазоносность Хатырского осадочного бассейна (Берингово море). *Газовая промышленность*. 2010; S14(654): 38–44. [Gretskaya E.V., Petrovskaya N.A. Oil and gas bearing of Khatyrsky sedimentary basin (The Bering Sea). *Gas Industry*. 2010; S14(654): 38–44. (In Russ).].
8. Кропп Э.Я., Будагов А.Г., Савицкий А.В., Грецкая Е.В. Состояние и перспективы нефтегазопроисловых работ на шельфе дальневосточных морей. *Геология нефти и газа*. 2012; 5: 108–112. [Kropp E.Ya., Budagov A.G., Savitsky A.V., Gretskaya E.V. The state and prospects of oil exploration on the shelf of Far Eastern seas. *Geology of Oil and Gas*. 2012; 5: 108–112. (In Russ).].
9. Забанбарк А. Перспективы нефтегазоносности Берингоморского региона. *Океанология*. 2009; 49(5): 784–795. [Zabanbark A. The petroleum resource potential of the Bering Sea region. *Oceanology*. 2009; 49(5): 729–739. Doi:10.1134/S0001437009050142.].
10. Данилин Д.Д. Двустворчатые моллюски как потенциальные индикаторы районов гидротермальной активности. Материалы конференции, посвященной Дню Вулканолога, «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский, 2013; 291–294. [Danilin D.D. Bivalves as the potential indicators of the hydrothermal activity areas. Materials of the conference devoted to the Volcanologist Day “Volcanism and related processes”. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2013; 291–294. (In Russ).].
11. Сагалевиц А.М., Торохов П.В., Галкин С.В., Москалев Л.И., Матвеевков В.В. Гидротермальные проявления подводного вулкана Пийпа (Берингово море). *Известия РАН, серия геологическая*. 1992; 9: 104–114. [Sagalevich A.M., Torokhov P.V., Galkin S.V., Moskalev L.I., Matveenkov V.V. Hydrothermal manifestations of submarine Piip volcano. *Izvestiya RAN, Geol. Ser.* 1992; 9: 104–114. (In Russ).].
12. Sahling H., Rickert D., Lee R.W. *et al.* Macrofaunal community structure and sulfide flux at gas hydrate deposits from the Cascadia convergent margin. *Marine Ecology Progress Series*. 2002; 231: 121–138.

Methane Sources at the Continental Slope of the Bering Sea

N.S.Polonik

Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of RAS (Vladivostok, Russia)

The article describes the first results of the multidisciplinary expedition of the RV “Akademik M.A.Lavrentyev” in June–July 2018 aimed to survey areas with potential reducing conditions in the Bering Sea. During the exploration of the continental slope of the Bering Sea at the depth from 400 to 700 m by the gasochemical methods, the numerous gas manifestations, related to the cold methane seeps, were found.

Keywords: cold methane seeps, gas hydrates, margin seas, the Bering Sea, gas chromatography analysis.

АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинищевский пер., 8, стр. 4

E-mail: spaseglin@mail.ru

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219





www.libnauka.ru

*Добро пожаловать
в электронную библиотечную систему
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

Электронная библиотечная система это:

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Присоединяйтесь к миру «Науки»!

Оледенения в истории Земли, биосфера и низкая светимость Солнца

Э.М.Галимов

Институт геохимии и аналитической химии имени В.И.Вернадского РАН (Москва, Россия)

Солнечная радиация недостаточна, чтобы удерживать на поверхности Земли температуру выше точки замерзания воды. Раннее Солнце имело светимость еще на 30% меньше и могло обеспечить температуру не выше -40°C . Между тем в архее океан был теплым. На ранней Земле (4.5–4.0 млрд лет назад) роль парникового газа, компенсирующего низкую светимость Солнца, играл метан. С появлением кислорода в океане 2.7 млрд лет назад обстановка начала меняться, и 2.4 млрд лет назад, когда кислород вышел в атмосферу, содержание метана упало и стало недостаточным для компенсации низкой светимости Солнца. Концентрация же CO_2 еще была мала. В результате разразилось глобальное Гуронское оледенение, которое продолжалось почти 200 млн лет. В течение этого времени содержание CO_2 росло и наконец достигло уровня, достаточного для компенсации низкой светимости Солнца. Оледенение сошло на нет. Установился стабильный теплый климат. Эта обстановка длилась более 1.5 млрд лет. В благоприятных условиях процветала жизнь. Но тем временем назревал принципиальный конфликт между ролью CO_2 в качестве источника биогенного углерода в биосфере и его ролью в качестве защитника биосферы от космического холода. Периоды увеличения продукции органического и карбонатного углерода при возросшем объеме биосферы приводили к оттоку атмосферного CO_2 и к охлаждению климата, вплоть до оледенений. Установилось колеблющееся равновесие. Впервые после длительной паузы оледенение (Стертское) произошло 0.73 млрд лет назад. Оно подавило биологическую активность. Восстановился климат, и цикл повторился. Периоды оледенений и потеплений стали чередоваться, хотя и через неравные (50–100 млн лет) промежутки времени. Установившийся тренд вновь видоизменился лишь в девоне в связи с выходом жизни на сушу и кардинальным изменением в связи с этим соотношений резервуаров углерода.

Ключевые слова: солнечная светимость, биосфера, климат, оледенения, парниковые газы, изотопы углерода, карбонаты, органическое вещество, геологическая история.

Время от времени в геологической истории Земли случались периоды оледенений. Иногда они носили катастрофический характер, приводя к массовым вымираниям отдельных видов. На рис.1 показаны периоды оледенений на шкале геологического времени от 4.5 млрд лет назад до современности.

История оледенений выглядит замысловато. Первое относительно локальное Понгольское оледенение было отмечено в отложениях, возраст которых 2.7 млрд лет. До этого, в архее, климат оставался теплым. Понгольское оледенение длилось недолго. Но 2.4 млрд лет назад, в раннем протерозое, случилось грандиозное по масштабам и длительности Гуронское оледенение. Оно продолжалось почти 200 млн лет. Затем почти 1.5 млрд лет никаких следов оледенений не обнаруживается. Следующее проявилось только



Эрик Михайлович Галимов, академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, научный руководитель Института геохимии и аналитической химии имени В.И.Вернадского РАН (директор в 1992–2015 гг.), почетный профессор Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, член Президиума РАН (2002–2013), президент Международной ассоциации геохимии и космохимии IAGC (2000–2004). Геохимик. Награжден медалью Альфреда Трейбса (2004) и золотой медалью В.И.Вернадского (2018), лауреат Государственной премии РФ по науке и технологиям (2016).
e-mail: galimov@geokhi.ru

в конце протерозоя (730 млн лет назад). И дальше они стали происходить одно за другим.

Никакой видимой закономерности во времени наступления периодов оледенения не видно. Это осложняет понимание причин оледенений. Высказывались разные предположения: например, что они связаны с изменением орбиты и флуктуациями в наклонении земной оси [1], с миграцией конти-

нентов, интенсификацией вулканизма и магматизма и др. [2, 3]. Некоторые геологи считают, что существует общая направленность климатических изменений, обусловленная остыванием Земли [4, 5]. Высказывалась гипотеза, что охлаждение в неопротерозе обусловлено продукцией органического аэрозоля, производимого эукариотными водорослями, которые получили развитие именно в то время [6]. Каждое из этих событий могло

иметь значение. Но, к сожалению, процессы, выдвигавшиеся в качестве причин оледенений, проявляясь в одно время, никак не проявляли себя в другое. А длительная, почти в 1.5 млрд лет, пауза между мощным Гуронским оледенением и каскадом оледенений в неопротерозе считается одной из плохо объяснимых загадок палеоклиматологии.

Недавно я опубликовал статью, в которой высказал идею, что в условиях низкой светимости Солнца оледенения могут быть связаны с конфликтом между ролью CO_2 в качестве парникового газа и его ролью в качестве источника углерода биосферы [7].

Низкая светимость Солнца

Понятие низкой светимости обычно относят к молодому, только что возникшему 4.5 млрд лет назад, Солнцу. Этот эффект (faint young sun) обычно обсуждают астрофизики в контексте эволюции светимости звезд. Солнце в начале своей звездной эволюции имело светимость на 30% меньше его современной величины. Но дело в том, что, несмотря на огромный (1367 Вт/м^2) поток энергии, идущий от Солнца (тепловой поток из недр Земли составляет всего 0.08 Вт/м^2) [8], солнечная радиация на том расстоянии от Солнца, на котором находится Земля, *никогда* не обеспечивала температуру на ее поверхности выше точки замерзания воды. Средняя глобальная температура Земли сегодня 15°C , в то время как в отсутствие атмосферы температура на поверхности Земли была бы -18°C (255 K). Раннее, только что возникшее Солнце обеспечивало температуру на поверхности не более -40°C (234 K). Но в архейское время существовал теплый океан. Более того, хотя мы не имеем сохранившихся геологических пород старше 3.8 млрд лет, найдены отдельные зерна циркона возрастом 4.2–4.4 млрд лет [9]. Изотопный анализ входящего в их состав кислорода показал, что и тогда уже на Земле существовала жидкая вода.

Температура выше точки замерзания воды и приемлемый для жизни климат обусловлен со-

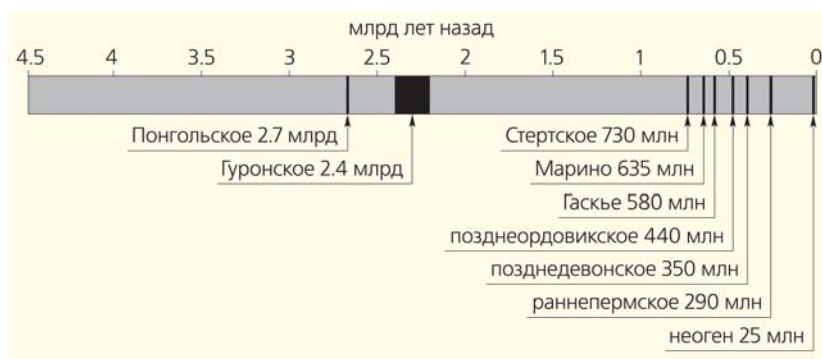


Рис.1. Периоды оледенений на шкале геологического времени.

держанием в составе атмосферы Земли парниковых газов, к числу которых относятся CO_2 , CH_4 и некоторые другие. В отсутствие атмосферы и парниковых газов нормальное состояние Земли — замерзший шар.

История оледенений — это не история событий, вызывающих охлаждение, а история событий, влияющих на судьбу парниковых газов, которые защищают Землю от космического холода.

Преобладающий парниковый газ в первичной атмосфере — метан

Первые работы, рассматривавшие на количественном уровне палеоклиматическую роль парниковых газов, появились в 1970-е годы. Т.Оуэн с соавторами рассчитали, что при давлении CO_2 свыше 0.3 бар дефицит светимости раннего Солнца будет компенсирован и средняя температура на поверхности Земли приблизится к современной [10]. Более поздние работы подтвердили эти расчеты [11].

Правда, американский ученый Дж.Кастинг указал на то, что в первых расчетах не учитывалась конденсации CO_2 при низких температурах [12]. В условиях Марса, например, CO_2 не может компенсировать дефицит солнечной светимости, хотя следы присутствия жидкой воды на Марсе установлены. Такую роль мог бы выполнять метан, который не конденсируется. Но в то время считалось, что метан быстро разрушается при фотолизе, и потому не может длительно существовать в планетной атмосфере [13]. В научной литературе укрепились представления об углекислой, нейтральной первичной атмосфере Земли.

Поворот произошел с момента публикации статьи К.Сагана и К.Чайбы, показавших, что при фотолизе метана и аммиака в атмосфере возникает аэрозоль органических соединений, поглощающих солнечную радиацию на частотах распада метана и таким образом защищающих его от дальнейшего фотолиза [14]. Поэтому возможно длительное пребывание метана в атмосфере.

Вскоре в журнале «Icarus» я опубликовал статью, в которой, опираясь на изотопные данные, показал, что преобладающим компонентом углеродной системы $\text{CO}_2\text{—CH}_4$ на Марсе 4.5 млрд лет назад действительно был метан [15]. На Земле нет образцов с возрастом 4.5 млрд лет, но есть образец с Марса такого возраста. Это SNC-метеорит (ALH840011) — осколок марсианской породы, выбитый с поверхности раннего Марса при столкновении с астероидом. Карбонатные включения в нем имеют необычный изотопный состав углерода: $\delta^{13}\text{C}$ варьирует от 38 до 42 ‰ [16, 17]. Таким изотопным составом карбонат может обладать, только когда не менее 90% в системе $\text{CO}_2\text{—CH}_4$ занимает метан. Если метан доминировал в первичной атмосфере Марса, то он мог играть роль преобладающего соединения углерода и в атмосфере Земли.

Здесь нужно упомянуть еще одну сторону проблемы состава первичной атмосферы. Аргументом против восстановленного, метанового, характера атмосферы ранней Земли, помимо фотолитической неустойчивости метана, служил тот факт, что земная мантия окислена. Окисленное состояние земной мантии не поддерживает присутствия метана в продуктах ее дегазации, причем это состояние существует по крайней мере с времени 4.0–3.9 млрд лет назад [18, 19]. Из недр Земли мог поступать только CO_2 . Однако, как было показано, в частности, в наших работах [20, 21], первичное состояние Земли вполне могло быть восстановленным, т.е. находящимся в равновесии с метаном. Окисленным же оно стало благодаря процессу наращивания ядра в первые сотни миллионов лет жизни планеты. Таким образом одновременно объяснялась избыточность теплового потока Земли, что тоже было серьезной геохимической проблемой. Предлагались и другие механизмы эволюции мантии от восстановленного состояния к окисленному. Но важно, что в целом возник консенсус в отношении первично восстановленной мантии, а отсюда — и метаносодержащей первичной атмосферы Земли.

Мой интерес к составу первичной атмосферы в то время был связан с работой над проблемой происхождения жизни. Свои представления я изложил в книге «Феномен жизни. Между равновесием и нелинейностью» [22]. Одним из положений предложенной гипотезы было представление об АТФ (аденозинтрифосфате) как о наиболее предпочтительной молекулярной форме, которая находится у самого истока возникновения жизни. Но абиогенный синтез аденозинтрифосфата предполагает глубоко восстановительные условия, допускающие присутствие HCN (брутто-формула аденина $\text{H}_5\text{C}_5\text{N}_5$ — объединение пяти молекул цианистого водорода), а цианистый водород образуется в среде, где доминирующая форма углерода — CH_4 [23].

В связи с этим упомяну еще одну работу, которую мы выполнили недавно вместе с Б.Н.Рыженко и Ю.В.Наточиным [24]. В воде океана, как известно, натрий преобладает над калием. Доминирование натрия сохранялось в течение всей регистрируемой геологической истории [25]. Однако синтез пептидов в живой клетке осуществляется в условиях преобладания калия над натрием. Эволюция выработала осмотический насос в клеточной мембране, обеспечивающий преобладание калия над натрием во внутриклеточной жидкости современных организмов. Но как осуществлялся первоначальный синтез пептидов на самой ранней молекулярной стадии организации жизни — до возникновения сложной клеточной стенки? Термодинамический анализ показал, что соотношение $\text{K/Na} > 1$ достигается при преобладании в среде метана (рис.2). Это еще одно свидетельство возникновения жизни в восстановительной среде [26].

Надо сказать, что до начала 70-х годов господствовала точка зрения о первичной метановой атмосфере Земли. Так, первичную атмосферу рассматривал как метановую Г.Юри. Он исходил из результатов своих экспериментов по абиогенному синтезу аминокислот. В 1959 г. вместе с С.Миллером он опубликовал получившую большую популярность работу об абиогенном синтезе аминокислот из смеси метана и аммиака [27]. Но, как я уже говорил, вскоре была показана фотолитическая неустойчивость и метана, и аммиака. К тому же установили, что аминокислоты можно получить и в присутствии CO_2 . Сделав круг, наука вернулась к представлению о преобладании метана в первичной атмосфере, т.е. к тому ее типу, который предполагал Юри.

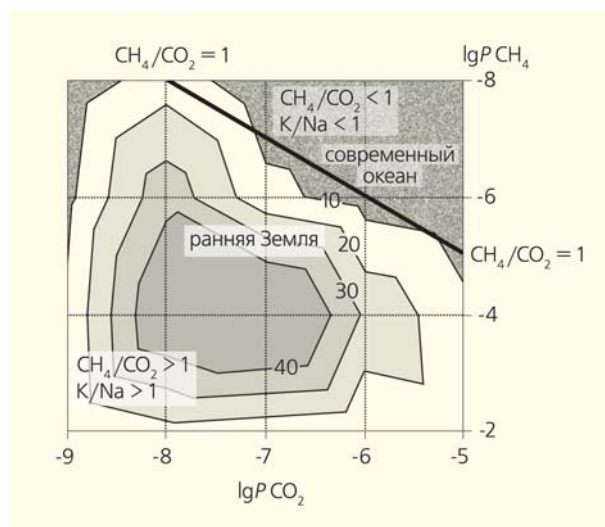


Рис.2. Зависимость K/Na -отношений (изолинии) в океане от соотношения CH_4 и CO_2 в данной среде. Отношение $\text{K/Na} > 1$, которое отвечает солевого состава среды, благоприятному для биосинтеза, наступает при условии $\text{CH}_4/\text{CO}_2 > 1$.

Сегодня в качестве одного из базовых представлений при рассмотрении проблемы зарождения биосферы можно принять восстановленный метан-содержащий состав первичной атмосферы Земли.

В архее снова метан

К началу архея (4.0 млрд лет назад) мантия становится достаточно окисленной. Метан уже не может быть устойчивым в равновесии с ней. Основной формой углерода, поступающей из мантии, становится CO_2 . В архее (от 4.0 млрд до 2.5 млрд лет назад) океан теплый. Казалось бы, теперь роль основного парникового газа должен играть CO_2 .

Но здесь возникает новый интересный поворот. Специалисты по почвам обратили внимание на то, что высокое содержание CO_2 в архейской атмосфере неизбежно привело бы к присутствию железа в почвах в форме сидеритов, а этого нет [28]. Допустимый порог 0.003 бар меньше, чем давление, необходимое, чтобы компенсировать низкую светимость Солнца и предотвратить оледенения в архее.

Тогда Кастинг, которого я уже упоминал, с сотрудниками высказывают смелую мысль, что и в архее роль парникового газа мог играть метан, но уже не первичный, а биогенный [29, 30]. Атмосфера в то время была бескислородной. Расчет показывает, что содержание метана в атмосфере могло быть на уровне 10^{-3} бар, что в дополнение к CO_2 должно обеспечить условие компенсации низкой светимости Солнца.

Если жизнь возникла в восстановительной среде, то логично ожидать присутствие метаногенов среди наиболее ранних организмов. Это следует из их молекулярной филогении [31]. Дополнительным указанием на возможное присутствие метана в архейской атмосфере служат изотопные данные. В породах возрастом 2.7 млрд лет описываются пласты аномально изотопно-легкого органического углерода $\delta^{13}\text{C} \approx -38 - -45\text{‰}$ [32]. Источником его, вероятнее всего, был CO_2 , образованный путем окисления метана.

Таким образом, есть основания заключить, что метан, но теперь уже биогенный, и в архее продолжает играть роль активного парникового газа.

Условно (не в количественных характеристиках) это показано на рис.3, пользуясь которым мы и дальше будем комментировать взаимоотношения биосферы и парниковых газов.

Появление кислорода в океане

Факт присутствия легкого по изотопному составу органического углерода в отложениях возрастом 2.7 млрд лет служит свидетельством одновременно и наличия изотопно-легкого метана, и появления в среде окислителя, т.е. кислорода. Возраст 2.7 млрд лет — тот рубеж, когда отмечены первые признаки присутствия молекулярного кислорода в океане, но не в атмосфере.

Архейский океан заселялся простейшими организмами — прокариотами. Первый материально зримый феномен жизни представляют строматолиты — стратифицированные биосферные карбонатные постройки, которые образованы сообществами микроорганизмов. В их числе фотосинтезирующие синезеленые водоросли. Производимый ими кислород потреблялся в аэробно-анаэробном цикле в пределах строматолитового мата. Но аппарат фотосинтеза позволял автотрофам вести независимый образ жизни и распространяться на новые пространства, за пределы строматолитовых сообществ. Появление в позднем архее фотосинтезирующих эукариот интенсифицировало производство молекулярного кислорода. В результате приблизительно 2.7 млрд лет назад в океане появился свободный кислород.

Но кислород не мог сразу выйти в атмосферу. В предшествующие геологические эпохи, которые характеризовались восстановленным режимом, сформировался восстановленный минеральный буфер (рис.4).

В океанской воде в огромных количествах накопился продукт выветривания магматических пород — закисное железо FeO . В этой форме железо хорошо растворимо, и оно образовало значи-

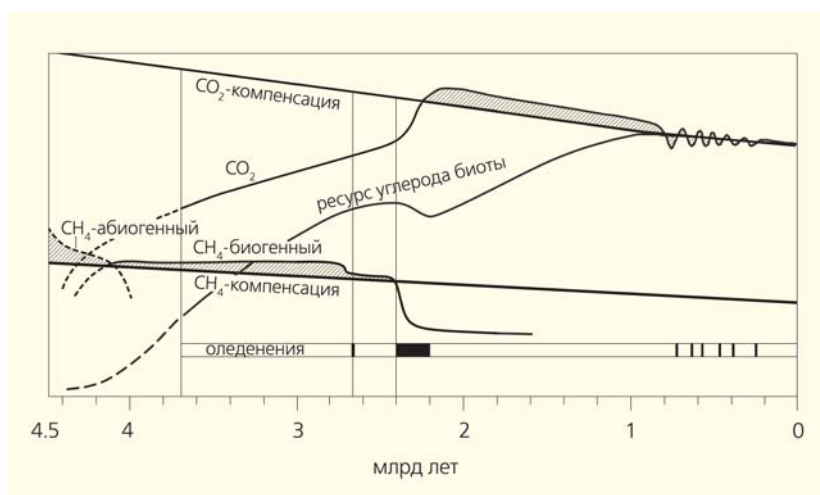


Рис.3. Схема, иллюстрирующая предполагаемые изменения концентрации парниковых газов CO_2 и CH_4 , а также изменения ресурса углерода биосферы в ходе геологического времени. Показаны линии содержания (качественно) CO_2 и CH_4 , достаточные для компенсации дефицита солнечной радиации в соответствующее время: CO_2 - и CH_4 -компенсация соответственно.

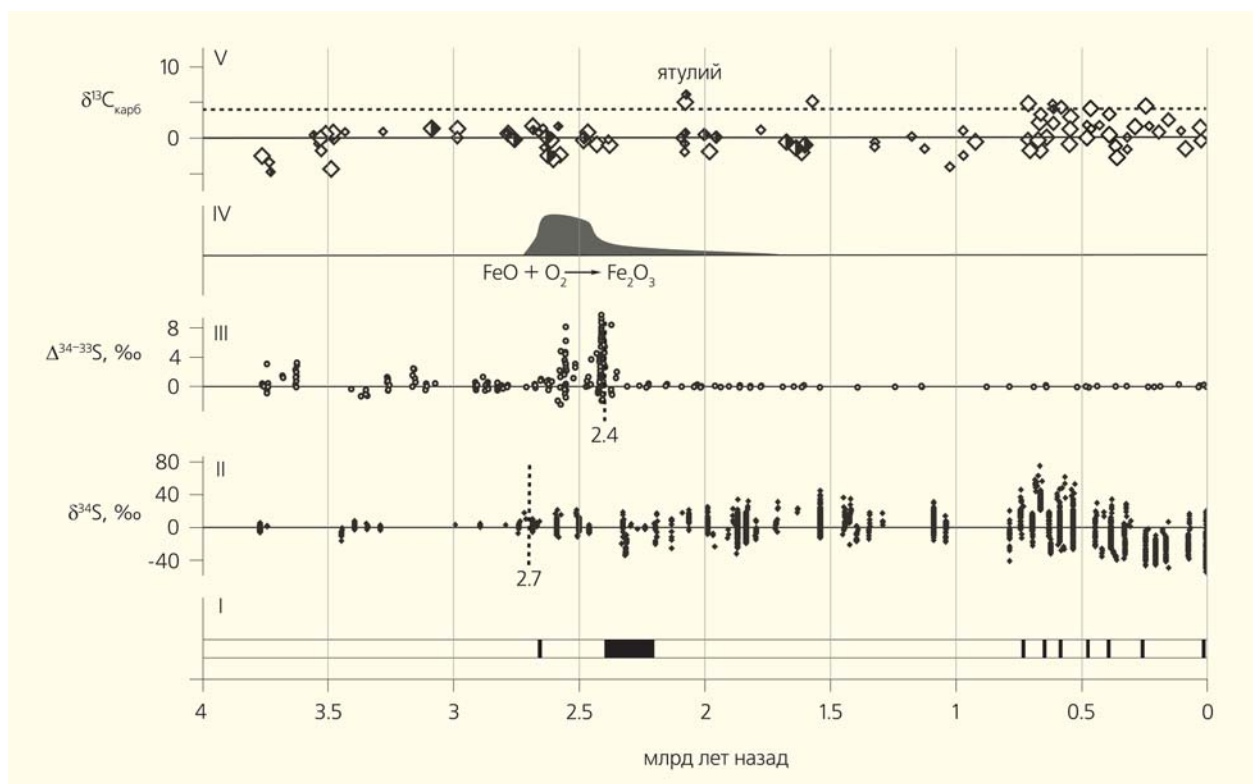


Рис.4. Геохимические индикаторы событий, связанных с оледенениями: I — периоды оледенений, II — изотопное фракционирование серы, появившееся из-за включения механизма сульфатредукции ≈ 2.7 млрд лет назад, III — немасс-зависимый изотопный эффект серы, исчезновение которого 2.4 млрд лет назад послужило индикатором возникновения кислородной атмосферы [34], IV — период массового отложения железо-полосчатых (джеспилитовых) формаций, V — вариации изотопного состава углерода карбонатов ($\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$, ‰). Пояснения в тексте.

тельную часть солевого состава океана. Появившийся в воде свободный кислород потреблялся на окисление растворимой формы железа и его осаждение в нерастворимой форме Fe_2O_3 . Этот отрезок геологической истории отмечен накоплением огромных масс железных руд в виде железополосчатых формаций джеспилитов. В период 2.6–2.1 млрд лет назад сформировалось до 90% известных запасов железных руд в докембрии, включая гигантские месторождения Хамерсли в Австралии, Лабрадора и оз.Верхнего в Северной Америке, Криворожской серии и Курской магнитной аномалии в Восточной Европе [33]. Этот буфер удерживал производимый в ходе фотосинтеза кислород в воде, сохраняя восстановленное состояние атмосферы.

Тем не менее появление кислорода не могло не сказаться на судьбе метана. Приблизительно 2.7 млрд лет назад возник первый сбой в установившемся тепловом балансе, который обеспечивался присутствием метана в атмосфере. В то время фиксируются первые следы оледенения в архее. Это относительно кратковременное и локальное Понгольское оледенение.

Наращение окислительного потенциала в океане привело к увеличению содержания в нем окис-

ленных форм серы и азота: ионов SO_4^{2-} и NO_3^- . Как следствие, распространились организмы, использующие в своей жизнедеятельности процессы восстановления данных окисленных форм, — сульфатредуцирующие бактерии и денитрификаторы. На рис.4 показано, что 2.7–2.6 млрд лет назад в породах возрастает диапазон вариаций изотопного состава серы ($\delta^{34}\text{S}$) — показателя изотопного фракционирования серы в процессе бактериальной сульфатредукции.

Выход кислорода в атмосферу. Гуронское оледенение

По мере истощения FeO -буфера кислород начинает поступать в атмосферу. Возникновение кислородной атмосферы в изотопной летописи отмечено исчезновением на рубеже 2.4 млрд лет назад так называемого немасс-зависимого изотопного эффекта серы $\Delta^{32-34}\text{S}$ [34]. Иллюстрирующая это диаграмма приведена на рис.4. Такой тип изотопного эффекта в геохимии серы проявляется лишь в среде, лишенной кислорода. Наличие его в породах старше 2.4 млрд лет и практическое отсутствие в более молодых отмечает рубеж становления кислородной атмосферы на Земле.

Появление молекулярного кислорода в атмосфере привело к выведению из атмосферы метана. В результате *2.4 млрд лет назад метан перестал играть роль основного парникового газа, которую он выполнял в течение почти 2 млрд лет.*

Удаление из атмосферы метана, удерживавшего на Земле благоприятный для жизни климат, привело к резкому охлаждению. Наступило глобальное Гуронское оледенение, продолжавшееся почти 200 млн лет. Жизнь замерла.

Тем временем концентрация CO_2 в атмосфере нарастала за счет CO_2 , поступающего из недр. Происходило также окисление ранее накопленных масс органического углерода. Кроме того, в условиях оледенения потребление углекислоты в процессах биосинтеза и осадконакопления было минимальным.

Таким образом, содержание CO_2 в атмосфере достигло уровня 0.015–0.020 бар, достаточного для компенсации дефицита солнечной радиации в тот период (см. рис.3). Гуронское оледенение завершилось. После этого в течение 1.5 млрд лет никаких следов оледенений в геологической истории протерозоя не отмечалось.

Пауза в 1.5 млрд лет в истории оледенений и их каскад в конце протерозоя

Каковы же причины столь длительной паузы и затем возвращения к оледенениям в позднем протерозое? На мой взгляд, это следствие *установившегося конфликта между ролью CO_2 в качестве основного парникового газа и его ролью в качестве источника углерода биосферы.*

Вспомогательные процессы, которые сопровождают цикл углерода (рис.5). Основной сток углекислоты из атмосферы происходит в процессе выветривания. Бикарбонат и катионы выносятся в океан, где происходит осаждение карбоната и биосинтез. Осуществление биосинтеза требует обязательного участия элементов-нутриентов, важнейший из которых фосфор. Именно доступность фосфора ограничивает размеры биопродукции. Большая его часть возвращается в зону биосинтеза при разрушении осаждаемого органического вещества. Обычно безвозвратно захоранивается менее 1% биогенного материала. Сток углерода и нутриентов возмещается их притоком в процессе выветривания.

В нормальном цикле углерода стоки и потоки уравновешены. Однако, если, например, вследст-

вие усиления вулканизма и выветривания увеличивается поступление нутриентов, биопродукция начинает несбалансированно возрастать. Цикл кислорода не успевает обеспечивать деструкцию материала, поступающего в осадок, и в осадочном бассейне устанавливается аноксигенная обстановка. Возрастает масса захораниваемого углерода, и в конечном счете усиливается сток CO_2 из атмосферы.

Если величина стока CO_2 из атмосферы уменьшит его содержание в атмосфере настолько, что оно не сможет компенсировать дефицит светимости Солнца, то это приведет к оледенению. Значительность стока зависит от соотношения резервуаров углерода в атмосфере и биосфере.

После завершения Гуронского оледенения активность биоты в условиях благоприятного климата стала нарастать. Через 1.5 млрд лет резервуар мобильного углерода биосферы стал соизмерим с массой углерода, содержащегося в атмосфере (см. рис.3). Теперь колебания интенсивности процессов, происходящих в биосфере, способны были существенно влиять на содержание CO_2 в атмосфере. Усиление вулканизма в неопротерозое на рубеже 730 млн лет назад стало спусковым механизмом к охлаждению климата и наступлению Стертского оледенения.

С этого момента устанавливается колеблющееся равновесие между интенсивностью развития биоты и содержанием CO_2 в атмосфере. В свою очередь, оледенение приводит к ослаблению биосинтеза и осадконакопления, что ведет к восстановлению доледниковых условий в цикле углерода.

В результате следует череда оледенений: Стертское, Марино, Гаскье. Они и большинство последующих отчетливо коррелируют с эпохами активизации вулканизма. Эта линия продолжается в фанерозое. В ордовике (445–443 млн лет назад) возникает оледенение, сопоставимое по масштабам с неопротерозойскими. Затем оледенение отмечается в позднем девоне.

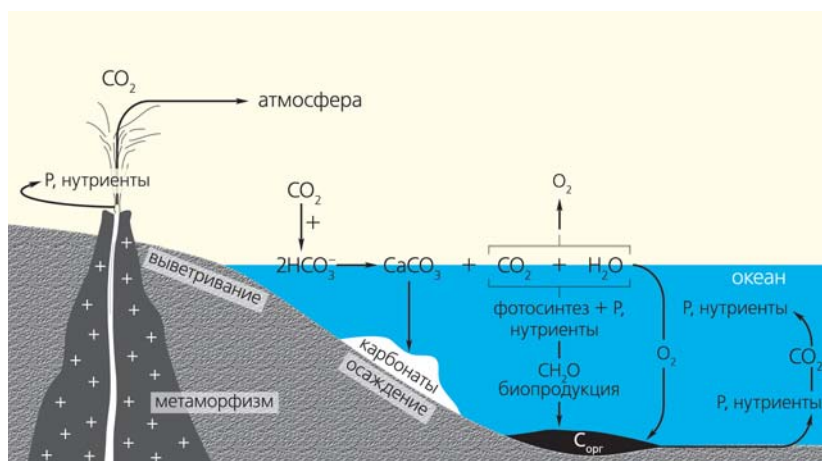


Рис.5. Цикл углерода.

Еще один важный и полезный для анализа процесс связан с фракционированием изотопов углерода. Дело в том, что биосинтез сопровождается концентрированием в живых организмах легкого изотопа углерода C^{12} . При интенсивном биосинтезе среда, в которой он происходит, обедняется легким изотопом углерода, и карбонат, осаждающийся из этой среды, должен быть изотопно-тяжелым, т.е. характеризоваться более высокими значениями $\delta^{13}C$.

Следовательно, если периоды оледенений связаны с усиленным стоком углерода, им должны предшествовать периоды отложения карбонатов, обогащенных тяжелым изотопом углерода. Действительно, некоторые авторы отмечали связь оледенений с вулканизмом и отложением изотопно-тяжелых карбонатов. На рис.6 приведен такой пример. Как видно из диаграммы, взятой из работы Дж.П.Хальверсона с соавторами, периодам оледенений в неопротерозое предшествуют периоды отложения карбонатов, аномально обогащенных тяжелым изотопом [35]. Нормальный изотопный состав карбонатов следует приблизительно нулевой линии. Значения $\delta^{13}C$, выходящие за пределы 4, указывают на аномально высокий сток. Однако подобные экскурсы изотопного состава карбонатов наблюдались и раньше (см. рис.4). Но они не были связаны с оледенениями. Это как раз служит подтверждением нашего понимания причин их появления. Резервуар углерода, связанный с биотой, после Гуронского оледенения был меньше резервуара углерода CO_2 . Периоды усиления активности биопродукции отражались на изотопном составе углерода в зоне биосинтеза. Но при том объеме биоты, который был в раннем протерозое, усиление стока под действием разных факторов (например, вулканизма) не приводило к такому глобальному оттоку атмосферного CO_2 , кото-

рый бы основательно сказывался на тепловом режиме. Отсюда длительная стабильность климата. Только в конце протерозоя, к рубежу 0.8 млрд лет назад, объем биоты в океане достиг величины, при которой колебания биопродукции (если они были значительными) стали сопоставимы с ресурсом CO_2 в атмосфере.

Новый режим, связанный с экспансией биоты на сушу

Установившаяся линия колебательного равновесия продолжается в палеозое. Но в девоне — карбоне открывается новая страница в истории биосферы. Происходит экспансия жизни на сушу. Это приводит к принципиально новому перераспределению резервуаров углерода.

Посмотрим это на примере современной биосферы. В ней содержится примерно $590 \cdot 10^9$ т CO_2 . Масса биоты в современном океане составляет немногим более $4 \cdot 10^9$ т углерода, а годовая биопродукция — $71 \cdot 10^9$ т. Степень фоссилизации органического вещества в морских осадках составляет приблизительно 0.4%, а общий сток углерода — приблизительно $1.25 \cdot 10^9$ т/год. Если сток будет превосходить приток, то в относительно короткое геологическое время может произойти заметное изменение CO_2 -ресурса атмосферы. Так и было.

Но теперь на суше присутствует биота, масса которой составляет $746 \cdot 10^9$ т. При почти замкнутом цикле она играет роль не столько потребителя CO_2 , сколько буфера. К тому же биомасса на суше связывает нутриенты (в том числе фосфор) и препятствует их движению в океан. Реакция биомассы океана на вулкано-тектонические события становится более консервативной. Оледенения более не возникают с той периодичностью и в том масштабе, как в неопротерозое и в начале палеозоя.

На этом фоне ярче проявляются другие факторы. На границе перми и триаса (252–250 млн лет назад) происходит небывалый по масштабам трапповый вулканизм. На границе мела и палеогена (65.4 млн лет назад) случилось массовое вымирание фауны, вызванное, как полагают, падением астероида. В позднем палеоцене (55.6 млн лет назад) возникает быстрое (за 10^4 лет) потепление донных вод океана — более чем на $4^\circ C$. Оно могло стать следствием внедрения в атмосферу больших масс высвободившегося газгидратного метана. Но в целом эти потрясения были лишь осложнениями на

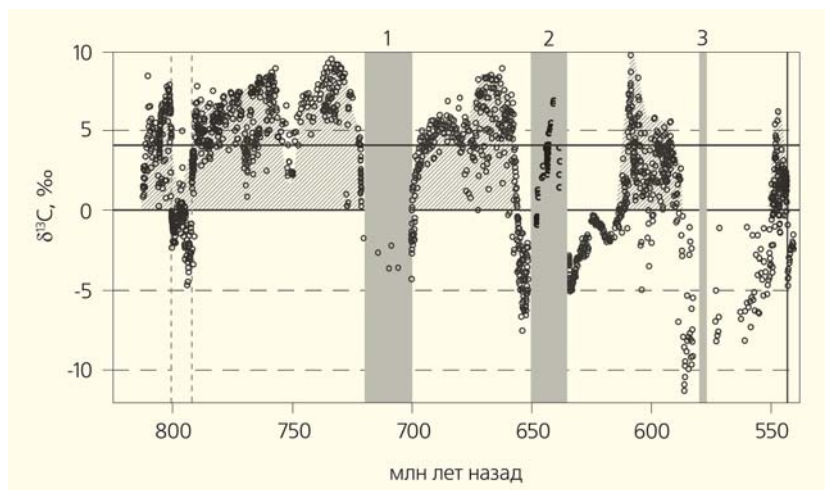


Рис.6. Вариации изотопного состава углерода карбонатов в неопротерозое при наступлении оледенений: 1 — Стертское, 2 — Марино, 3 — Гаскье [35].

фоне основного тренда в истории биосферы. Последние 40 млн лет происходит медленное охлаждение климата. Мы должны иметь в виду, что в осадочной оболочке складывается все большее количество углерода. А внутренний углеродный ресурс Земли медленно исчерпывается. При все еще недостаточной светимости Солнца это приведет к глобальному охлаждению климата Земли в течение геологического времени.

Геохронология событий

Можно выделить несколько этапов, когда реализовывались разные сценарии взаимодействия биосферы с составом атмосферы:

- 4.5–3.9 млрд лет назад. Первичная CH_4 -содержащая атмосфера;
- 3.9–2.7 млрд лет назад. Биогенный метан в дополнение к CO_2 исполняет роль парникового газа в бескислородной атмосфере архея;
- 2.7 млрд лет назад. Появление O_2 в океане;
- 2.7–2.4 млрд лет назад. Переходный период. Буферизирующая роль FeO ;
- 2.4 млрд лет назад. Появление кислородсодержащей атмосферы. Срыв механизма компенсации низкой светимости Солнца. Метан перестает играть роль компонента, обеспечивающего компенсацию дефицита солнечной радиации, а двуокись углерода не достигает нужного для этого содержания. Наступает глобальное оледенение;
- 2.4–2.2 млрд лет назад. Гуронское оледенение, продолжающееся около 200 млн лет;

— 2.2–0.8 млрд лет назад. Содержание CO_2 в атмосфере достигает уровня, достаточного для компенсации низкой светимости Солнца. Период оледенения завершается. Устанавливается стабильный в течение 1.5 млрд лет климат;

— 0.8–0.3 млрд лет назад. Ресурс подвижного углерода биосферы становится сопоставим с ресурсом CO_2 в атмосфере. Возникает чередование оледенений и потеплений;

— 0.3 млрд лет — ныне. С появлением массивного буфера органического углерода на суше изменяется картина взаимосвязи биосферы и климата.

* * *

В заключение уместен вопрос: что происходило бы, если бы светимость Солнца с самого начала была достаточной для существования жидкой воды на поверхности планеты? Дегазация недр при том составе, который имело допланетное вещество, оставалась бы приблизительно такой же. Парниковые газы тогда привели бы к перегреву земной поверхности и, как следствие, — к утрате воды. И мы бы имели сценарий Венеры. А что было бы, если бы светимость была меньше? Анализ показывает, что тогда развитие могло бы идти по тому же пути, который и состоялся на Земле. Но с большой задержкой. Оледенение типа Гуронского длилось бы не 200 млн, а 2 млрд лет. И к сегодняшнему дню жизнь могла бы развиваться до уровня простейших организмов, который она имела в протерозое.

Итак, нам — высшим организмам — очень повезло с нашей светимостью Солнца. ■

Литература / Reference

1. Oglesby R.J., Ogg J.G. The effect of large fluctuations in obliquity on climate of the Late Proterozoic. *Paleoclimates*. 1999; 2: 293–316.
2. Hoffman P.F., Schrag D.P. The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. *Terra Nova*. 2002; 14: 129–155.
3. Rooney A.D., Macdonald F.A., Strauss J.V. et al. Re–Os geochronology and coupled Os–Sr isotope constrains on the Sturtian snowball Earth. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2014; 111: 51–56.
4. Чумаков Н.М. Проблема тотальных оледенений Земли в позднем докембрии. Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2008; 16(2): 3–15. [*Chumakov N.M. A problem of total glaciations on the Earth in the Late Precambrian. Stratigraphy. Geol. Correlation*. 2008; 16(2): 107–119.]
5. Добрецов Н.Л. Периодичность геологических процессов и глубинная геодинамика. Геология и геофизика. 1994; 35(5): 3–19. [*Dobretsov N.L. Periodicity of geological processes and deep geodynamics. Geology and geophysics*. 1994; 35(5): 3–19. (In Russ.).]
6. Feulner G., Hallmann C., Kienert H. Snowball cooling after algal rise. *Nature Geoscience*. 2015; 8: 659–662.
7. Галимов Э.М. Роль низкой светимости Солнца в истории биосферы. Геохимия. 2017; 5: 381–401. [*Galimov E.M. Role of low solar luminosity in the history of the biosphere. Geochemistry International*. 2017; 55(5): 401–417.]
8. Mendoza M. Total solar irradiance and climate. *Space Research*. 2005; 35: 882–890.
9. Harrison T.M., Schmitt A.K., McCulloch M.T., Lovera O.M. Early formation ($N = 4.5$ Ga) formation of terrestrial crust: Lu–Hf, delta O–18, and Ti thermometry results for Hadean zircons. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2008; 268: 476–486.
10. Owen T., Cess R.D., Ramanathan V. Enhanced CO_2 greenhouse to compensate for reduced solar luminosity on early Earth. *Nature*. 1979; 277: 640–642.
11. Kiehl J.T., Dickinson R.E. A study of the radiative effects of enhanced atmospheric CO_2 and CH_4 on early Earth surface temperatures. *J. of Geophysical Research*. 1987; 92(D3): 2991–2998.
12. Kasting J.F. CO_2 condensation and the climate of early Mars. *Icarus*. 1991; 94: 1–13.
13. Kuhn W.R., Atrea S.K. Ammonia photolysis and the greenhouse effect in the primordial atmosphere of the Earth. *Icarus*. 1979; 37: 207–213.
14. Sagan C., Chyba C. The Early Faint Sun Paradox: Organic Shielding of Ultraviolet–Labile Greenhouse Gases. *Science*. 1997; 276: 1217–1221.
15. Galimov E.M. On the phenomenon of enrichment of Mars in ^{13}C : A suggestion on the reduced initial atmosphere. *Icarus*. 2000; 147: 472–476.

16. Иванов М.В., Леин А.Ю. Метанобразующие микроорганизмы – компонент биосферы Марса. ДАН СССР. 1991; 321(6): 1272–1276. [Ivanov M.V., Lein A.Yu. Methane-producing microorganisms: Component of the Mars biosphere. DAN USSR. 1991; 321(6): 1272–1276. (In Russ.).]
17. Ivanov M.V., Lein A.Yu. Biogeochemical evidences of microbial activity on Mars. Adv. Space Res. 1995; 15: 7.
18. Delano J.W. Redox history of the Earth's interior since similar 3900 Ma: implications for prebiotic molecules. Origin Life. Evol. Biosphere. 2001; 31(4–5): 311–341.
19. Canil D. Vanadium in peridotites, mantle redox and tectonic environments: Archean to present. Earth Planet Sci. Letters. 2002; 195(1–2): 75–90.
20. Галимов Э.М. Нарастание ядра Земли как источник ее внутренней энергии и фактор эволюции окислительно-восстановительного состояния мантии. Геохимия. 1998; (8): 755–758. [Galimov E.M. Growth of the Earth's core as a source of its internal energy and a factor of mantle redox evolution. Geochem. Int. 1998; 36(8): 673–675.]
21. Galimov E.M. Redox evolution of the Earth caused by a multi-stage formation of its core. Earth Planet Sci. Lett. 2005; 223: 263–276.
22. Галимов Э.М. Феномен жизни. Между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции. М., 2001. [Galimov E.M. Phenomenon of Life. Between Equilibrium and Nonlinearity. Origin and Principles of Evolution. Moscow, 2001. (In Russ.).]
23. Zahnle K.J. Photochemistry of methane and the formation of hydrocyanic acid (HCN) in the Earth's early atmosphere. Journal of Geophysical Research. 1986; 91(D2): 2819–2834.
24. Kempe S., Degens E.T. An early soda ocean? Chem. Geology. 1985; 53: 95–108.
25. Наточин Ю.В., Рыженко Б.Н., Галимов Э.М. Роль солевого состава (K/Na) водной среды в биологической эволюции. Проблемы зарождения и эволюции биосферы. Ред. Э.М. Галимов. М., 2008: 403–408. [Natochin Yu.V., Ryzhenko B.N., Galimov E.M. Role of salt composition (K/Na) of aqueous environment in biological evolution. Problems of the Origin and Evolution of the Biosphere. E.M. Galimov (ed.). Moscow, 2008: 403–408. (In Russ.).]
26. Галимов Э.М., Рыженко Н.Б. Разрешение K/Na-биогеохимического парадокса. Доклады РАН. 2008; 421(3): 375–377. [Galimov E.M., Ryzhenko N.B. Solution of the K/Na biogeochemical paradox. Dokl. Earth Sci. 2008; 421(3): 911–913.]
27. Miller S.L., Urey H.C. Organic compound synthesis on the primitive Earth. Science. 1959; 130: 245–251.
28. Rye R., Kuo P.H., Holland H.D. Atmospheric carbon dioxide concentration before 2.2 billion years ago. Nature. 1995; 378: 603–605.
29. Pavlov A.A., Kasting J.F., Lisa L.B. Greenhouse warming by CH₄ in the atmosphere of early Earth. J. of geophysical research. 2000; 105(5): 11981–11990.
30. Kasting J.F. Methane and climate during the Precambrian era. Precambrian Research. 2005; 137: 119–129.
31. Woese C.R., Fox G.E. Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 1977; 74: 5088.
32. Scholle M., Wellmer F.W. Anomalous ¹³C depletion in Early Precambrian graphites from Superior Province, Canada. Nature. 1981; 290: 696–699.
33. James H.L., Trendall A.F. Mineral deposits and the evolution of the Biosphere. H.D. Holland, M. Schidlowski (eds.). Berlin, 1982.
34. Farguher J., Bao H., Thieme M. Atmospheric influence of Earth's earliest sulfur cycle. Science. 2000; 289(5480): 756–758.
35. Halverson G.P., Hoffman P.F., Schrag D.P. et al. Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record. GSA Bulletin. 2005; 117(9/10): 1181–1207.

Glaciations in the History of the Earth. Biosphere. Low Luminosity of the Sun

E.M. Galimov

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, RAS (Moscow, Russia)

Solar radiation is insufficient to keep the temperature above the freezing point of water on the surface of the Earth. The early Sun had a luminosity of 30% less and could provide a temperature on the Earth's surface no higher than –40°C. Meanwhile, in the Archean Eon the ocean was warm. On the early Earth (4.5–4.0 billion years ago), the role of the greenhouse gas, which compensates for the low luminosity of the Sun, was played by methane. With the appearance of oxygen in the ocean 2.7 billion years ago, the situation began to change, and 2.4 billion years ago, when oxygen came into the atmosphere, the methane content decreased and became insufficient to compensate for the low luminosity of the Sun. The concentration of CO₂ was still low. As a result, the global Huron glaciation had occurred and lasted almost 200 million years. During this time, the CO₂ content increased and, finally, reached a level sufficient to compensate for the low luminosity of the Sun. The glaciation had gone to naught, and a stable warm climate settled upon. This situation lasted more than 1.5 billion years. In favorable conditions, life flourished. But in the meantime, a fundamental conflict had been brewing between the role of CO₂ as a source of nutrient carbon in the biosphere and its role as a defender of the biosphere from cosmic cold. Periods of increase in organic and carbonate carbon production with an increased biosphere volume led to a significant outflow of atmospheric CO₂ and to climate cooling, up to glaciation. An oscillating balance has been established. For the first time after a long pause, glaciation (Sturtian) occurred 0.73 billion years ago. It suppressed biological activity. The climate recovered, and the cycle repeated. Periods of glaciation and warming began to alternate, albeit at irregular intervals (50–100 million years). The established trend has changed again only in the Devonian Eon due to the emergence of land life resulted in a fundamental change of the ratio of carbon reservoirs.

Keywords: solar luminosity, biosphere, climate, glaciations, greenhouse gases, carbon isotopes, carbonates, organic carbon, geological history.

Затерянный мир Тавриды: древнейшая ископаемая пещерная фауна в Крыму

академик А.В.Лопатин

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

Изучение ассоциации плейстоценовых позвоночных из открытой в 2018 г. карстовой пещеры Таврида в центральной части Крыма (Белогорский р-н, пос.Зуя) выявило ее сходство с раннеплейстоценовыми (поздневиллафранкскими) фаунами Восточного Средиземноморья и позволило установить приблизительный возраст — 1.5–1.8 млн лет. Это самая древняя ископаемая пещерная фауна в Крыму и в России в целом.

Ключевые слова: антропоген, ранний плейстоцен, Крым, пещера Таврида, млекопитающие, птицы.

В горах Крыма множество пещер и гротов карстового происхождения. Во многих из них найдены остатки вымерших животных позднеплейстоценового возраста. В ходе строительства федеральной автомобильной трассы «Таврида» (Симферополь—Керчь) в июне 2018 г. произошло важное событие для спелеологии и палеонтологии — примерно в 15 км к востоку от Симферополя (Белогорский р-н, пос.Зуя) был вскрыт вход в неизвестную ранее большую пещеру, в которой обнаружилось множество костей ископаемых позвоночных. Пещера, получившая название Таврида, образовалась в палеогеновых известняках Внутренней гряды Крымских гор, в междуречье рек Бештерек и Фундуклы. Галереи пещеры частично заполнены рыхлыми отложениями разного генезиса, костеносный слой представлен красно-бурыми суглинками.

По видовому составу ископаемых позвоночных возраст местонахождения определен в пределах раннего плейстоцена, приблизительно 1.5–1.8 млн лет [1]. Таким образом, в Тавриде открыто древнейшее на территории Крыма (и России в целом) пещерное захоронение ископаемых животных. Все ранее известные в России пещерные комплексы не древнее 600 тыс. лет [2].

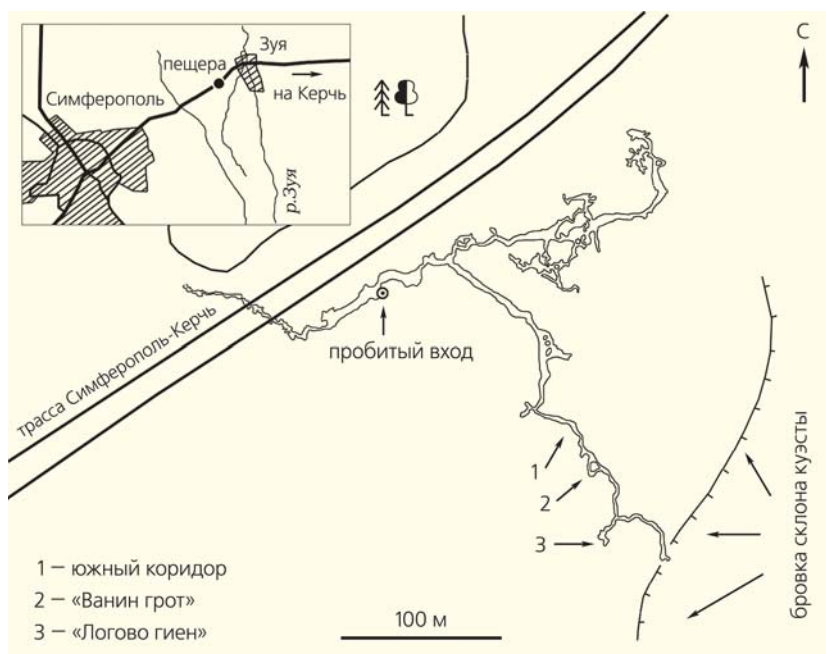
Первыми в случайно вскрытую пещерную полость проникли неизвестные «черные копатели», которые незаконно вынесли какое-то количество костей. Следующим посетителем пещеры, к сча-



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.
e-mail: alop@paleo.ru

стью, стал спелеолог П.В.Оксиненко. Он немедленно сообщил ученым о своих находках, после чего в пещеру спустились сотрудники Крымского федерального университета имени В.И.Вернадского (КФУ) Д.Б.Старцев и Г.В.Самохин с группой студентов. Обследовав пещеру, они составили план основных коридоров, их ответвлений и залов. В двух небольших камерах они нашли множество ископаемых костей. По просьбе руководства КФУ, направленной в академические институты, для сбора остатков и предварительного изучения места их захоронения была оперативно сформирована группа специалистов-палеонтологов, имеющих спелеологическую подготовку. Д.Б.Старцев (КФУ), Д.О.Гимранов (Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН) и А.В.Лавров (Палеонтологический институт имени А.А.Борисяка РАН) летом 2018 г. собрали здесь многочисленные кости разнообразных млекопитающих и птиц [1].

Пробитый бульдозером вход в пещеру имеет вид отверстия 2×2 м в известняке, слагающем свод пещеры. В вертикальный проход спелеологи вста-



Расположение и схема пещеры Таврида. Рисунок А.В.Лаврова

вили пятиметровую пожарную лестницу, по которой можно спускаться, держась за протянутые веревочные перила. По информации Лаврова, попав на небольшую каменную полку, нужно пробраться между провалами, а затем спуститься по второй, восьмиметровой, лестнице. Вглубь пещеры ведет извилистый узкий горизонтальный ход, частично заваленный каменными глыбами. По нему иногда приходится продвигаться на четвереньках и даже ползком.

Самый сложный участок — так называемый шкуродер. Это очень узкий лаз, через который не пролезает даже голова в каске. Но за ним находится небольшой (примерно 4×10 м) зал, где можно выпрямиться в полный рост. Здесь ископаемые кости в обилии встречаются до отметки 1.5 м глубины. После раскопочных работ нужно проделать обратный путь с тяжелым грузом — собранными костями и образцами грунта...

Древние звери и птицы Тавриды

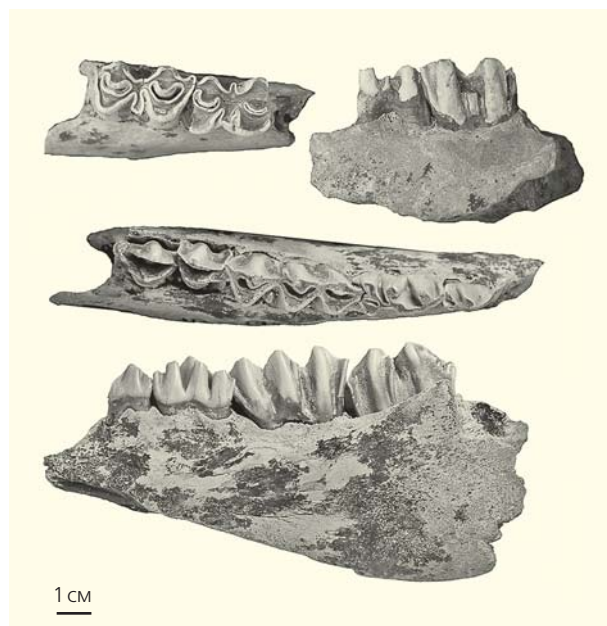
В список определенных к настоящему времени видов ископаемых позвоночных из пещеры Таврида входят: южный слон (*Archidiskodon meridionalis*), два носорога — эласмотерий (*Elasmotherium* sp.) и стефанорин (*Stephanorhinus* sp.), два вида лошадей (*Equus stenonis* и более мелкая *Equus* sp.), гигантский верблюд (*Paracamelus gigas*), олень арверноцерос Верещагина (*Arvernoceros verestchagini*), древние быки лептобос (*Leptobos* sp.) и эобизон (*Bison* (*Eobison*) sp.), винторогие антилопы газеллоспира (*Gazellospira torticornis*) и понтоцерос (*Pontoceros ambiguaus*), заяц гиполагус (*Hypolagus brachygnathus*),

дикообраз Виноградова (*Hystrix vinogradovi*), мелкий волк (*Canis* sp.), короткомордая гигантская гиена пахикрокута (*Pachycrocuta brevirostris*), крупная саблезубая кошка гомотерий (*Homotherium crenatidens*), а также гигантский страус (*Struthio dmanisensis*), стрепет, тетерев, ястреб и мелкий сокол [1]. По мере обработки новых материалов список еще будет пополняться.

Систематический состав комплекса позвоночных пещеры Таврида соответствует позднему виллафранку (раннему плейстоцену) Западной Европы и интервалу между палеомагнитными эпизодами Реюньон и Кобб-Маунтин (возраст 2.2–1.2 млн лет). Более узким временным промежутком около 1.8–1.5 млн лет назад фауну позволяет датировать

совместное присутствие двух форм полорогих — лептобосов и эобизонов [1].

Быки рода *Leptobos* в виллафранке (позднем плиоцене — раннем плейстоцене) были широко распространены в Евразии от Испании до Китая. Это были довольно крупные полорогие (весом до 350 кг) с длинными и мощными направленными вверх рогами. В Европу лептобосы проникли около 3.3 млн лет назад и существовали здесь до начала позднего виллафранка включительно. Морфо-



Полорогие из пещеры Таврида: фрагменты нижнечелюстных костей лептобоса (вверху) и эобизона.

Фото А.В.Лаврова

логические особенности и размеры зубов быка из пещеры Таврида соответствуют таковым у *Leptobos etruscus*, самого крупного европейского вида, обитавшего на юге Западной Европы примерно до рубежа 1.6 млн лет назад [3].

Сравнительно мелкие бизоны подрода *Eobison* известны из позднего плиоцена — раннего плейстоцена Евразии. В Европу эобизоны вселились около 1.8 млн лет назад, о чем свидетельствуют находки их остатков на Кавказе (*Bison (Eobison) georgicus*, местонахождение Дманиси, возраст 1.77 млн лет) [4], а также на Балканах (Черногория, пещера Трлица, 1.8–1.5 млн лет) [5] и на севере Греции (Тсиотра-Врисси, 1.7–1.5 млн лет) [6].

Другие найденные в пещере Таврида млекопитающие также представляют фауну, характерную для раннего плейстоцена юга Восточной Европы.

Южный слон, который обитал в Европе 2.6–0.7 млн лет назад, был одним из крупнейших хоботных, он достигал высоты около 4 м и веса более 10 т [7]. В пещере Таврида обнаружены остатки молодой особи.

Род *Elasmotherium* широко известен по своему наиболее позднему представителю — сибирскому эласмотерию (*E.sibiricum*), очень крупному (до 4.5 м длиной и 4 т весом) носорогу с большим рогом на лбу. По новейшим данным [8], последние «сибирские единороги» вымерли около 39 тыс. лет назад. Однако первые представители рода появились намного раньше, около 2.6–2.2 млн лет назад. Во времена существования фауны Тавриды в Евразии обитал кавказский эласмотерий (*E.caucasicum*).

Стефанорины — древние носороги, широко распространенные в Евразии до конца среднего плейстоцена, достигали величины современного белого носорога (высота в холке 1.5–2 м, длина до 4 м, вес до 3 т).

Лошадь Стенона (*Equus stenonis*) по размеру и телосложению сравнивают с зебрами (около 1.4 м в холке, вес 330 кг). В раннем



Реконструкция внешнего вида южного слона.

Рисунок В.Д.Колганова

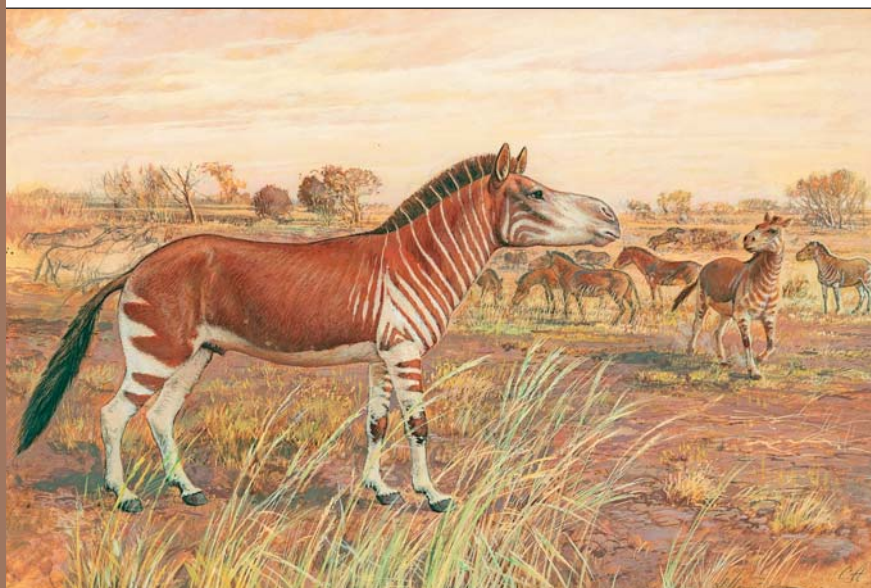
плейстоцене многочисленные стада этих животных населяли Европу и Азию.

Гигантский верблюд (*Paracamelus gigas*), появившийся еще в плиоцене, в раннем плейстоцене был широко распространен в Евразии. По высоте в холке он примерно на треть превосходил современных дромедаров и бактрианов [9].



Реконструкция внешнего вида кавказского эласмотерия.

Рисунок В.Д.Колганова



Реконструкция внешнего вида лошади Стенона.

Рисунок Ю.И.Масютина и С.П.Архиповой

Арверноцерос обоснованно считается древним представителем группы большерогих оленей (Megacerini) [10], хотя иногда предполагается возможность его близкого родства с современным оленем барасинга (*Rucervus duvaucelii*) [11], обитающим на лугах и в болотах Южной Азии. Арверноцерос Верещагина был одним из самых крупных представителей семейства оленьих (масса тела около 700 кг) и имел довольно простое строение роговых отростков [11]. Присутствие этого вида в Тавриде определяет верхний возрастной предел фауны на уровне около 1.6–1.5 млн лет назад.

Газеллоспира (*Gazellospira torticornis*) — вид винторогих антилоп, характерный для виллафранка Европы и Турции. В начале позднего виллафранка



Реконструкция внешнего вида газеллоспиры.

Рисунок В.Д.Колганова

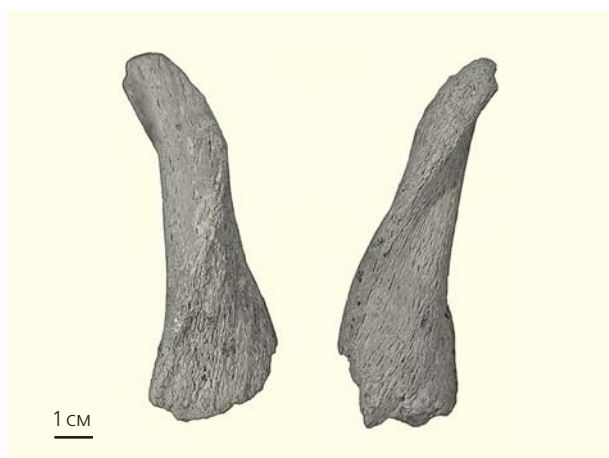
отмечается тенденция к уменьшению размеров этих животных, что справедливо и для газеллоспиры из пещеры Таврида [1]. Ареал другого вида винторогих антилоп, представленного в Тавриде — понтоцероса (*Pontoceros ambiguus*), — простирался от северо-восточного Приазовья до Греции и Израиля [12, 13], а время его существования ограничивалось интервалом 1.92–0.97 млн лет назад [14–16].

Гиполагус (*Hypolagus brachygnathus*) — представитель зайцевых среднего-крупного размера, величиной приблизительно с современного зайца-беляка [17]. В Европе этот вид характерен для интервала от начала плейстоцена до его середины [18], но в Крыму до сих пор отмечен

не был [1]. Строение костей конечностей гиполагусов указывает, что по способностям к рытью и к бегу они занимали промежуточное положение между кроликами рода *Oryctolagus* и зайцами рода *Lepus*, но при этом плейстоценовый *H. brachygnathus* демонстрировал усиление адаптации к быстрому бегу [17]. В плейстоцене *H. brachygnathus* сосуществовал в Европе с ранними представителями рода *Lepus*; возможно, эта конкуренция и стала одной из причин вымирания гиполагусов.

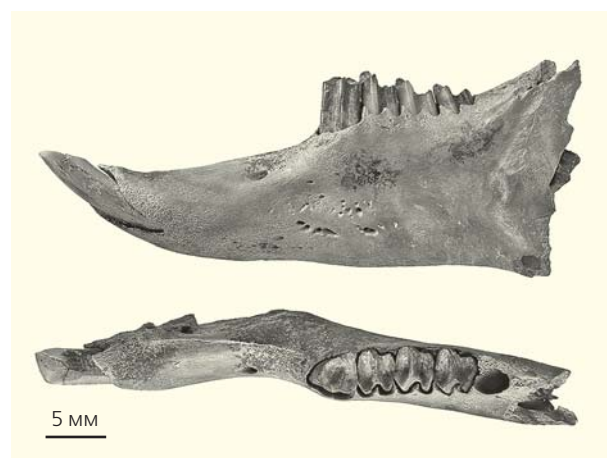
Один из интересных элементов фауны пещеры Таврида — дикобраз Виноградова (*Hystrix vinogradovi*) [1]. Этот мелкий представитель рода с высокоротковыми зубами очень похож на современного малайского дикобраза (*H. (Acanthion) brachyura*) [19]. Данный вид был впервые описан в статье в журнале «Природа» в 1941 г.* по материалам из среднего плейстоцена Азербайджана. Этот дикобраз широко распространен в плейстоцене Евразии, но в Крыму ранее был известен лишь по трем зубам одной особи из местонахождения раннеплейстоценового возраста на мысе Тарханкут [20]. Ареал вида на разных этапах его истории, очевидно, разрывался, что должно было приводить к обособлению некоторых географических форм в подвиды. В позднем плейстоцене популяции дикобраза Виноградова обитали в Западной, Центральной, Южной и Юго-Восточной Европе, в Крыму, Закавказье, на Урале и на Алтае [21, 22]. До поступления новых материалов вопрос о подвидовом статусе крымской формы остается открытым.

* Аргиропуло А.И. Четвертичная фауна грызунов и насекомых Бинагадов (Апшеронский полуостров) // Природа. 1941. №3. С.88–91.



Винторогая антилопа понтоцерос (*Pontoceros ambiguus*), роговой стержень из пещеры Таврида.

Фото А.В.Лаврова



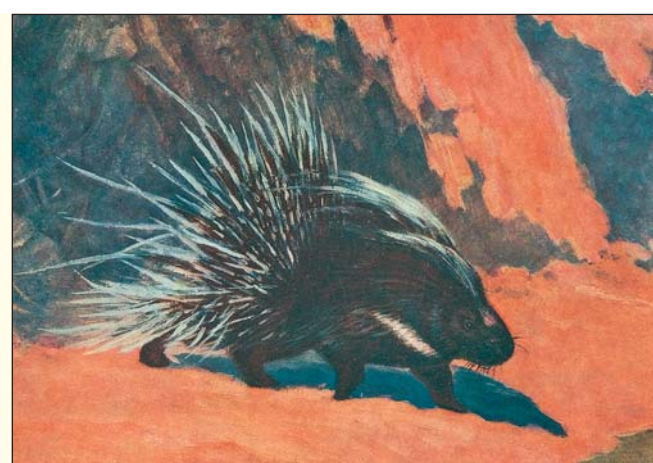
Гиполагус (*Hypolagus brachygnathus*), фрагмент нижнечелюстной кости из пещеры Таврида.

Фото автора

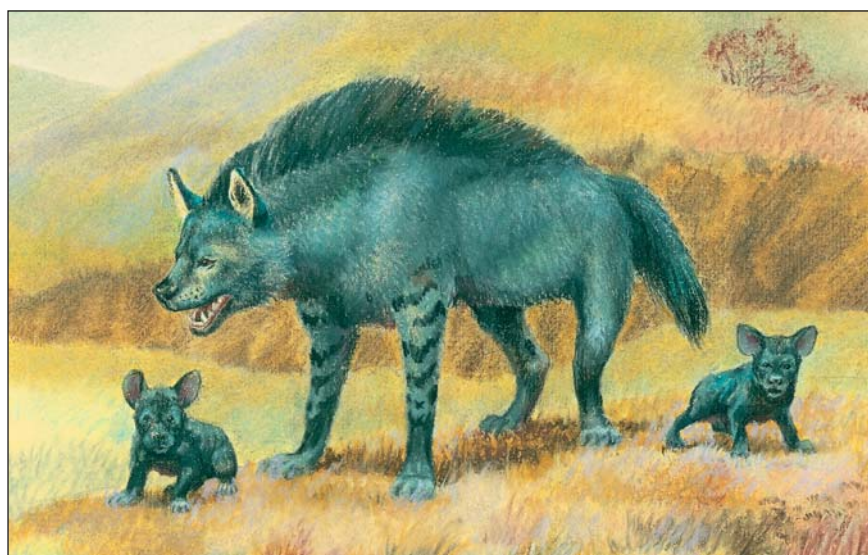


Дикобраз Виноградова: фрагмент нижнечелюстной кости из пещеры Таврида и реконструкция внешнего вида [21].

Фото автора и рисунок К.К.Флёрова

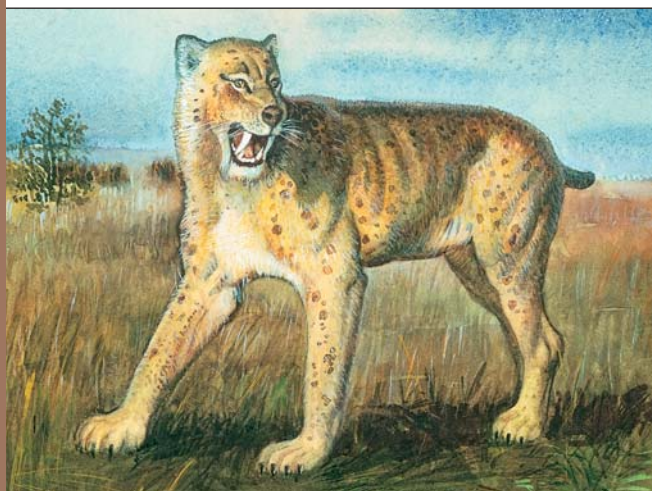


Короткомордая гигантская гиена пахикрокута (*Pachycrocuta brevirostris*) была самой крупной среди гиеновых, ее рост в плечах достигал 1 м, а вес составлял около 100–130 кг [23]. Пахикрокуты жили стаями, они могли отбирать добычу у других хищников, расчленять трупы жертв и перетаскивать их части в свои логова в пещерах и гротах, где доедали остатки и добывали костный мозг, разгрызая кости мощными челюстями [24]. Не исключено, что пахикрокуты принимали участие в накоплении костей в пещере Таврида. Помимо огромных размеров эту гигантскую гиену отличали укороченная морда и массивные конечности,



Реконструкция внешнего вида короткомордой гигантской гиены.

Рисунок В.Д.Колганова



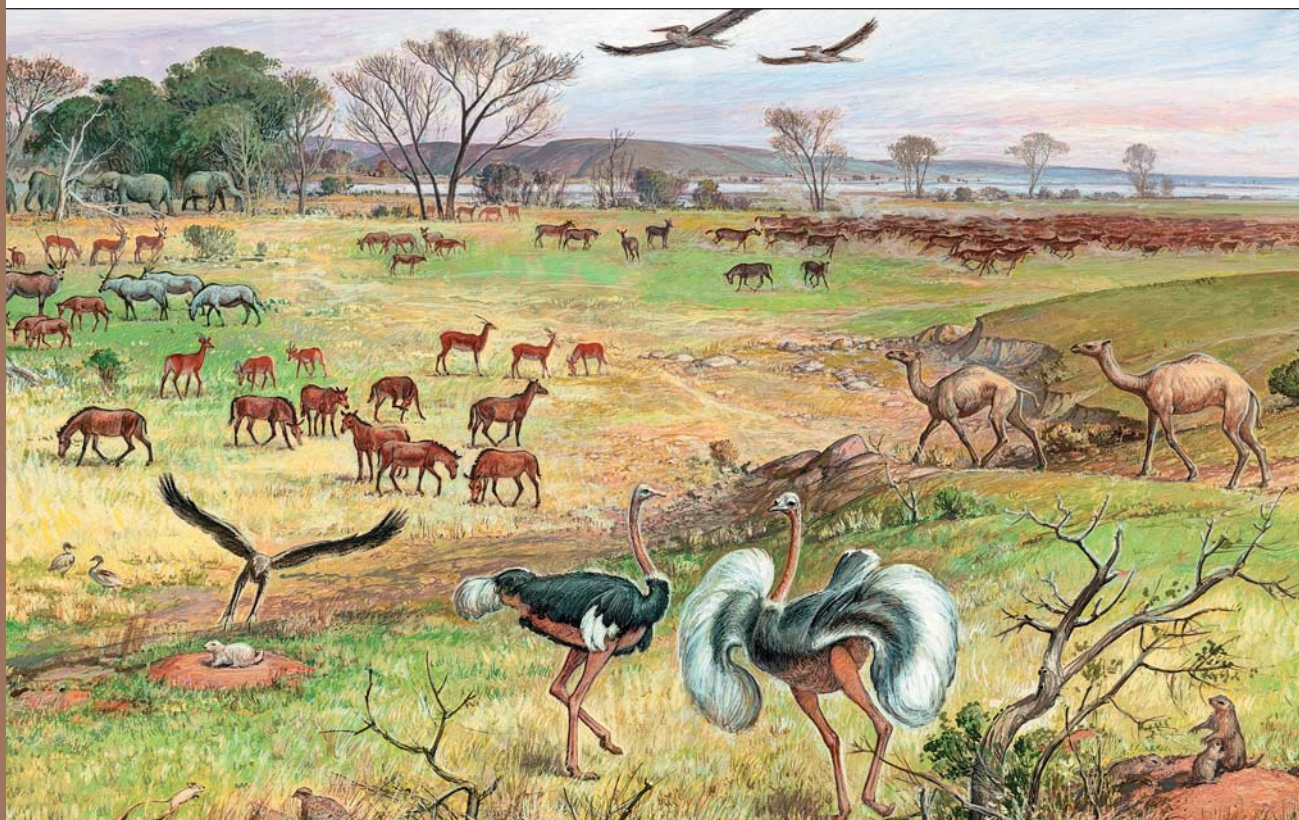
Гомотерий (*Homotherium crenatidens*): реконструкция внешнего вида и фрагмент передней части черепа из пещеры Таврида.

Рисунок Ю.М.Гирин и фото А.В.Лаврова

плохо приспособленные к быстрому бегу. Короткомордые пахикрокуты появились в Африке около 3 млн лет назад и были широко распространены в Евразии в интервале 2–0.6 млн лет назад [24, 25].

Представитель саблезубых кошачьих гомотерий (*Homotherium crenatidens*) размерами соответствовал современному льву (рост в плечах более 1.2 м, вес до 250 кг и более) и мог охотиться даже на очень крупных животных, включая, видимо, моло-

дых носорогов и слонов [23, 26]. В среднем плейстоцене его сменил более мелкий вид (*Homotherium latidens*), доживший до позднего плейстоцена. Гомотерии принадлежали к числу так называемых ятаганозубых саблезубых кошек, их клыки были умеренно длинными, широкими, грубо зазубренными по заднему краю. Морда этих хищников была удлинённой, передние конечности высокими, телосложением они несколько напоминали гиен.



Страусы среди других животных открытых пространств конца неогена — начала антропогена Евразии.

Фрагмент рисунка Ю.И.Масютина

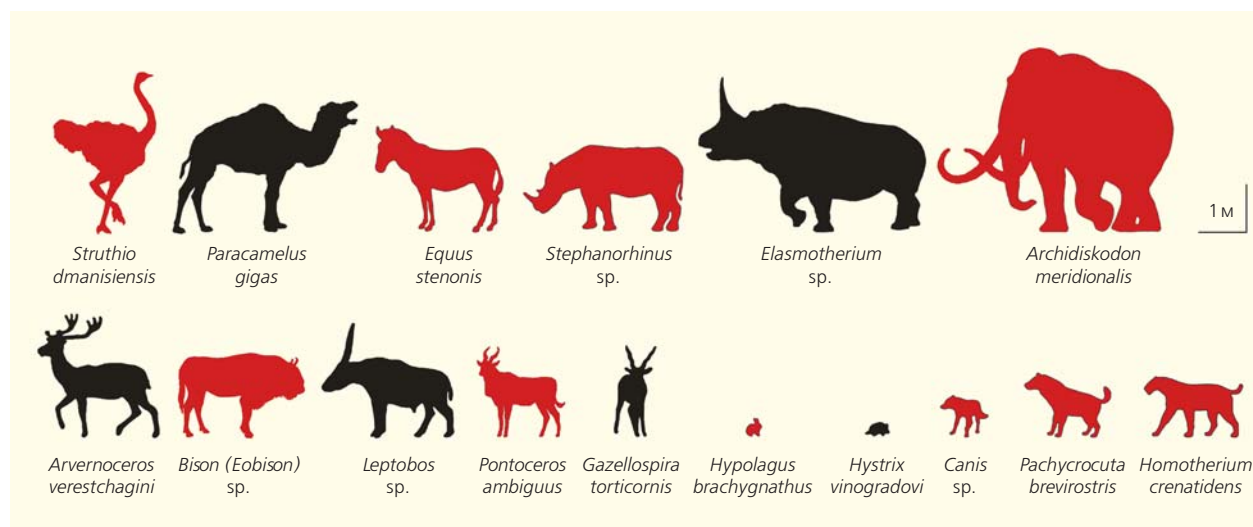
Среди птичьих остатков, найденных в пещере Таврида, более всего впечатляют две бедренные кости гигантской нелетающей птицы, по размерам существенно превосходившей современного африканского страуса [27]. Реконструируемая масса тела этой птицы, вычисленная с применением эмпирических формул, которые основаны на обхвате бедренной кости, составляет 450–460 кг (тогда как африканский страус весит не более 150 кг). По массе тела крымская форма сравнима с мадагаскарским эпиорнисом (*Aepyornis maximus*) и уступает только самому крупному представителю слоновых птиц, голоценовому воромбе (*Vorombe titan*), а также миоценовому австралийскому дроморнису Стиртона (*Dromornis stirtoni*), которые весили до 650 кг. Таким образом, она была одной из крупнейших птиц всех времен и самой большой птицей Северного полушария. Находки из пещеры Таврида определены как дманисский гигантский страус (*Struthio dmanisensis*) [1, 27]. Этот вид известен (тоже по бедренным костям) из нижнего плейстоцена местонахождения Дманиси в юго-восточной части Грузии [28]. Также очень крупная фаланга пальца стопы найдена в нижнем плейстоцене Венгрии (местонахождение Кисланг), на ее основе был описан паннонский гигантский страус — пахиструтио (*Struthio (Pachystruthio) pannonicus*) [29]. Все эти находки свидетельствуют о широком распространении в раннем плейстоцене в южной части Восточной Европы и в Закавказье гигантских птиц, значительно превосходящих по размерам современного страуса. В отличие от гигантских островных форм — эпиорнисов и моа, эти страусы-великаны могли неплохо бегать, что, по-видимому, связано с их обитанием в континентальных сообществах совместно с крупными хищными млекопитающими [27].

Начало антропогена в Крыму

Таврида — древнейшее пещерное местонахождение фауны антропогена в Крыму. Животные, захороненные в этой пещере, обитали на стыке двух палеозоогеографических подобластей Палеарктики — Средиземноморской и Европейско-Сибирской. В целом по своему составу эта ассоциация соответствует фаунам восточной части Средиземноморской подобласти, существовавшим в интервале 1.8–1.2 млн лет назад. Многие ее представители были широко распространены в Средиземноморье (дикобразы, гигантские гиены, волки, гомотерии, южные слоны, лошади, стефанорины, лептобосы, эобизоны, газеллоспиры), корни большинства из них уходят в начало плейстоцена и плиоцен. Вместе с тем арверноцеросы и понтоцеросы неизвестны за пределами Восточного Средиземноморья и Причерноморья, а эласмотерии и гигантские верблюды были широко распространены в Европейско-Сибирской и Центральноазиатской подобластях Палеарктики.

Экологические характеристики видов отражают существование в Крыму разнообразных биотопов (от лесных до степных) и широкое распространение лесостепных (саванноподобных) ландшафтов. Среди копытных преобладают формы (лептобос, эобизон, газеллоспира), в пищевой рацион которых входили как листва и побеги древесных растений, так и травы. В фауне присутствуют обитатели лесов (арверноцерос, ястреб) и открытых пространств (южный слон, носороги, лошади, дикобраз, страус, стрепет). Судя по составу фауны, климат во времена ее существования был теплым, близким к субтропическому и умеренному [1].

Ассоциация позвоночных из пещеры Таврида включает много общих форм с фауной грузинского



Состав комплекса позвоночных местонахождения Таврида в Крыму. Красным выделены формы, общие с местонахождением Дманиси в Грузии.

Рисунок А.В.Лопатина

местонахождения Дманиси (возраст 1.77–1.88 млн лет), в котором найдены ископаемые остатки и свидетельства деятельности древних людей *Homo erectus georgicus* [4]. Присутствие в Тавриде *Hypolagus brachygnathus*, *Homotherium crenatidens*, *Archidiskodon meridionalis*, *Equus stenonis*, *Bison* (*Eobison*), *Pontoceros*, *Struthio dmanisensis* и других общих с Дманиси животных свидетельствует о близком возрасте этих фаун.

Возраст и состав раннеплейстоценовой крымской биоты, характеристики ландшафта и наличие карстовых пещер соответствуют особенностям, выявленным на основных миграционных путях ранних представителей рода *Номо* в Евразии. *Номо erectus* был одним из характерных элементов, сходных по составу с тавридской фауной

ассоциаций, существовавших в Юго-Восточной Европе в раннем плейстоцене, и входил в мигрирующий комплекс видов, который включал крупных копытных и хищников, в том числе саблезубых кошек и гигантских гиен [30–32]. Дальнейшее изучение местонахождения Тавриды представляет дополнительный большой интерес в связи с проблемой первого вселения в Европу ранних представителей рода *Номо* на начальных этапах интенсивного распространения древнейших людей в Евразии 1.8–1.2 млн лет назад. Исходя из представлений об экологических связях между видами раннеплейстоценовой фауны млекопитающих, следует полагать, что в Крыму с большой вероятностью могут быть найдены кости и орудия ранних *Номо*. ■

Автор выражает благодарность всем участникам и организаторам раскопок в пещере Тавриды в 2018 г., в особенности А.В.Лаврову, Д.Б.Старцеву и Д.О.Гимранову, а также И.А.Вислобоковой (Палеонтологический институт имени А.А.Борисяка РАН) за плодотворное обсуждение проблем биостратиграфии и палеозоогеографии неогена и плейстоцена и распространения ранних гоминин. Оригинальные рисунки художников В.Д.Колганова, Ю.И.Масютина, С.П.Архиповой и Ю.М.Гирина находятся в экспозиции Палеонтологического музея имени Ю.А.Орлова Палеонтологического института имени А.А.Борисяка РАН.

Литература / References

1. Лопатин А.В., Вислобокова И.А., Лавров А.В. и др. Пещера Тавриды — новое местонахождение раннеплейстоценовых позвоночных в Крыму. Доклады Академии наук. 2019; 485(3): 381–385. [Lopatin A.V., Vislobokova I.A., Lavrov A.V. et al. The Taurida Cave, a new locality of Early Pleistocene vertebrates in Crimea. Doklady Biological Sciences. 2019; 485(3): 40–43.]
2. Baryshnikov G.F. Local biochronology of Middle and Late Pleistocene mammals from the Caucasus. Russian Journal of Theriology. 2002; 1(1): 61–67.
3. Masini F., Palombo M.R., Rozzi R. A reappraisal of the Early to Middle Pleistocene Italian Bovidae. Quaternary International. 2013; 288: 45–62.
4. Lordkipanidze D., Ponce de León M.S., Margvelashvili A. et al. A complete skull from Dmanisi, Georgia, and the evolutionary biology of early *Homo*. Science. 2013; 342(6156): 326–331.
5. Вислобокова И.А., Агаджанян А.К. Новые данные о крупных млекопитающих плейстоценовой фауны Трлица (Черногория, Центральные Балканы). Палеонтологический журнал. 2015; 6: 86–103. [Vislobokova I.A., Agadjanian A.K. New data on large mammals of the Pleistocene Trlica fauna, Montenegro, the Central Balkans. Paleontological Journal. 2015; 6: 86–103. (In Russ.).]
6. Kostopoulos D.S., Maniakis I., Tsoukala E. Early bison remains from Mygdonia Basin (Northern Greece). Geodiversitas. 2018; 40(13): 283–319.
7. Larramendi A. Shoulder height, body mass and shape of proboscideans. Acta Palaeontologica Polonica. 2016; 61(3): 537–574.
8. Kosintsev P., Mitchell K.J., Deviese T. et al. Evolution and extinction of the giant rhinoceros *Elasmotherium sibiricum* sheds light on late Quaternary megafaunal extinctions. Nature Ecology & Evolution. 2018; 3(1): 31–38.
9. Rybczynski N., Gosse J.C., Harington C.R. et al. Mid-Pliocene warm-period deposits in the High Arctic yield insight into camel evolution. Nature Communications. 2013; 4, 1550: 10.1038/ncomms2516.
10. Vislobokova I.A. Giant deer: origin, evolution, role in the biosphere. Paleontological Journal. 2012; 46(7): 643–775.
11. Croitor R. Description of two new species of the genus *Rucervus* (Cervidae, Mammalia) from the Early Pleistocene of Southeast Europe, with comments on hominin and South Asian ruminants dispersals. Quaternary. 2018; 1(2), 17: <https://doi.org/10.3390/quat1020017>.
12. Kostopoulos D.S. The Plio-Pleistocene artiodactyls (Vertebrata, Mammalia) of Macedonia 1. The fossiliferous site «Apollonia-1», Mygdonia basin of Greece. Geodiversitas. 1997; 19(4): 845–875.
13. Martínez-Navarro B., Belmaker M., Bar-Yosef O. The bovid assemblage (Bovidae, Mammalia) from the Early Pleistocene site of 'Ubeidiya: biochronological and biogeographical implications for the fossil and lithic bearing strata. Quaternary International. 2012; 267: 78–97.
14. Плейстоцен Тирасполя. Кишинев, 1971. [Pleistocene of Tiraspol. Kishinev, 1971. (In Russ.).]
15. Crégut-Bonnouret E. Apport des Caprinae et Antilopinae (Mammalia, Bovidae) à la biostratigraphie du Pliocène terminal et du Pléistocène d'Europe. Quaternaire. 2007; 18(1): 73–97.
16. Vekua A. New spiral-horned antelope in Dmanisi Fauna. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. 2012; 6(3): 139–144.

17. Fostowicz-Freluk L. Revision of *Hypolagus* (Mammalia: Lagomorpha) from the Plio-Pleistocene of Poland: qualitative and quantitative study. *Annales Zoologici*. 2007; 57(3): 541–590.
18. Čermák S. The Plio-Pleistocene record of *Hypolagus* (Lagomorpha, Leporidae) from the Czech and Slovak Republics with comments on systematics and classification of the genus. *Bulletin of Geosciences*. 2009; 84(3): 497–524.
19. Джафаров Р.Д. Четвертичная фауна Бинагадов. Баку, 1961. [Dzhafarov R.D. Quaternary fauna of Binagadi. Baku, 1961. (In Russ.).]
20. Топачевский В.А. Грызуны таманского фаунистического комплекса Крыма. Київ, 1973. [Topachevsky V.A. Rodents of Taman faunal complex of Crimea. Kiev, 1973. (In Russ.).]
21. Baryshnikov G.F. Pleistocene small porcupine from the Ural Mountains, Russia, with note on taxonomy of *Hystrix vinogradovi* (Rodentia, Hystricidae). *Russian Journal of Theriology*. 2003; 2(1): 43–47.
22. Kuzmin Y.V., Kosintsev P.A., Vasiliev S.K. et al. The northernmost and latest occurrence of the fossil porcupine (*Hystrix brachyura vinogradovi* Argyropulo, 1941) in the Altai Mountains in the Late Pleistocene (ca. 32,000–41,000 cal BP). *Quaternary Science Reviews*. 2017; 161: 117–122.
23. Turner A., Antón M. The giant hyaena, *Pachycrocuta brevirostris* (Mammalia, Carnivora, Hyaenidae). *Geobios*. 1996; 29(4): 455–468.
24. Palmqvist P., Martínez-Navarro B., Pérez-Claros J.A. et al. The giant hyena *Pachycrocuta brevirostris*: modelling the bone-cracking behavior of an extinct carnivore. *Quaternary International*. 2011; 243(1): 61–79.
25. Arribas A., Garrido G., Viseras C. et al. A mammalian Lost World in Southwest Europe during the Late Pliocene. *PLoS ONE*. 2009; 4(9): e7127.
26. Logchem W. van, Mol D. De vroeg-pleistocene sabeltandkat, *Homotherium crenatidens* (Weithofer, 1889), voor het eerst opgevest van de bodem van de Noordzee. *Cranium*. 2008; 25(2): 3–16.
27. Зеленков Н.В., Лавров А.В., Старцев Д.Б., Лопатин А.В. Гигантская нелетающая птица в раннем плейстоцене Восточной Европы. Морфологическая эволюция и стратиграфические проблемы. Материалы LXV сессии Палеонтологического общества при РАН (1–5 апреля 2019 г., Санкт-Петербург). СПб., 2019; 232–233. [Zelenkov N.V., Lavrov A.V., Startsev D.B., Lopatin A.V. A giant flightless bird in the Early Pleistocene of Eastern Europe. Morphological evolution and stratigraphic problems. Proceedings of the LXV session of the Paleontological Society of the Russian Academy of Sciences (April 1–5, 2019, Saint Petersburg). Saint Petersburg, 2019; 232–233. (In Russ.).]
28. Vekua A. Giant ostrich in Dmanisi fauna. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*. 2013; 7(2): 143–148.
29. Kretzoi M. Ostrich and camel remains from the Central Danube basin. *Acta Geologica*. 1954; 2: 231–242.
30. Лопатин А.В. Сателлитное поведение как часть адаптивного становления рода *Homo*. Вестник Московского университета. Сер. XXIII: Антропология. 2010; 2: 36–43. [Lopatin A.V. «Satellite» behaviour as a part of adaptive formation of the genus *Homo*. The Moscow University Herald. Ser. 23. Anthropology. 2010; 2: 36–43. (In Russ.).]
31. Garcia Garriga J., Martínez K., Yravedra J. Hominin-Carnivoran adaptive strategies in Western Europe during the Early Pleistocene. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*. 2016; 44(2): 19–29.
32. Вислобокова И.А., Агаджанян А.К., Лопатин А.В. Первая находка возможных костяных орудий середины раннего плейстоцена на Балканах. Вестник Московского университета. Сер. XXIII: Антропология. 2018; 2: 130–142. [Vislobokova I.A., Agadzhanian A.K., Lopatin A.V. First evidence for possible bone tools of hominins in the Mid-Early Pleistocene of the Balkans. Moscow University Anthropology Bulletin. Anthropology. 2018; 2: 130–142. (In Russ.).]

The Lost World of Taurida: the Earliest Fossil Cave Fauna in Crimea

A.V. Lopatin

Borissiak Paleontological Institute, RAS (Moscow, Russia)

A study of the Pleistocene vertebrates assemblage from the Taurida karst cave discovered in 2018 in the central Crimea (Belogorsky district, Zuya village) showed its similarity to the Early Pleistocene (Late Villafranchian) faunas of the Eastern Mediterranean and let to determined its approximate age, 1.8–1.5 Ma. Thus, this assemblage represents the most ancient fossil cave fauna in Crimea and Russia.

Keywords: Quaternary, Early Pleistocene, Crimea, Taurida Cave, mammals, birds.

Филлофорное поле Зернова:

к 110-летию уникального открытия в Черном море

О.В.Степаньян
Южный научный центр РАН
(Ростов-на-Дону, Россия)





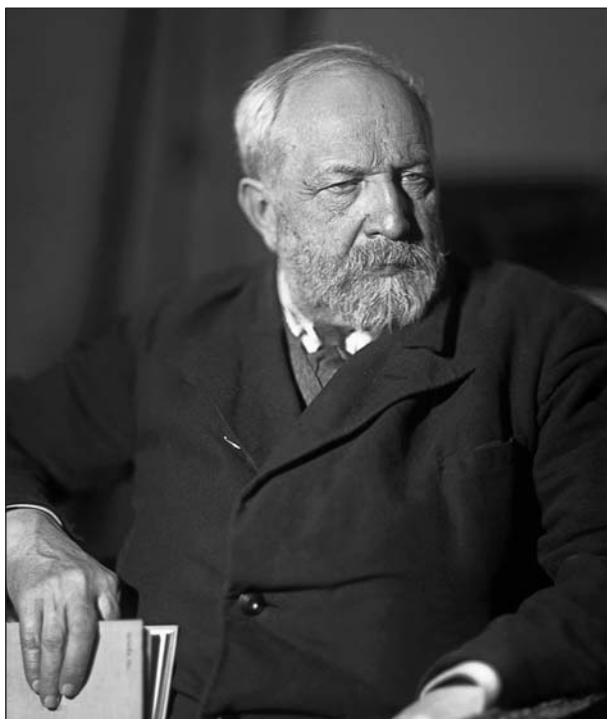
Рассказывается об истории открытия Филлофорного поля Зернова, о причинах скопления красной водоросли в северо-западной части Черного моря. Рассмотрены причины деградации этого уникального биологического объекта и снижения запасов с 10 млн т в 1940 г. до 10 тыс. т в начале 2000-х годов. Показано, что уничтожение филлофоры вызвано не только деятельностью человека: климатические изменения также играют роль в процессе деградации или восстановления ее скоплений.

Ключевые слова: Черное море, филлофора, запасы водорослей, С.А.Зернов, Севастопольская биологическая станция.



Олег Владимирович Степьян, кандидат биологических наук, заведующий отделом изучения экстремальных природных явлений и техногенных катастроф Южного научного центра РАН (Ростов-на-Дону). Занимается исследованием донной растительности южных морей России.
e-mail: step@ssc-ras.ru

В конце августа 1908 г. гидробиолог Сергей Алексеевич Зернов стоял на мостике небольшого рыболовного судна «Академик Бэр» и смотрел вдаль. Был жаркий и душный южный день, спасительная прохлада ожидалась только к вечеру. О чем он думал? О недавно полученной должности заведующего Севастопольской биостанцией, о научных задачах гидробиологии — молодой науки, контуры которой он начал создавать, или же о революционных событиях 1905 г. в Таврической губернии, где он трудился смотрителем музея? Возможно, вспоминал свое подпольное прошлое народовольца и агитатора, арест, суд и ссылку в Вятскую губернию. И первую научную статью о планктоне северных рек, написанную там, в ссылке, и ставшую всего лишь пятой(!) публикацией на эту тему в мировой научной печати. Сергей Алексеевич вздрогнул от зычного голоса капитана. Прозвучал приказ отдать швартовые, корабль начал движение, и экскурсия, как в то время называли научные исследования, началась. Вдалеке в морской дымке остался прекрасный белокаменный Севастополь. Курс «Академика Бэра» лежал в сторону Одессы. Начало важным исследованиям в северо-западной части Черного моря было положено.



С.А.Зернов (1871–1945) — первооткрыватель огромных скоплений филлофоры в Черном море.

www.ras.ru

На эту экспедицию Зернов возлагал большие надежды. Он ведь уже не молод — 37 лет, многие его коллеги и друзья давно стали профессорами в университетах и имеют многочисленные публикации и награды. Ученый понимал, что должен сделать нечто революционное для отечественной науки. Он спланировал и организовал первую комплексную экспедицию, которая должна была



С.А.Зернов за работой на Севастопольской биологической станции.

продолжаться в течение месяца. Ранее при поддержке Гидрографической службы Черноморского флота были возможны только короткие выходы на миноносцах и попутные наблюдения по маршрутам следования военных моряков. «Академик Бэр» — промысловое судно, принадлежащее Таврическому управлению охраны рыбных и зверобойных промыслов Департамента рыболовства Министерства земледелия, — это не научный корабль в нашем сегодняшнем представлении, научных судов в России в то время еще не существовало*. Тем не менее корабль был оборудован донным тралом, лебедками, с помощью которых возможно провести драгирование морского дна (сбор донных организмов дночерпателем только входил в обиход в Европе), а также опустить планктонные сети и батометры для отбора проб воды.

По результатам масштабной бентосной съемки планировалось уточнить распределение донных организмов, выявить новые виды и формы, дать оценку возможностям рыбного промысла в этом районе Черного моря, а также собрать биологический материал для Зоологического музея Императорской Академии наук. Кроме того, уже было известно, что в водной толще Черного моря растворен ядовитый газ сероводород и что значительная часть акватории представляет собой безжизненное пространство, в котором господствуют особые бактерии. Это открытие сделал всего 18 лет назад русский геолог Н.И.Андрусов. Будет ли обнаружен сероводород в северо-западной части Черного моря? Как он влияет на донные и планктонные организмы, на богатство рыбного населения? Какая жизнь обнаружится на дне и в толще воды? На все эти вопросы и должны были ответить участники экспедиции. Но никто из них тогда даже не предполагал, насколько сенсационными станут ее результаты.

Зернов был полон оптимизма и уверенности, что все задуманное получится, хотя погодаставляла желать лучшего. Исследования велись в тяжелых условиях. Порывистый ветер и волны грозили оборвать донный трал. Ученые ежеминутно рисковали потерять научные приборы, но, несмотря ни на что, продолжали работать. Было замечено, что трал все чаще приходит со скоплениями красной водоросли — филлофоры. Вдруг он зацепил что-то тяжелое. Судно накрени-

* Первое научное судно — «Александр Ковалевский» — появится на Севастопольской станции только в 1928 г.

tsushima.su

лось. Траловая лебедка стала нутужно вытаскивать сеть из воды. Вскоре на борт подняли несколько десятков пудов (около 0.5 т) филофоры. Судно отошло на несколько миль, и траления повторили. Результат оказался таким же: десятки пудов красных водорослей! На борту было экстренно организовано совещание. Встал вопрос, что делать дальше — продолжать работы по прежней программе или попробовать оконтурить возможное «месторождение» водорослей. Выбрали второе. На площади более 100 км² провели 10 тралений и практически везде получили сходный результат. После оперативной обработки первичных данных, еще на борту судна, стало ясно, что сделано настоящее научное открытие — обнаружено огромное поле с гигантскими запасами красной водоросли — источника йода и агара. Не зря еще в 1903 г., во время работ на миноносце №264 Черноморского флота (под командованием лейтенанта С.Н.Акимова), при первых обнаружениях скоплений филофоры, Зернов стал подозревать, что, возможно, на дне находится нечто большее...

Об экспедиции 1908 г. и сделанном открытии Зернов оперативно сообщил на страницах «Ежегодника Зоологического музея Академии наук» в 1908 и 1909 гг. [1, 2]. Позже вышли еще несколько публикаций, в которых этот район Черного моря был обозначен как Филлофорное море — по аналогии с Саргассовым морем. Позднее его назовут в честь первооткрывателя — Филлофорным полем Зернова.

После триумфальной экспедиции 1908 г. Зернов организовал еще два рейса в северо-западную часть Черного моря. Первый состоялся в апреле 1909 г. на рыболовном судне «Федя». На трех станциях удалось получить рекордный улов филофоры — 189 пудов (около 3 т) на каждой станции всего за полчаса работы тралом. Во второй рейс в сентябре 1911 г. отправился ледокол «Гайдамак» с небольшой, но слаженной научной командой на борту. Кроме Зернова в состав экспедиции вошли преподаватель Киевского университета Л.Н.Андрусов, представитель Управления Черноморско-Дунайского рыболовства Н.Е.Максимов, М.И.Тихий — выпускник университета, пожелавший работать на биостанции, а также 22-летний студент Харьковского Императорского университета кубанский казак Л.И.Волков [3], направленный для практической работы на Севастопольскую биостан-



Л.И.Волков (слева) и Я.В.Ролл в лаборатории Харьковского Императорского университета. 1910-е годы.

Фото из архива автора

цию профессором В.М.Арнольди. Волков не только участвовал в палубных работах и определениях запасов филофоры, но также обнаружил и описал новый вид красных водорослей из приморских лиманов Румынии. После экспедиции Зернов писал: «Благодаря работам на «Гайдамаке» в 1911 г. мы теперь с полной уверенностью доводим границу Филлофорного поля до острова Фидониси*» [4].

Обнаружение такого уникального объекта, как Филлофорное поле, позволило исследовать и своеобразную фауну, обитающую в пластах водорослей. Зернов описал многочисленных животных с мимикрирующей красной окраской — рачков, червей и даже рыб. После проведения морских исследований, охватывающих все россий-

* Фидониси — современный остров Змеиный в северо-западной части Черного моря.



Филлофора на борту рыболовного судна «Федя» в апреле 1909 г. [4].

ское побережье, а также многочисленных «экскурсий» в районе Севастополя и Южного берега Крыма Зернов подготовил замечательный труд «К вопросу об изучении жизни Черного моря» [4], где представил описание, говоря современными научными терминами, биологической компоненты (от простейших и беспозвоночных до птиц и морских млекопитающих) экосистемы Черного моря. Эта работа, за которую, кстати, автор получил звание магистра, стала первым гидробиологическим и экологическим обобщением для Черного моря, а также первой сводкой, где даются точные координаты и привязка мест отбора проб животных и растений, что особенно актуально в эпоху современных геоинформационных технологий.

Позднее, при обработке материалов трех экспедиций Зернова, известный русский ботаник Н.Н.Воронихин определил видовой состав водорослей и указал, что основной вид, образующий пласты, — это *Phyllophora rubens* f. *nervosa* (современное название вида — *Ph.crispa*). Кроме того, Воронихин точнее обозначил площадь Филлофорного поля Зернова: теперь оно простиралось далее на юго-запад, вплоть до Кюстенже (сейчас г.Констанца, Румыния) [4].

Откуда же в таком количестве появилась филлофора в этом районе Черного моря? Первое объяснение предложил сам Зернов. Он считал, что огромные скопления водорослей и характерная форма поля связаны с действием течений: из-за них северо-западная часть моря служит своеобразной ловушкой, где скапливаются водоросли [4]. Но откуда они поступают, оставалось непонятным.

Условиям обитания донных водорослей и происхождению Филлофорного поля посвящен ряд работ выдающегося альголога Н.В.Морозовой-Водяницкой [5]. Известно, что филлофора на дне располагается параллельными полосами — валами, ориентированными с запада на восток. Эти валы могут перемещаться под действием течений и образовывать в неровностях дна огромные залежи высотой несколько метров. Но сами кустики филлофоры не способны плавать в водной толще, поэтому вряд ли могли массово попадать сюда из прибрежной зоны (например, от берегов Крыма). Черноморским течением (его антициклонической ветвью) приносятся споры или обрывки спороносных талломов. На самом же поле существует самовос-



Н.В.Морозова-Водяницкая — автор гипотезы происхождения Филлофорного поля Зернова.

Фото из архива автора

производящийся фитоценоз, который «подпитывается» поступлением спор извне. Немалую роль в поддержании существования поля играют биологические особенности филлофоры: эта водоросль способна развиваться на любых твердых частицах (песчинках, раковинах) и даже на своих «стареющих собратьях». Оптимальны в этой части моря и природные условия — здесь много биогенных элементов, пологое дно и отсутствует сероводород. Все это вместе и способствовало накоплению водорослей.

В настоящее время в Черном море выявлено три вида филлофоры: *Ph.crispa*, *Coccotylus truncates* (устаревшие названия — *Ph.truncata*, *Ph.brodiaei*) и *Ph.pseudoceranoioides* [6]. Как писала известный морской альголог А.А.Калугина-Гутник еще в 1975 г., три

вида филлофор распространены по всей площади поля, но их относительное количество меняется на разных участках [7].

Когда же сформировалось это гигантское поле красных водорослей? По современным представлениям, *Ph.crispa* относится к средиземноморским иммигрантам, а *C.truncates* и *Ph.pseudoceranoioides* — арктические виды, обитающие в северной части Атлантического океана, а также в Баренцевом и Белом морях. Прямых естественных путей попадания этих водорослей в Черное море нет, поэтому их относят к реликтам ледникового периода, сохранившимся в наиболее холодной северной части моря [7]. Можно предположить, что эти виды появились здесь 12–14 тыс. лет назад, когда на Русской равнине активно разрушался гигантский ледник. Огромный пласт водорослей питался холодными водами, поступающими в Черное море через палеоруслу Днепра и Дуная. Когда же около 8 тыс. лет назад соленые средиземноморские воды стали проникать в Черное море через пролив Босфор, сюда могла попасть *Ph.crispa*.

Коммерческую значимость уникального скопления красных водорослей в нашей стране оценили не сразу. Желаящих вкладывать средства в добычу и переработку не находилось — куда проще ввозить необходимое водорослевое сырье и продукты из-за рубежа. Однако начало Первой мировой войны остро поставило перед Россией вопрос получения ценных для военного дела веществ — йода и водорослевой золы. Начались первые попытки организовать промысел водорослей. Но боевые действия на акватории Черного моря и рас-

цвет пиратства (Филлофорное поле Зернова оказалось как раз на пути из портов Севастополя и Одессы в Румынию, Болгарию и Бессарабию) быстро свели на нет все усилия по добыче.

К планомерной оценке водорослевых запасов и организации их добычи обратилось уже Советское государство в середине 1920-х — начале 1930-х годов. Первые работы по оконтуриванию поля и определению его запасов проводились в 1925–1926 гг. в знаменитых экспедициях профессора Н.М.Книповича по Азовскому и Черному морям. В середине 1930-х были построены добывающие суда и перерабатывающие заводы, подготовлены кадры. Но опять начало войны — теперь уже Великой Отечественной — перечеркнуло все начинания. Практически весь добывающий флот с командами погиб при обороне Одессы и Севастополя, заводы были разрушены, молодые специалисты погибли на полях сражений.

Только через 10 лет после окончания войны была предпринята третья попытка освоения огромных биологических ресурсов. И эта попытка оказалась успешной. В течение нескольких лет добыча водорослей превысила 300 тыс. т. Посыпались рапорты о выполнении и перевыполнении планов, рекой потекли благодарности и государственные награды. Тогда казалось, что этот период будет продолжаться долго, а водоросли... Что с ними будет? Сами быстро нарастут...

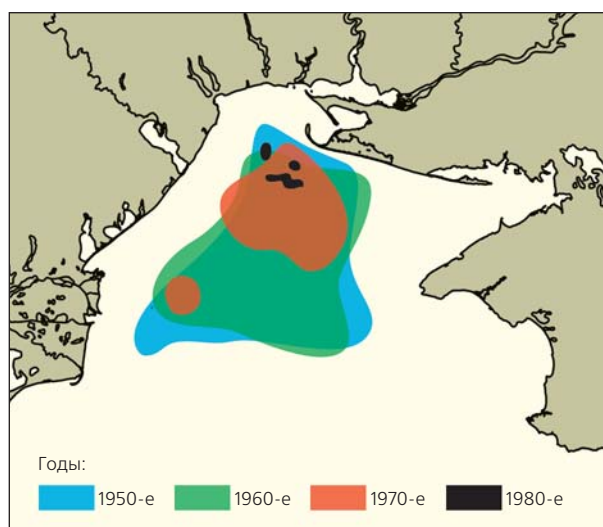
Вскоре стало ясно, что филлофоры становятся все меньше и меньше. К концу 1960-х годов ее запасы составили менее 50% от показателей 1940 г. Еще через 10 лет наступила катастрофа — запасы упали до 1 млн т [7]. Но это все еще была огромная цифра, которая внушала оптимизм промысловикам и ученым. Тем не менее появились определенные запреты и ограничения на добычу. Но процесс деградации поля уже было не остановить. К началу 1990-х водорослей осталось менее 0.5 млн т [8]. Распад СССР привел к кардинальным и негативным преобразованиям в промысловом флоте и перерабатывающей промышленности Черного моря. Государственные предприятия перешли в частные руки, суда продали в Турцию или распилили на металлолом, незавидная участь ждала и предприятия по переработке водорослевого сырья. Оставшиеся рыболовецкие колхозы и частные артели в 1990-х годах начали неконтролируемый промысел биоресурсов. В путину в этой части моря одновременно работали свыше 500 судов разного тоннажа, причем не только Украины, но и Турции, Румынии, Болгарии. Добыча проводилась самым варварским способом — донными тралами, которые в буквальном смысле выгребали все подряд — и рыбу, и водоросли. И если основная часть рыбного улова использовалась по назначению, то поднятые тралом водоросли, некондиционная рыба



А.А.Калугина-Гутник (подает гидробиологическую рамку водолазу) во время исследований сообществ филлофоры в Черном море.

Фото из архива автора

и беспозвоночные тоннами выбрасывались за борт. Опускаясь на дно, они погибали, разлагались и отравляли все живое. Траловые доски весом в десятки и сотни килограммов перепыхивали дно, это также приводило к повреждению и засыпанию



Пространственная динамика сокращения Филлофорного поля Зернова [8].

грунтом донных беспозвоночных и водорослей и в дальнейшем к их гибели. К слову, в российских водах Черного моря такие орудия промысла были запрещены уже в начале 1990-х годов.

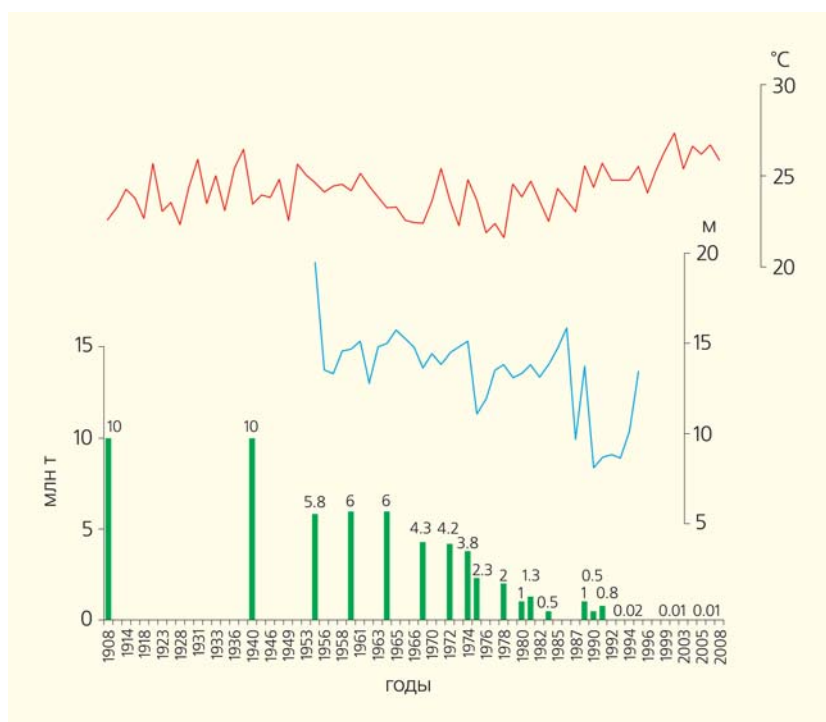
Такая ситуация быстро «добила» Филлофорное поле, и с 1999 г. запасы водорослей не превышали 10 тыс. т, т.е. по сравнению с исходными снизились в 1000 раз [8]!

Конечно, все происходящее не оставалось вне поля зрения ученых. С 1970-х годов появились публикации, в которых, оставляя за скобками перепромысел водорослей (критика советского Министерства рыбного хозяйства и плановых органов грозила неприятностями) или говоря о нем вскользь, авторы давали объяснения, почему поле деградирует [7–9]. Называлось множество причин: «зеленая революция» в Европе и химизация сельского хозяйства в СССР, вызвавшие сток загрязняющих веществ (пестицидов, нефтепродуктов, тяжелых металлов и т.д.) с реками Дунай и Днепр и эвтрофикацию (из-за чрезмерного поступления органических веществ и минеральных удобрений), интенсивное развитие микроводорослей, зеленых нитчатых водорослей и связанное с этим снижение прозрачности воды, заморные явления, которые в 1980-х годах охватывали тысячи квадратных километров акватории северо-западной части Черного моря, подъем вод, зараженных сероводородом, к поверхности,

природная геологическая деятельность и просачивание метана и нефтяных углеводородов, вселение гребневика-мнемииопсиса в конце 1980-х, внесшего дисбаланс в уже деформированную экосистему, и т.д.

Получалось, что в деградации Филлофорного поля Зернова в большей степени все-таки виноват человек. Начиная с 1970-х годов деструктивные изменения поля связывались главным образом с сукцессией фитоценозов или перепромыслом. Но есть еще один фактор — это температура воды. Сопоставляя ее изменения с динамикой запасов филлофоры, а также с мутностью воды в западной части Черного моря, мы видим, что катастрофическое снижение запасов, отмеченное в 1940-х годах, увязывается с предшествующим периодом потепления. Промысел в те годы еще не был столь масштабным. В 1950-х на фоне наступившего похолодания наблюдалось некоторое восстановление запасов филлофоры. То же самое отмечалось в 1981 и в 1992 гг. [6]. Но активный промысел в 1960–1980-е годы окончательно подорвал существующие запасы водорослей, и акватория, занятая филлофорой, сократилась в десятки раз [6]. Повышение температуры [10], снижение прозрачности воды [11], в первую очередь из-за массового развития кокколитофорид [12], а также увеличение площадей, подверженных заморным явлениям [13], усугубило этот процесс.

Со второй половины 1990-х годов, в связи с резким падением запасов, промысел морских биоресурсов в этом районе Черного моря уменьшился. В середине 2000-х отмечены первые симптомы восстановления Филлофорного поля Зернова. Вероятно, их можно связать как с прекращением промысла, так и с периодами похолодания и увеличения прозрачности морской воды. По результатам экспедиций 2004–2008 гг. Г.Г.Миничева с коллегами сделала вывод, что продуктивность и биомасса водорослей увеличились, так что, возможно, поле сможет восстановиться к 2030 г. [14, 15]. Признаки восстановления зафиксировали и другие ученые [6, 16]. Отмечено, что в 2008 г. (к 100-летию со дня открытия Зернова) героическими усилиями украинских ученых — морских биологов Института биологии южных морей и его Одесского филиала — на остатках Фил-



Многолетняя динамика запасов красных водорослей Филлофорного поля Зернова. Красным показана августовская температура поверхностного слоя вод [10], синим — прозрачность морской воды в глубоководной части моря [11], зеленым — запасы филлофоры [6].



Черноморская филлофора (Новороссийская бухта, 2007 г.).

Фото автора

лофорного поля был создан природный заказник государственного значения «Филлофорное поле Зернова» и введен режим ограничений промысла добычи рыб, водорослей и беспозвоночных.

Какое же будущее ждет Филлофорное поле Зернова — возрождение или деградация? Особенно учитывая современные геополитические реалии, когда причерноморским странам не до про-

блем замечательной красной водоросли филлофоры. Да и браконьеры по-прежнему пытаются вести промысел с помощью донных тралов... Тем не менее восстановление морских биологических ресурсов в этом уникальном районе Черного моря все-таки зависит от человека. Это общая задача не только всех стран, берега которых омываются Черным морем, но и всего мирового сообщества. ■

Работа выполнена в рамках государственного задания «Морские биогеосистемы юга России и их водосборы в условиях аридного климата, хозяйственного освоения и современных геополитических вызовов» (№ АААА-А18-118122790121-5).

Литература / References

1. Зернов С.А. Отчет по командировке в С.-З. часть Черного моря для изучения фауны и собирания коллекций для Зоологического музея Императорской Академии наук (Одесский залив, Днепровско-Бугский лиман, Каркинитский и Джарылгатский заливы). Ежегодник Зоологического музея Императорской Академии наук. 1908; 13: 154–166. [Zernov S.A. Report on expedition to the North-West of the Black Sea for studying the fauna and collecting collections for the Zoological Museum of the Imperial Academy of Sciences (Odessa Bay, Dneprovsko-Bugsky Liman, Karkinitzky and Dzharylgatsky Bays). Yearbook of the Zoological Museum of the Imperial Academy of Sciences. 1908; 13: 154–166. (In Russ.).]
2. Зернов С.А. Фация филлофоры (Algae-Rhodophceae): Филлофорное поле в северо-западной части Черного моря. Ежегодник Зоологического музея Императорской Академии наук. 1909; 14: 181–191. [Zernov S.A. Facies of Phyllophora (Algae-Rhodophceae): Phyllophora Field in the North-West of the Black Sea. Yearbook of the Zoological Museum of the Imperial Academy of Sciences. 1909; 14: 181–191. (In Russ.).]

3. Степаньян О.В. Лука Илларионович Волков: к 125-летию со дня рождения. Ботанический журнал. 2012; 97(12): 1589–1599. [Stepanyan O.V. Luka Illarionovitch Volkov: on the occasion of his 125th anniversary. Botanicheskii Zhurnal. 2012; 97(12): 1589–1599. (In Russ.).]
4. Зернов С.А. К вопросу об изучении жизни Черного моря. Записки Императорской Академии наук. 1913; 32(1): 1–304. [Zernov S.A. On question of the study of life of the Black Sea. Notes of the Imperial Academy of Sciences. 1913; 32(1): 1–304. (In Russ.).]
5. Морозова-Водяницкая Н.В. «Филлофорное поле Зернова» и причины его возникновения. Сборник трудов памяти академика С.А.Зернова. М., 1948; 216–226. [Morozova-Vodyanitskaya N.V. "Phyllophora field of Zernov" and the reasons for its occurrence. Collection of works in memory of Academician S.A.Zernov. M., 1948; 216–226. (In Russ.).]
6. Мильчакова Н.А., Миронова Н.В., Рябогина В.Г. Морские растительные ресурсы. Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей. Севастополь, 2011; 117–139. [Milchakova N.A., Mironova N.V., Ryabogina V.G. Marine plant resources. Biological resources of the Black Sea and Sea of Azov. Sevastopol, 2011; 117–139. (In Russ.).]
7. Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. Киев, 1975. [Kalugina-Gutnik A.A. Phytobenthos of the Black Sea. Kiev, 1975. (In Russ.).]
8. Зайцев Ю.П. Введение в экологию Черного моря. Одесса, 2006. [Zaitsev Yu.P. Introduction to the ecology of the Black Sea. Odessa, 2006. (In Russ.).]
9. Калугина-Гутник А.А., Евстигнеева И.К. Долговременная динамика видового состава и структуры донных фитоценозов филлофорного поля Зернова. Экология моря. 1993; 43: 90–97. [Kalugina-Gutnik A.A., Evstigneeva I.K. Long-term dynamics of species composition and structure of bottom phytocenoses of the Phyllophorous Zernov's Field. Ecology of the Sea. 1993; 43: 90–97. (In Russ.).]
10. Kontoyiannis H., Papadopoulos V., Kazmin A. et al. Climatic variability of the near-surface sea temperatures in the Aegean-Black Sea system and relation to meteorological forcing. Climate Dynamics. 2012; 39: 1507–1525. Doi:10.1007/s00382-012-1370-8.
11. Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А., Хорошун С.А. Многолетняя изменчивость прозрачности вод в шельфовых и глубоководных районах Черного моря в XX столетии. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2013; 27: 243–248. [Kukushkin A.S., Prokhorenko Yu.A., Khoroshun S.A. Long-term variability of water transparency in the shelf and deep-sea areas of the Black Sea in the twentieth century. Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources. 2013; 27: 243–248. (In Russ.).]
12. Микаэлян А.С., Силкин В.А., Паутова Л.А. Развитие кокколитофорид в Черном море: межгодовые и многолетние изменения. Океанология. 2011; 51(1): 45–53. [Mikaelyan A.S., Silkin V.A., Pautova L.A. Coccolithophorids in the Black Sea: Their interannual and long-term changes. Oceanology. 2011; 51(1): 39–48.]
13. Oguz T., Dippner J.W., Kaymaz Z. Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at interannual-to-decadal time scales. Journal of Marine Systems. 2006; 60(3–4): 235–254. Doi:10.1016/j.jmarsys.2005.11.011.
14. Миничева Г.Г., Косенко М.Н., Швец А.В. Фитобентос Большого и Малого филлофорных полей как отражение современного экологического состояния северо-западной части Черного моря. Морской экологический журнал. 2009; 8(4): 24–40. [Minicheva G.G., Kosenko M.N., Shvets A.V. Phytobenthos of the Large and Small Phyllophora Fields as a reflection of the contemporary ecological state of the northwestern Black Sea. Marine Ecological Journal. 2009; 8(4): 24–40. (In Russ.).]
15. Миничева Г.Г. Современная морфофункциональная трансформация сообщества макрофитов филлофорного поля Зернова. Альгология. 2007; 17(2): 171–190. [Minicheva G.G. Contemporary morphofunctional transformation of seaweed communities of the Zernov phyllophora field. Algology. 2007; 17(2): 171–190. (In Russ.).]
16. Ткаченко Ф.П., Третьяк И.П., Костылев Э.Ф. Макрофитобентос филлофорного поля Зернова в современных условиях (Черное море, Украина). Альгология. 2008; 18(4): 423–431. [Tkachenko F.P., Tretyak I.P., Kostylev E.F. Macrophytobenthos of the Zernov phyllophora field in modern conditions (Black Sea, Ukraine). Algology. 2008; 18(4): 423–431. (In Russ.).]

Zernov's Phyllophora Field: 110 Years of the Unique Discovery in the Black Sea

O.V.Stepanyan

Southern Scientific Center of RAS (Rostov-on-Don, Russia)

The history of the discovery of the Zernov's Phyllophora field is considered. The existing hypotheses that explain the appearance of phyllophora clusters of red algae in the North-Western part of the Black sea are analyzed. The causes of degradation of this unique biological object of the Black Sea, from the 10 million tons in 1940 to 10 thousand tons in the early 2000s, are considered. It is revealed that not only human activity caused of the destruction of phyllophora, but also climatic changes largely determine the processes of its degradation or recovery.

Keywords: the Black sea, phyllophora, algae reserves, S.A.Zernov, Sevastopol Biological Station.

Культуры *Ното* в оценках мироздания и архетипы ментальности

Е.Н.Черных

Институт археологии РАН (Москва, Россия)

Автор продолжает дискуссию о психологических гранях существования всех культур *Ното*. Основное внимание сосредоточено на сюжетах, связанных с психологическими феноменами: *мы и они*, *нарциссизм* (*самолюбование*) и, наконец, *синдром единомыслия*. По существу, все три феномена можно отнести в разряд извечных и всеохватных. Их реальное воздействие на характер и образ любой культуры представляется наиболее ярко выраженным. Все они тесно взаимосвязаны и не в состоянии существовать изолированно. Это и есть архетипы ментальности, и их корни уходят в глубину эры архантропов (*Homo erectus*).

Ключевые слова: психологический феномен, нарциссизм, синдром единомыслия, эра архантропов.

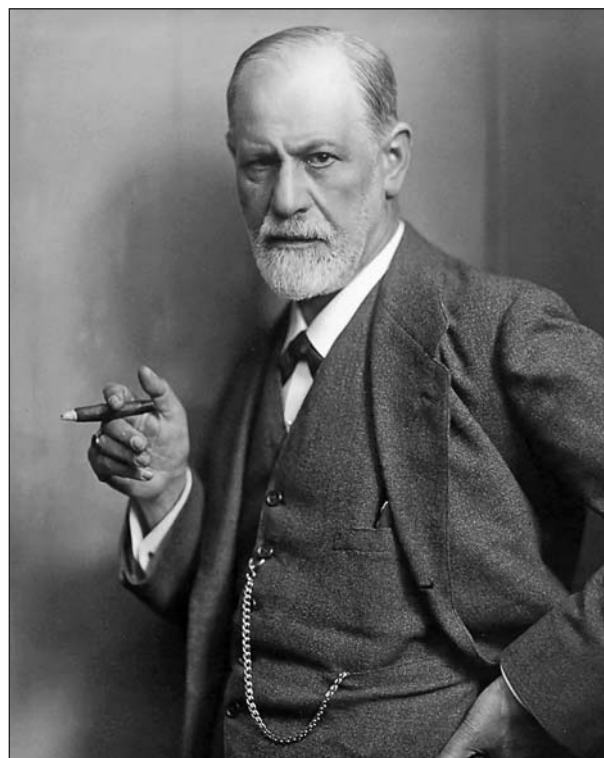
Трио извечное и всеохватное

Сначала о том, что наша жизнь всегда опирается на извечный и всеохватный дубль: *мы и они*. Первое, то есть *мы*, все сущее соразмеряет через оценку *они*. Идет ли речь о близких к *мы* соседях или же отдаленных от *мы* странах, о группах людей по их верованиям или же по их богатству, о людях или пусть даже о неких видах животных — *мы* всегда желаем знать: чем же *мы* все-таки отличаемся от *они*, о чем *мы* можем скорбеть или чем должны гордиться. При этом *гордость* за *мы* всегда и безусловно должна господствовать в сопоставлениях подобного рода. В сущности, это и есть один из архетипов человеческой культуры, каждая из которых всегда сопоставляет себя с прочими подобно-го рода формированиями.

Сопоставления всегда происходят на фоне чрезвычайно распространенного феномена, именуемого психологами *самолюбованием*, *нарциссизмом*, а в исходном варианте — *синдромом Нарцисса*. Это еще один всеобщий и крайне устойчивый архетип человеческой культуры в самом широком ее понимании. Определение этого феномена достаточно хорошо известно даже людям, не совсем причастным к психологической науке. Однако стоит, наверное, уделить *нарциссизму* некоторое внимание, дабы не возникало досадных разночтений, и потому начнем с инициаторов этого направления.

Чаще всего полагают, что и термин — *нарциссизм*, — и его определение в науке о душе человека первым предложил выдающийся австрийский

психолог Зигмунд Фрейд (1856–1939). Однако пионером в этом отношении был немецкий психолог Пауль Нэкке (1851–1913), привлечший внимание к данному феномену еще в своей публикации 1899 г. [1], о чем, кстати, в работе 1914 г. упоминал и сам Фрейд [2]. В курсе своих лекций, включен-



Зигмунд Фрейд.

Здесь и далее фотографии предоставлены автором

Продолжение. Начало см. в №5.

ных в книгу «Я и Оно», Фрейд писал: *Название для такого размещения либидо — нарциссизм — мы заимствовали из описанного П.Некке (1899) извращения, при котором взрослый индивид дарит своему собственному телу все нежности, обычно проявляемые к постороннему сексуальному объекту* [3]. Эту лекцию Фрейд так и озаглавил: «Теория либидо и нарциссизм». Сам Нэкке — фигура весьма любопытная, хотя в науке и не столь известная. Родился в Санкт-Петербурге, его отец — немец, мать — француженка. С раннего детства вместе с семьей жил и учился в Германии. Обнаружил значительные дарования к языкам, а также интерес к самым разнообразным наукам (медицине, философии, истории, этнографии, археологии) и даже к архитектуре. Наиболее существенный вклад внес в криминологию и криминальную антропологию, сексологию и психологию. Выступал за необходимость кастрации и стерилизации *дегенеративных преступников и дегенератов вообще*. В частности, в 1900 г. он опубликовал статью «Кастрация некоторых классов дегенератов как эффективная социальная защита». Был сторонником взгляда о непригодности интеграции негров в американское общество.

Фрейд принял идею *нарциссизма* и постарался расширить ее ареал. Правда, далеко за пределы сексологии он его так и не вывел [2, 3]. Позже направление это получило широкое признание в среде психологов. Пожалуй, особое внимание проявлениям нарциссизма — не только индивидуального, но и коллективного — уделил известный немецкий психолог Эрих Фромм* (1900–1980) [4–6].

* Многие считали Фромма продолжателем теории Фрейда (сторонником неопрейдизма), однако сам он это отрицал, признавая вместе с тем высокую значимость изысканий австрийского предшественника. Специально посвященная этому работа Фромма называлась «Величие и ограниченность теории Фрейда» [7, 8].



Эрих Фромм.

Остановимся вкратце лишь на одной из наиболее общих оценок, которую Фромм дал этому феномену: *Общественный нарциссизм стремится к удовлетворению. С одной стороны, это удовлетворение обеспечивается с помощью общей идеологии превосходства собственной группы и неполноценности всех других групп. В религиозных группах это удовлетворение достигается достаточно просто посредством допущения, что собственная группа — единственная, которая верит в подлинного Бога, и, поскольку собственный Бог считается единственно подлинным, все остальные группы состоят из заблудших неверных. ...Общественный нарциссизм на светской почве может привести к тем же последствиям. Нарциссическая убежденность в превосходстве белых над неграми... доказывает, что чувство собственного превосходства и неполноценности другой группы не знает границ. Однако для полного удовлетворения этого нарциссического представления некой группы о себе необходимо его известное подтверждение в реальности. <...> Если же в распоряжении нарциссической группы нет меньшинства, беспомощность которого достаточна, чтобы сделать его объектом нарциссического удовлетворения, то общественный нарциссизм легко приводит к желанию военного завоевания...* [4].

В сущности, именно из этих рассуждений Фромма и вытекает специфическая оппозиция того психологического *трио*, которое мы наметили в начале: дубль *мы-они* непременно сопровождается *нарциссизмом*, что и порождает само *трио*. Предполагают также, что за дублем *мы-они* чаще всего стоят не только культуры, но и человеческие расы, а также что дублеры эти не равноценны. Первый из них — *мы* — обладает безусловным правом определять и расставлять оценки тем, кто попадает в разряд *они*. Это право основано на нарциссизме некоторой группы, которая его сама себе присваивает и почитает неколебимым. К таковому, скажем, относятся те, кто причисляет себя к медиаторам между человеком и Высшей силой, независимой от желаний обычных людей, — к священникам, шаманам... Они оценивают все деяния идеологически зависящих от них людей, и никому из тех не дано право сомневаться в справедливости их оценок.

Группа *они*, конечно, тоже может полагать, что ее достоинства не ниже, чем у группы *мы*. Думать так, разумеется, можно, хотя вряд ли рекомендуется, особенно если сама группа находится в политической подчиненности от *мы*. Рассуждать о таком лучше всего втайне. Но как же предполагаемые доблести доказать?

Разумеется, превосходство *мы* надежнее всего демонстрировать громкими военными победами, и это также можно считать извечным психологическим архетипом. Вот, к примеру, знаменитый Тит Ливий в первом томе своей «Истории Рима от

основания города» писал: *Древности простительно, мешая человеческое с божественным, возвеличивать начала городов; а если какому-нибудь народу позволительно освящать свое происхождение и возводить его к богам, то военная слава народа римского такова, что, назови он самого Марса своим предком и отцом своего родоначальника, племена людские и это снесут с тем же покорством, с каким сносят власть Рима.*

Правда, добывать победы для доказательств величия не всегда легко. Гораздо проще и как-то надежнее демонстрировать свое первенство над они воистину неохватным морем материальных символов — разнообразием золотых вещей, монументальностью дворцов или храмов, невиданными средствами передвижения, потрясающими одежаниями... — ведь они этим не обладают.

Равнозначны ли культуры *Ното*?

Начнем с оценок равнозначности культур, а не рас. Совершенно ясно, что абсолютно сходных во всех деталях культур *Ното* в окружающем нас мире, конечно, не сыскать. Человеческие коллективы и модели их жизнеобеспечения в той или иной мере всегда отличались и доныне отличаются друг от друга. В начале статьи мы коснулись этой темы, обсуждая удивительную для Нового времени вспышку рабовладения. Но при сопоставлениях подобного рода нужно всегда иметь в виду очень важный аспект: организм каждой культуры не стабилен, в его функционировании, как и в развитии любого живого организма, непременно выделяется *начало*, или же *старт*, за которым следует *подъем*, он же *апогей*, и наконец *упадок*. Упадок выражается либо в длительной стагнации, либо в полном распаде и, по сути, в полном исчезновении всех основных признаков конкретной культуры или блока культур.

Наверное, одним из наиболее показательных и ярких примеров в данном плане служат палеолитические австралийские культуры. В своем безусловном апогее они, сумев преодолеть широкие океанские проливы, заселили изолированный от Евразии Австралийский материк. Однако их апогей вскоре сменился малоподвижной и многотысячелетней стагнацией, которую и застали европейские мореходы.

Полярным контрастом австралийским могут, безусловно, служить североамериканские культуры эпохи Нового времени. Их создавали по преимуществу группы европейских мигрантов, которые не видели для себя перспектив благополучного существования в рамках исходных социумов. Нам нетрудно различать в их истории старт и следующий за ним стремительный апогей, в котором эти культуры в настоящее время и пребывают.

И обязательно еще об одном. Сравнивая культуры и делая выводы об их очевидной неравноценности, равно как и сравнительной ущербности, реально также задаться вопросом типа: что может ожидать конкретные культуры, сегодня кажущиеся успешными (на фоне иных, не вполне благополучных социумов), через энное число веков? Картина мировой истории достаточно капризна, хотя в ее развитии многие исследователи и стараются уловить признаки некой строгой закономерности. Однако прогнозы и догадки в этой сфере представляются всегда крайне зыбкими...

Homo creator и Великие переселения народов

Начнем с феномена африканской колыбели человечества, где впервые на Земле появилось двуногое прямоходящее существо. Кажется вполне естественными вопросы: «Почему колыбель находилась именно там? И почему только там?». Да и ответы на них выглядят вполне удовлетворительными, и можно просто повторить, что, по всей вероятности, именно геоэкологический фактор Южной и Восточной (субсахарной) Африки в наибольшей степени соответствовал кардинальным эволюционным преобразованиям распространенных там гоминид в *Homo habilis*, *erectus* или же *ergaster*. После этого из колыбели на север начинают устремляться в неведомые дали Евразии кланы пионеров-первопроходцев, с которыми в ближайший миллион лет будут связывать четыре волны Великих межматериковых переселений народов.

Но немедленно возникает следующий вопрос: «Какие причины побуждали первопроходцев покидать родные, привычные просторы и устремляться в совершенно незнакомые им пространства?». Здесь определенный ответ найти уже гораздо труднее. Для получения пусть даже не вполне определенного ответа можно пытаться объяснять это сквозь призму ситуаций современного толка, таких как перенаселенность близкими видами *Ното* исходных ареалов. Или, скажем, враждебными отношениями с родственными кланами. По всей вероятности, возможно истолковывать ситуацию и в таком ключе, но отыскать убедительные тому доказательства крайне трудно. Намного легче просто сказать: переселялись. И этим ограничиться, чем мы, в сущности, почти всегда наши изыскания и завершаем.

Еще один крайне важный вопрос связан с оценкой тех групп/кланов, что рискнули отправиться в далекое и неведомое. Справедливо полагают, что зачинателями и носителями любых инноваций всегда становятся креативные культуры, кланы или же отдельные персоны. Поклонник евгеники, выдающийся российский генетик Н.К.Кольцов

еще в 1922 г. предложил понятие *Homo creator* (человек-творец) — креативный, творческий [9, 10]. Кажется безусловным, что по крайней мере Великие межматериковые переселения могли свершаться и свершали культуры креативного ранга, ведь подобного рода передвижения заключали в себе весьма немалый риск. Вполне возможно, что мы уловили следы лишь тех удачливых пионерных кланов, которые сумели не только преодолеть эти пространства, но и освоить их. Возвращаясь к четырем переселениям из южноафриканской колыбели в Евразию, скажем, что лишь одно из них — неандертальцев — многие ученые склонны считать тупиковым*. Все прочие в той или иной мере оказались успешными и стали в Евразии основными источниками развития культур *Homo*.

Миграции в голоцене и «принцип домино»

Следующий блок непростых вопросов в большей степени связан с эпохой голоцена. Если источником первых четырех Великих межконтинентальных переселений была африканская колыбель, то в самом конце ледникового плейстоцена «инициативу перехватывают» культуры восточной половины Евразии. С ними было связано уже пятое Великое переселение, в котором различаются две основные разновременные ветви. Ранняя миграционная ветвь (60–40 тыс. лет назад) была нацелена на юго-восток, когда через обмелевший Торресов пролив мигранты проникли в Австралию. Ветвь поздняя, однако существенно более значимая для мировой истории, устремилась на суровый северо-восток Евразии примерно 20–15 тыс. лет назад. От Чукотки по суше Берингии переселенцы прошли на Аляску и уже оттуда сравнительно быстро расселились по всему Американскому матерiku — вплоть до его отдаленных южных окраин.

Голоцен ознаменовал резкую смену температурного режима. Это особенно ярко отразилось в Северном полушарии, где наступившее потепление вызвало активное таяние ледников. В результате уровень Мирового океана поднялся на 100–150 м, Америка и Австралия оказались изолированными от Евразии: Берингия ушла под воду, а Торресов пролив стал труднопреодолимой водной преградой. И если причина изоляции Америки и Австралии представляется достаточно понятной, то континентальную изоляцию субсахарной Африки от Африки Северной (Присредиземноморской) объяснить уже много сложнее.

В начале голоцена в Африке вполне определенно наблюдалась явно пониженная активность ми-

граций, причем не только с юга на север, к Средиземноморью, но и с севера на юг, т.е. обратно, в направлении к *колыбели*. И здесь, конечно, вопрос: «Культуры субсахарной Африки к тому времени уже прошли свою точку апогея и динамика их развития начала скатываться к стагнации? Или же здесь вероятны иные объяснения?». Во всяком случае, это представляется одной из наиболее любопытных и сложных проблем мировой истории, к которой нужно будет обращаться не единожды.

Подчеркнем также, что в случае массовых переселений культур/народов в еще более отчетливой форме проявляет себя «принцип домино», уже затронутый в предыдущих статьях при обсуждении модели присваивающей экономики жизнеобеспечения**. Когда носители некой культуры, пусть даже по неясной для нас причине, покидают родную землю, то за этим немедленно следуют вынужденные пространственные сдвиги иных культур, если, конечно, мощь культуры-инициатора достаточна, чтобы нанести ущерб и сдвинуть ближних и дальних соседей, а не погибнуть самой. Вся земля-кормилица уже давным-давно была поделена, а кровные/исконные ареалы всегда ценились культурами в наивысшей степени. Тогда сразу же и очень резко возрастал уровень межклановой агрессии. В подобных случаях можно было наблюдать на широких пространствах более или менее выраженный крах или распад устойчивой картины прежнего межкультурного равновесия. Именно поэтому массовые миграции подчинялись некоему — хотя и не вполне определенному — ритму, когда фазы спокойного существования/развития сменялись периодами сдвигов с последующими критическими результатами. Великие переселения народов, как правило, довольно резко преобразовали картину мира.

Вечный вопрос о расах полноценных и неполноценных

Вопрос этот действительно вечный, и от него вряд ли удастся «откреститься» полностью, тем более что на страницах блока статей о культурах *Ното* непрестанно возникало множество сменявших друг друга и связанных с этой проблемой кардинальных сюжетов в их миллионлетней протяженности. Возникает целая серия вопросов, например такой: «Может, правы были древние мудрецы — Аристотель, да и другие, более близкие к нам по времени, — которые не сомневались в неравнозначности рас и народов, утверждая тем самым законность рабства и его справедливость?».

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

** Подробнее см.: Черных Е.Н. Культуры *Ното*: узловые сюжеты миллионлетней истории. Голоцен: фейерверк культур и их парадоксы // Природа. 2018. №5. С.43–56.

Вспышка интереса к этой теме была, безусловно, спровоцирована открытиями европейских мореходов. В то время, наряду с невообразимой чередой неведомых ранее земель, перед европейцами предстали также невиданные (как их аттестовали *второоткрыватели* мира) «человекоподобные» существа. По крайней мере этих «внезапно появившихся» на Земле людей считать полноценными не следовало, и с такой версией соглашалось большинство. Все это стремительно привело к взрыву расизма, работорговли и рабовладения на просторах уже всей планеты, и в первую голову это было сопряжено с гигантским охватом европейской колонизации Земли.

Раса, в сущности, — коронная биолого-антропологическая категория. Попытки более или менее точного определения рас — что же это такое? — растянулись в длительной протяженности времени, однако полного согласия не удалось достичь и поныне. Так, при зарождении иудаизма и выработке библейских канонов авраамических религий, т.е. еще в 1-м тысячелетии до н.э., отсчет человеческих рас начинали от их родоначальников — трех мифических сыновей Ноя — Сима, Хама и Иафета. Полагали, что Сим породил семитов, хотя, конечно же, за этим стояла отнюдь не антропологическая, а лингвогруппа. Хам оказался прародителем черных народов Африки, Иафету были обязаны своим происхождением белые люди Евразии.

Однако, по всей вероятности, в связи с наступившим тысячелетием Востока и массовым появлением монголоидов на Западе Евразии библейская триада претерпела изменения: в ней появился желтокожий человек, который отсутствовал в библейском варианте канона. Хамиты — наследники библейского Хама — отныне полностью ассоциировались с чернокожими африканцами. Яфетические (это взамен хуже звучащего «иафетические») белокожие народы справедливо включили в свою семью и семитов. Так возникла реальная антропологическая триада рас, по существу не утратившая своего значения и по сей день. Европейская колонизация в эпоху Нового времени «узаконила» расовую иерархию: высшую позицию отвели *белокожим*, срединное или промежуточное место оставили для *желтокожих* и, наконец, совсем низкое, «придонное» — для *чернокожих*.

Расы на нашей планете — сколько их?

Ученые-антропологи остановиться на рубеже расовой триады не могли, да и не собирались. Вот, например, размышления на эту тему В.П.Алексеева (1929–1991), академика и выдающегося российского антрополога: *Вопрос о возможности группировки трех больших рас — монголоидов, негроидов и европеоидов — в более общие и крупные кате-*

гории является одним из традиционных вопросов расоведения и восходит еще к работам Т.Гексли, предложившего в 1870 г. делить все современное человечество на две большие группы — светлокожую (монголоиды и европеоиды) и темнокожую (негроиды и австралоиды). Во второй четверти нашего столетия англичанин А.Кизе и итальянец Р.Биа-сутти привели дополнительные... аргументы в пользу такого деления. Одновременно с ними в 1941 г. Я.Я.Рогинский предложил иную группировку — объединение европеоидов с негроидами и отдельное выделение монголоидов, что позже было поддержано Г.Ф.Дебецом. Все эти схемы оставались достаточно умозрительными и лишенными конкретного содержания до тех пор, пока Я.Я.Рогинский позже не привел достаточно убедительных данных в пользу разной возрастной динамики расовых признаков трех больших рас: у европеоидов и негроидов выраженность расовых признаков усиливается с возрастом, тогда как у монголоидов она ослабляется.

Однако нынешняя ситуация с определениями земных рас развивается в направлении прямо противоположном: *Увеличение ойкумены в ходе расселения человечества, увеличение плотности населения в ходе хозяйственного развития, появление все новых и новых генетических барьеров вследствие этнокультурной дифференциации и противоположное ему по результатам смешение — вот те причины, которые вызывали постоянное появление*



Российский антрополог академик В.П.Алексеев.

новых очагов расообразования на протяжении эволюции *Homo sapiens*. В разных системах классификации насчитывается приблизительно от 30 до 50 самостоятельных расовых группировок, объединяемых часто в иерархически соподчиняющиеся общности более высоких уровней. В пределах отдельных территорий... выделены многочисленные локальные комплексы, которых в общей сложности можно считать больше ста.

И завершает свои размышления Алексеев весьма примечательно: *...мы находимся лишь у порога изучения расовой изменчивости человечества и получили до сих пор информацию лишь об основных расовых группировках* [11].

Конечно, работать с легкоразличимой тройкой человеческих рас не только антропологам, но, скажем, также причастным к этим проблемам археологам и этнологам было много удобней и привычней, нежели с малопонятной и расплывчатой массой мелких и трудно между собой различимых антропологических группировок, да еще в таком широком размахе — общим числом от 30 до 100... Но что прикажете делать?

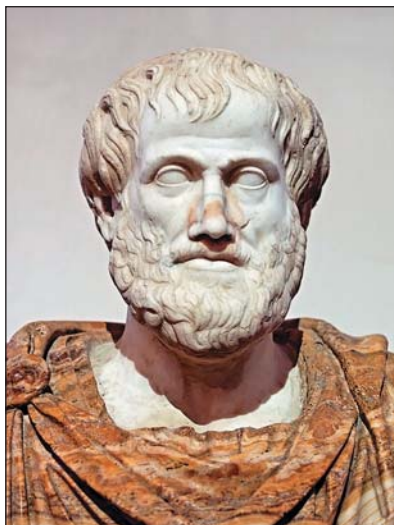
Расы и культуры *Ното*

Культура *Ното* представляет собой биосоциальный феномен. Биологическая компонента служит ей базой, а социальная проявляет себя в материальной и духовной сферах, служа как бы надстройкой биологического базиса, если воспользоваться понятиями ныне изрядно позабытого диалектического материализма. Социальный облик культуры обычно предстает ее своеобразной визитной карточкой, по которой сторонние наблюдатели судят об успехах и о статусе на фоне прочих — ближних, соседних или же отдаленных формирований. Эта визитка позволяет определять — впрочем, весьма произвольно — также полноценность или же неполноценность расы/культуры. Когда из всей массы антропологических группировок по таким признакам определяют некую культуру как неполноценную, то все это прежде всего указывает на изъяны и, скорее всего, вполне вероятную и глубокую патологию ее биобазы. Разумеется, подобные обидно изрекаемые и чаще всего безапелляционные оценки могли уязвлять носителей культуры существенно сильнее, нежели критика, скажем, их одеяний или же замечания по поводу не слишком привлекательной и непривычной внешности.

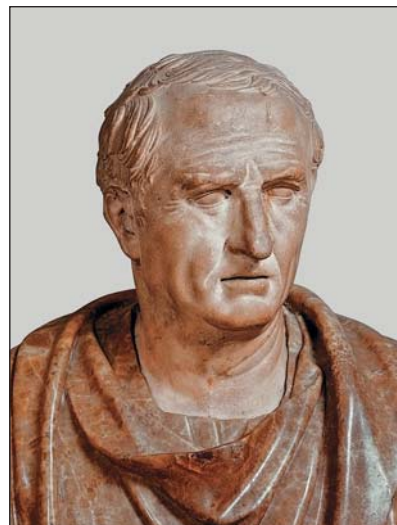
Судя по всему, чаще именно так и звучали при встречах с африканскими, южноамериканскими или же австралийскими аборигенами генеральные оценки европейских открывателей, если, конечно, не вспоминать их реальные выражения. Правда, остается не вполне известным, какие чувства и слова вырывались в ответ у реальных первооткрывателей, т.е. аборигенов, коренных обитателей этих гигантских анклавов. Но у европейских колонизаторов чувства «нелюдей» (может быть, за редким исключением) особого интереса не вызывали.

Все эти впечатления, оценки и, наверное, соответствующие выражения своим корнями уходят в глубокую древность. Заявленную претензию на вечность данной темы постараемся подкрепить ссылкой на размышления Аристотеля (384–322 гг. до н.э.). Почти 2.5 тыс. лет назад великий мыслитель Древней Греции, учитель Александра Македонского, в полной уверенности считал, что *...варвар и раб по природе своей понятия тождественные... ..Полезно и справедливо одному быть в рабстве, другому — господствовать, и следует, чтобы один подчинялся, а другой властвовал и осуществлял вложенную в него природой власть, так чтобы быть господином*. Поэтому никаких сомнений: греки обязаны *властвовать над варварами* [12]. Так звучало природное обоснование рабства у древних греков.

Впрочем, во всем этом был заложен очевидный архетип понимания и обоснования устройства тогдашнего мира. Он повторялся у относительно ближних наследников Аристотеля, например в Древнем Риме у знаменитого общественного деятеля Марка Туллия Цицерона (106–43 гг. до н.э.): *Рабство справедливо потому, что таким людям рабское состояние полезно и что это делается им на пользу... ..Разве мы не видим, что всем лучшим людям владычество даровано самой природой к вящей пользе слабых?* [13, с.65].



Аристотель.

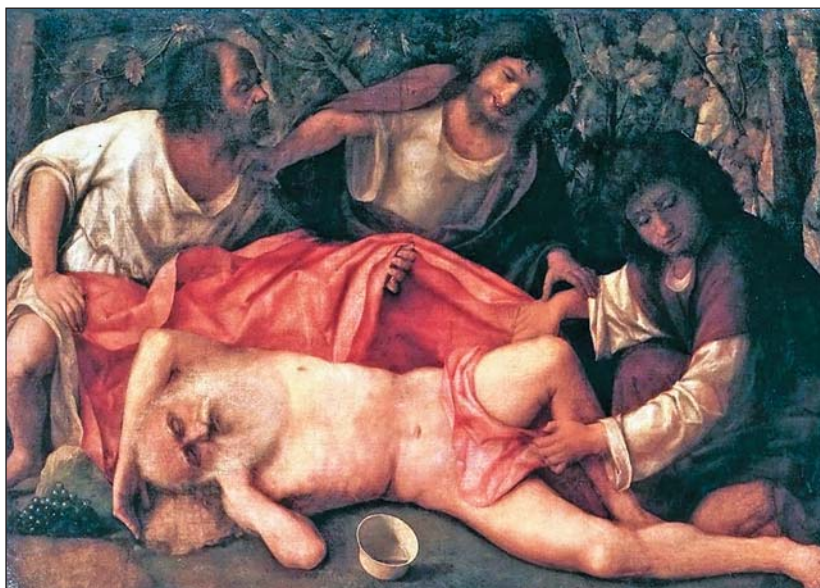


Цицерон.

Конечно, можно возразить, что на фоне миллионлетней истории частные взгляды и Аристотеля, и Цицерона отражать вечность никак не могут. Однако истоки этого архетипа отвечают в реалиях, безусловно, даже всему животному безграничному миру млекопитающих, где данный фактор кажется безусловно тривиальным. *Ното* просто наследуют этот архетип, и последний проявляется фактически на всей планете.

В определенном смысле весьма любопытной на этой обширной картине кажется та воистину непреклонная битва в защиту рабовладения, которую отстаивали владельцы латифундий в южных штатах США вплоть до знаменитой Гражданской войны 1861–1865 гг. Апологеты рабства свои позиции обосновывали текстами из Библии. Например, в 1820 г. в газете «Richmond Enquirer» в дебатах о государственности Миссури в пространной статье автор подробно рассказывал, как следует читать и понимать Библию. Аргументы приверженцев рабовладения сводились вкратце к следующему: *Не может быть ни малейших сомнений, что Всевышний Законодатель и Судия людей — Бог — бесконечно справедлив и мудр во всех своих решениях. Что Священные Писания — суть Ветхий и Новый Заветы — это и есть выражения Слова Божьего. Что начертанное там Слово Божье гласит о законности любого владения людьми — получения ли раба по наследству или же его купли. А посему запечатленное Слово Божье есть уже Истина сама по себе, отчего должно верить в абсолютную правомерность рабовладения* [14].

Можно было, пожалуй, добавить к этому, что вообще первое упоминание рабов и рабства было связано в Ветхом Завете уже с тремя сынами Ноя — едва ли не первыми людьми библейского мира. Прежде всего, это затронуло Хама, узревшего своего отца обнаженным и позвавшего братьев полюбоваться тем же. *Сим же и Иафет взяли одежду и, положив ее на плечи свои, пошли задом и покрыли наготу отца своего; лица их были обращены*



Опьянение Ноя. Художник Джованни Беллини, ок. 1515 г.

назад, и они не видали наготы отца своего. Ной проспался от вина своего и узнал, что сделал над ним меньший сын его, и сказал: проклят [Хам]; раб рабов будет он у братьев своих (Бытие 9, 23–26).

Не сомневались в правомерности рабовладения, видимо, и российские владельцы крепостных, включая, кстати, и православные монастырские службы, где подневольные должны были фактически постоянно исполнять тяжкую барщину.

Архетип этот имеет также и обратную направленность: происхождение от знатных предков наделяет потомков безусловным правом наследства как



Магазинчик на юге США. На втором этаже продается китайская стеклянная посуда, на первом — чернокожие рабы. Вторая половина XIX в.

материальных ценностей, так и социального статуса. Бесчисленные тяжбы наследников высокого положения в различных социальных формированиях, вплоть до королевского, всем хорошо известны. Правом этим высоких потомков одаряет сама высо-

кая порода/природа, и это кажется неоспоримым. Но вместе с тем рабы могли производить лишь рабов, если только не случались какие-то абсолютно невообразимые перипетии, вроде восстания рабов и захвата ими властных штурвалов. ■

**Окончание
в следующем номере**

Литература / References

1. Nücke P. Die sexuellen Perversitäten in der Irrenanstalt. Wiener klinische Rundschau. 1899; 27–30.
2. Freud S. Zur Einführung des Narzißmus. Jahrbuch der Psychoanalyse. Leipzig; Wien, 1914; 1–24.
3. Фрейд З. Я и Оно. М., 2015. [Freud S. The ego and the id. Moscow, 2015. (In Russ.).]
4. Фромм Э. Душа человека. Мыслители XX века. М., 1992. [Fromm E. The soul of man. Thinkers of the XX century. Moscow, 1992. (In Russ.).]
5. Фромм Э. Бегство от свободы. М., 2018. [Fromm E. Escape from freedom. Moscow, 2018. (In Russ.).]
6. Фромм Э. Анатомия человеческой деструктивности. М., 2007. [Fromm E. Anatomy of human destructiveness. Moscow, 2007. (In Russ.).]
7. Фромм Э. Величие и ограниченность теории Фрейда. М., 2000. [Fromm E. The greatness and limitation of Freud's thought. Moscow, 2000. (In Russ.).]
8. Fromm E. Sigmund Freuds Psychoanalyse — Größe und Grenzen. 1979.
9. Кольцов Н.К. Улучшение человеческой породы. Русский евгенический журнал. 1922; 1(1): 3–27. [Koltsov N.K. Improvement of the human breed. Russian Eugenic Journal. 1922; 1(1): 3–27. (In Russ.).]
10. Бабков В.В. Заря генетики человека. Русское евгеническое движение и начало генетики человека. М., 2008. [Babkov V.V. Dawn of human genetics. The Russian eugenic movement and the beginning of human genetics. Moscow, 2008. (In Russ.).]
11. Алексеев В.П. Становление человечества. М., 1994. [Alekseev V.P. The formation of mankind. Moscow, 1994. (In Russ.).]
12. Аристотель. Политика. Пер. С.А.Жебелева. Сочинения. М., 1983; 4: 53–294. [Aristotle. Politics. Transl. S.A.Zhebelev. Writings. Moscow, 1983; 4: 53–294. (In Russ.).]
13. Цицерон Диалоги. О государстве; о законах. И.Н.Веселовский, В.О.Горенштейн, С.Л.Утченко (сост.). М., 1966. [Cicero Dialogues. About the state; about the laws. I.N.Veselovsky, V.O.Gorenstein, S.L.Utchenko (comp.). Moscow, 1966. (In Russ.).]
14. Morrison L.R. The religious defense of American slavery before 1830. Journal of Religious Thought. 1980; 37: 16–29.

Homo Cultures in the Estimates of the Universe and the Archetypes of Mentality

E.N.Chernykh

Institute of Archaeology, RAS (Moscow, Russia)

This paper continues the discussion regarding the interpretation, possibilities of understanding and deciphering a number of the greatest aspects of the psychological facet of the existence of all *Homo* cultures. The main focus is on the plots associated with the following psychological phenomena: *we and they*, *narcissism* (self-admiration) and, finally, *the syndrome of homogeneous mentation*. Factually, all three of these phenomena can be attributed to the category of eternal and all-embracing. Their real effective impact on the character and mode of some cultures seems to be most pronounced. They are closely interconnected, intertwined, and in reality they cannot manifest themselves singularly. All of them compose the archetypes of mentality, which the roots originate from the depths of *Homo erectus* era.

Keywords: psychological phenomena, narcissism, syndrome of homogeneous mentation, *Homo erectus* era.

Возвращение имени: зоолог Борис Сукачёв

Н.В.Гончаренко

Иркутский государственный университет (Иркутск, Россия)

e-mail: canabushka@mail.ru

Борис Владимирович Сукачёв (1874–1934) — русский зоолог, имя которого оказалось незаслуженно забытым. Сведения о его судьбе удалось почерпнуть из недавно обнаруженного личного архива, который, очевидно, Сукачёв оставил в 1914 г. на кафедре беспозвоночных Юрьевского (ныне — Тартуского) университета (Эстония). С 1987 г. большая часть архива хранится в Музее истории университета, а некоторые документы и фотографии — в отделе рукописей университетской библиотеки.

Ключевые слова: Борис Сукачёв, зоолог, Иркутск, Зоотомический кабинет, Петербургский университет, Юрьевский университет, эмиграция.

Исторические потрясения, с особой силой обрушившиеся на Россию в XX в., привели, в частности, к тому, что имена многих талантливых людей, успевших внести существенный вклад в развитие отечественной науки и культуры дореволюционного периода, оказались незаслуженно забытыми. Среди них — зоолог Борис Владимирович Сукачёв. Основной документальной базой по истории его жизни и деятельности стал личный архив, хранящийся в Музее истории Тартуского университета (Эстония). Архивная коллекция включает документы, письма, телеграммы, фотографии и негативы; всего около 1 тыс. единиц хранения. Хронологические рамки архива довольно обширны, самый ранний документ датирован 1874 г., самые поздние — 1914 г. Архив, очевидно, был оставлен Борисом Сукачёвым на кафедре беспозвоночных Юрьевского университета в 1914 г. В 1987 г. большая часть архива была передана в Музей истории университета Тарту; часть документов и фотографий хранится в отделе рукописей университетской библиотеки.

Родился Борис 12 июля¹ 1874 г. в Киеве в семье Владимира Платоновича и Надежды Владимировны (ур. Долженкова-Любим) Сукачёвых. Известно, что отец впоследствии стал городским головой Иркутска (1886–1898), известным общественным деятелем Сибири, просветителем и меценатом, создателем Иркутской картинной галереи, а мать внесла значительный вклад в развитие благотворительности и народного образования в Иркутске.

Познакомились родители Бориса в Киеве, там семья Сукачёвых жила до начала 1880-х годов,

а затем переехала в Иркутск. Учился Борис в Иркутской классической мужской гимназии. В 15-летнем возрасте в связи с болезнью матери, которой необходимо было длительное лечение за границей, он был отправлен в Киев к родственникам и переведен на один учебный год (1889/1890) в Первую киевскую гимназию. Разлука с родителями, необходимость самостоятельно принимать решения и нести ответственность за свои поступки серьезным образом повлияли на формирование его характера, на развитие таких качеств, как обязательность, выдержка, самоконтроль.

Вернувшись в Иркутск, Борис окончил гимназию и в 1892 г. поступил в Санкт-Петербургский университет на естественное отделение физико-математического факультета. Родители одобряли и поощряли увлечение Бориса естествознанием. В одном из писем мать писала ему: «Я очень и очень рада, что ты заинтересовался естественными науками... Писал тебе папа что-нибудь о поездке на Косогол²?.. Как ты об этом думаешь? Думать надо скорее, потому что приготовления все должны быть сделаны зимою, так говорит Клеменц³, который, собственно, и подал эту мысль; он даже желал иметь тебя компаньоном в его путешествии по Монголии»⁴.

В период учебы в университете каникулярное время Борис проводил в Сибири, собирая зооло-

² Косогол — устаревшее название оз.Хубсугул (Монголия).

³ Дмитрий Александрович Клеменц (1848–1914) — российский этнограф, археолог, географ, революционер-народник. Редактор газеты «Восточное обозрение». Один из создателей этнографического отдела Русского музея Александра III.

⁴ Письмо Н.В.Сукачёвой Б.В.Сукачёву от 16 ноября 1893 г. Архивная коллекция музея Тартуского университета. Без шифра.

¹ Здесь и далее по тексту даты приводятся в соответствии со старым стилем.



Семья Сукачёвых: Владимир Платонович и Надежда Владимировна с детьми (Борис — крайний справа, стоит). Середина 1890-х. Архив Тартуского университета.

гические коллекции на берегах Байкала, и даже дважды (в 1893 и 1895 гг.) удостоился благодарности от Императорской Академии наук за переданные в дар Зоологическому музею академии коллекции байкальских рыб и животных. В 1895 г. Борис Сукачёв написал первую научную работу — статью «Несколько новых данных о губках оз. Байкала» [1], которая была опубликована в сборнике трудов Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей.

По окончании полного курса наук в 1896 г. Б.В.Сукачёв был оставлен при университете «для приготовления к профессорскому званию»¹. В прошении от 30 апреля 1898 г. на имя министра внутренних дел об освобождении Бориса Сукачёва от исполнения воинской повинности администрация университета указывала: «Предоставление Сукачёву возможности остаться при университете не отвлечет его от научных занятий и... принесет боль-

шую пользу Престолу и Отечеству, чем привлечение его на службу в войско»².

С 1897 по 1905 г. Борис Сукачёв исполнял должность хранителя Зоотомического кабинета Петербургского университета, работая под началом известного ученого Владимира Тимофеевича Шевякова. О Сукачёве в этот период его жизни упоминает в своих мемуарах российский и советский биолог Борис Райков: «Моим руководителем был Борис Владимирович Сукачев, очень дельный работник, с заграничной выучкой. Он внимательно относился к специалистам и делал с нами по своей инициативе довольно дальние зоологические экскурсии, даже с ночевкой» (цит. по [2]).

Шевяков высоко ценил Сукачёва как сотрудника. Известно, что тот постарался привести в порядок Зоотомический кабинет и составил полный карточный каталог его коллекции. В сентябре 1902 г. В.Т.Шевяков писал Борису: «Очень рад, что Вы привели в порядок наш кабинет, и благодарю Вас за хлопоты»³. И через месяц: «Что касается новых порядков в Кабинете, т.е. раздачи реактивов в определенные сроки и еженедельное

пополнение склянок, то я вполне одобряю эту мысль и благодарю за проведение ее. Я вообще за порядок во всем и всегда... Итак, чем больше заведете порядка, тем больше обрадуете меня и найдете во мне и поддержку, и сочувствие»⁴.

Этот период отмечен в жизни Бориса активной научной деятельностью: он опубликовал несколько статей (1897, 1900, 1901, 1903) [3–6]. В 1899 г. он совместно с А.К.Линко⁵ перевел с немецкого языка учебник по общей эмбриологии, написан-

² Национальный архив Тарту. ÜAM1033_004. Л.2.

³ Письмо В.Т.Шевякова Б.В.Сукачёву от 08.09.1902. Архивная коллекция музея Тартуского университета. Без шифра.

⁴ Письмо В.Т.Шевякова Б.В.Сукачёву от 08.10.1902. Архивная коллекция музея Тартуского университета. Без шифра.

⁵ Александр Кельсиевич Линко (1875–1912) — зоолог, выпускник Санкт-Петербургского университета. Работал в экспедиции для научно-промыслового исследования Мурман (1902–1908) и в Зоологическом музее Императорской Академии наук (1899–1912).

¹ Национальный архив Тарту. ÜAM1033_004. Л.1.

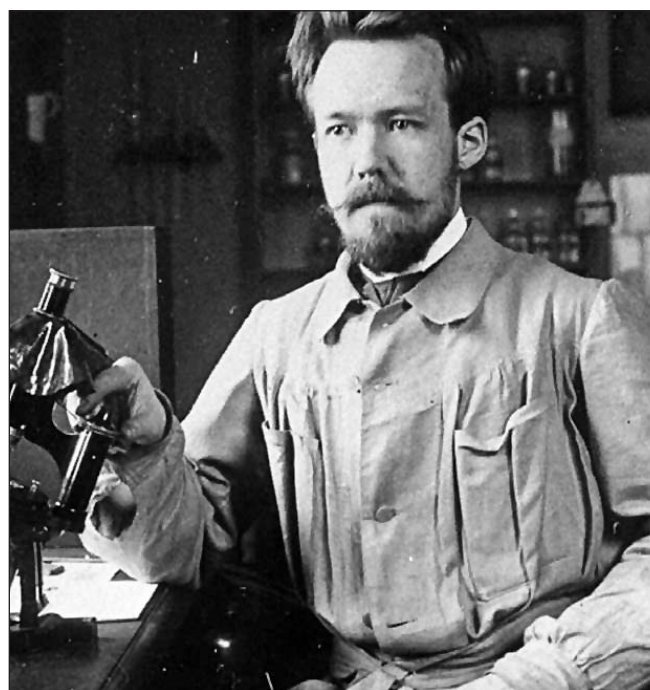


Борис Сукачёв (крайний слева, стоит) на Соловецкой биологической станции. Конец 1890-х. Архив Тартуского университета.

ный Р.С.Бергом¹ [7]. Книга была издана на деньги его отца, Владимира Платоновича Сукачёва, а весь сбор от продажи учебника поступал в пользу студенческой столовой Санкт-Петербургского университета.

Борис Владимирович неоднократно совершал поездки с научной целью за границу, прежде всего в Гейдельберг, где он учился у О.Бючли². В 1901 г. Сукачёв принимал участие в Международном съезде зоологов в Берлине; летом 1902 г. работал на биологической станции в Неаполе.

В то время в жизни Бориса произошло еще одно важное событие: он встретил и полюбил девушку, которая вскоре стала его женой. Это Мария Владимировна Высоцкая, внучка декабриста Александра Поджио. Мария, или Мэри, как ее называли в семье, родилась 1 июня 1874 г. во Флоренции. Ее родители — Варвара Александровна



Борис Сукачёв. Гейдельберг, 1902 г. Архив Гейдельбергского университета.

¹ Рудольф Софус Берг (1859–1924) — датский зоолог, профессор Копенгагенского университета, член Датской королевской академии наук и литературы (1898).

² Отто Бючли (Bütschli Otto, 1848–1920) — немецкий зоолог, профессор зоологии и палеонтологии в Университете Гейдельберга.

Поджио и Владимир Степанович Высоцкий, бывший поручик лейб-гвардии Гродненского гусарского полка¹, позже начальник таможни на пограничном пункте в Вержболове².

Борис и Мария познакомились во Флоренции, в пансионе на Viale Margherita, 42, который содержала мать Марии, Варвара Высоцкая. Между молодыми людьми зародилась нежная дружба, которая постепенно переросла в более сильное чувство. Мэри часто и помногу писала Борису на протяжении нескольких лет — сначала дружбы, а затем и супружества. В ее посланиях раскрывается личность этой незаурядной женщины — хрупкой и одновременно полной внутренней силы и глубоких чувств.

Мария профессионально занималась живописью. Она училась у Джузеппе Чиаранфи³ — известного итальянского мастера, преподававшего в Академии изящных искусств Флоренции. В письмах к Борису Мэри часто делилась мыслями об искусстве и переживаниями по поводу своего творчества: «Я провожу свои дни за рисованием и чтением. Временами на меня находит тоска, когда все выходит из рук вон плохо, но и она сменяется внезапным приливом сил — в такие моменты становится ясно, что подобного рода взлеты и падения помогают нам не опускать руки в отчаянии. К тому же живопись — истинная чародейка, манящая, пленяющая, способная открыть перед нами чарующие горизонты, равно как и заставить потерпеть внезапное поражение, — однако оттого мы ею очарованы ничуть не меньше»⁴.

Осенью 1897 г. молодые люди объявили родителям о своем желании вступить в брак. В это время Мария писала Борису: «Ты часто говоришь, да мне и самой так кажется, что у меня будто прибавилось сил и энергии, это потому, что я так счастлива, исполнена радости и надежды. Такое чувство, будто что-то внутри меня поет, но так тонко и едва различимо, где-то в самой глубине души, так, что никому никогда не услышать, кроме тебя,

должно быть. Как же хорошо быть вдвоем, делить все на двоих!»⁵.

Мать Бориса, на глазах которой развивались отношения молодых людей, очевидно, была готова к такому финалу. Она с радостью приняла их совместное решение и начала деятельную подготовку к свадьбе вместе с Варварой Высоцкой. Другое дело — отец. Для него, занятого множеством общественных дел, решение старшего сына вступить в брак оказалось неожиданным. Он был потрясен и растерян. Несмотря на волнение, Владимир Платонович Сукачев написал сыну длинное послание, в котором тщательно взвешивал все за и против. Его беспокоило слабое здоровье невесты, ее невозможность иметь детей, а также то, что Мария была несколько старше Бориса. Высказав свои опасения сыну, беспокоясь о его будущем счастье, он все же согласился принять его решение: «Итак, может быть, ты скоро сделаешься женихом, а в недалеком будущем и главою отдельной семьи! Мои поздравления, исполненные искренности, мои горячие пожелания словами выразить невозможно. Твое счастье — мое счастье — вот точное и полное выражение моих чувств. Будь же счастлив, дорогой мой, и своим благополучием освещай жизнь мамы и мою. Служи достойным примером твоим братьям и сестре! От нас же ты всегда можешь рассчитывать получить все, что только мы можем тебе дать, и прежде всего — наше полное согласие назвать твою Мэри нашей дочерью, наше благословение и добрые пожелания»⁶.

Борис и Мария обвенчались 26 мая 1898 г. в посольской русской церкви во Флоренции⁷. Несмотря на духовную и интеллектуальную близость супругов, этот брак продолжался недолго, всего семь лет. В 1905 г. они развелись.

После развода Борис решил покинуть Петербург — он написал прошение об увольнении с должности хранителя Зоотомического кабинета университета и переехал в г.Юрьев⁸ Лифляндской губернии. Там он стал магистрантом физико-математического факультета Юрьевского университета и одновременно работал лаборантом Зоотомического кабинета под руководством К.К.Сент-Илера⁹.

¹ Лейб-гвардии Гродненский гусарский полк — гвардейский полк Российской империи. Образован 19 февраля 1824 г., полковой праздник — 11 июля, в день святой блаженной княгини Ольги. Дислокация: Варшава.

² Вержболово — ныне г.Вирбалис (Литва). Во второй половине XX в. пограничная станция между Российской империей и Пруссией, здесь располагалась таможня и пограничные учреждения.

³ Джузеппе Чиаранфи (Giuseppe Ciaranfi, 1838–1902) — итальянский художник, ученик Энрико Полластрини (Enrico Pollastrini). С 1876 г. руководил кафедрой живописи в Академии Флоренции. Его учениками были художники Чезаре Чани, Альфредо Мюллер, Антон Митов и др.

⁴ Архивная коллекция музея Тартуского университета. Без шифра. Письмо М.В.Высоцкой Б.В.Сукачеву от 14 июня 1896 г. (пер. с фр.).

⁵ Архивная коллекция музея Тартуского университета. Без шифра. Письмо М.В.Высоцкой Б.В.Сукачеву от 31 октября 1897 г. (пер. с фр.).

⁶ Архивная коллекция музея Тартуского университета. Без шифра. Письмо В.П.Сукачева Б.В.Сукачеву от 18–21 ноября 1897 г.

⁷ Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга. Ф.14. Оп. 2. Д. 1123. Л. 51.

⁸ В 100–1224 гг. — Юрьев; в 1224–1893 гг. — Дорпат, Дерпт; в 1893–1918 гг. — Юрьев; ныне — г.Тарту (Эстония).

⁹ Константин Карлович Сент-Илер (1866–1941) — российский, советский ученый-зоолог, гидробиолог, профессор.

Начиная с 1908 г., Б.В.Сукачёв также читал лекции слушателям Юрьевских частных университетских курсов естественных и медицинских наук.

Летом 1908 г. Сукачёв взял отпуск, чтобы поехать в Гейдельберг, где под руководством профессора Бюкли он изучал анатомию пиявок *Branchellion torpedinis*. В Гейдельберге он оставался до осени 1909 г. с целью написания магистерской диссертации, но защита тогда так и не состоялась. Возможно, это было связано с тем, что в то время Борис вступил во второй брак.

Его женой стала Ольга Николаевна Кончевская, мать которой, Надежда Владимировна Кончевская¹, жила в Париже, содержала пансион для русских детей в местечке Бур-ля-Рен (Bourg-la-Reine), занималась переводами, а с конца 1880-х годов работала секретарем в редакции «Всемирной географии», которую возглавлял Элизе Реклю. Впоследствии за большую работу по изданию «Всемирной географии» Н.В.Кончевская была избрана членом Российского географического общества. О самой Ольге известно только, что она училась оперному пению.

Несмотря на то что Сукачёвы и Кончевские были знакомы давно, близость Бориса и Ольги, их желание вступить в брак встретили неприятие как с одной, так и с другой стороны. «Почему твои родители примирятся с тобою, если я за тебя выйду замуж, раз они порвали с тобою именно из-за меня, я не понимаю»², — писала Ольга Борису в январе 1909 г. Вопреки желанию родителей, прежде всего отца, осенью 1909 г. Борис женился на Ольге Кончевской. Это серьезно повлияло на его отношения с семьей. Близкие не смогли принять Ольгу так же сердечно, как Мэри. Отец отказал Борису в денежном содержании, которое выплачивал ему прежде.

В 1913 г. родители Бориса и мать Ольги предприняли попытку наладить отношения, но она не принесла положительного результата. «С Сукачевыми ясно, что ничего ожидаемого не было,



Мария Сукачёва. Флоренция. 1898 г. Архив Тартуского университета.

и встреча была самая банальная, и лед не растаял. Да и лед ли это? Быть может, это просто такая разница мировоззрений, культуры, рас? Ведь ты кончающаяся раса, *une raffinée de la décadence de la noblesse*³, а они — начинающаяся — крепкая купеческая кровь, которая только что еще приходит к культуре, а ведь это сразу не дается, и надо много поколений, чтобы выработать все эти тонкости культуры»⁴, — писала Надежда Кончевская дочери после этой встречи.

Борис и Ольга жили в Юрьеве, Борис продолжал заниматься наукой. В 1910 г. он совместно с Германом Майером перевел на немецкий язык книгу В.М.Шимкевича⁵ «Курс сравнительной анатомии позвоночных животных»⁶. В том же 1910 г. титулярный советник Сукачёв был произведен в чин коллежского асессора, а в 1913 г. получил медаль в честь 300-летия дома Романовых.

Давним увлечением Бориса была фотография. В предвоенные годы он стал также собирать гравюры и рисунки с изображением Дерпта — Юрьева, города, с которым почти на девять лет связала его судьба. В апреле 1914 г., незадолго до начала Первой мировой войны, в женской гимназии откры-

¹ Надежда Владимировна Кончевская, урожденная Скарятинна (1856–1930) — переводчик, секретарь редакции «Всемирной географии», член Российского географического общества. Падчерница географа, публициста, революционера-анархиста Л.И.Мечникова.

² Письмо О.Н.Кончевской-Сукачёвой Б.В.Сукачёву от 29 января 1909 г. Архивная коллекция музея Тартуского университета. Без шифра.

³ Изысканность упадка дворянства (пер. с фр.).

⁴ Письмо Н.В.Кончевской к О.Н.Кончевской-Сукачёвой от 5–6 февраля 1913 г. Архивная коллекция музея Тартуского университета. Без шифра.

⁵ Владимир Михайлович Шимкевич (1858–1923) — российский зоолог, академик Российской академии наук, ректор Петроградского государственного университета (1919–1922).

⁶ Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere von Dr. W.Schimkewitsch.

лась выставка старинных видов Дерпта из коллекции Сукачёва. «Рижское обозрение» (Rigaische Rundschau) от 2 апреля 1914 г., сообщая об открывшейся выставке, отмечало, что самый старый экспонат в коллекции Сукачёва датирован 1704 г.

1 августа 1914 г., когда началась Первая мировая война, Борис Сукачёв находился в отпуске. С объявлением мобилизации он сразу был откомандирован в Главное управление Красного Креста и, не возвращаясь в Юрьев, отправился к месту службы. Ему суждено было провести военные годы в качестве фронтового санитаря. После окончания войны Борис не вернулся в Россию, оставшись в эмиграции. Последние годы жизни он провел в Париже, работал в госпитале Сальпетриер¹.

¹ Письмо Б.В.Сукачёва. Париж. 16 июля 1932. Санкт-Петербургский филиал архива РАН. М.Н.Римский-Корсаков. Ф.902. Оп.2. Д.519.

Известно, что в конце 1920-х — начале 1930-х годов он совершил несколько рабочих поездок в страны Северной Африки с целью установления связей с крупными научными и медицинскими центрами Туниса и Алжира, среди которых он называет «два крупных Institut Pasteur, два значительных земледельческих (агрономических) института, один университет (в Алжире), океанографический институт в Salammbô»².

Со второй женой Борис Владимирович тоже развелся. Третьей его супругой стала француженка Анн-Мари-Элизабет Добиньи (Anne-Marie-Elisabeth Daubigny). Борис Сукачёв скончался 14 мая 1934 г. в Париже. Траурная церемония прошла в узком кругу близких людей в православном соборе Александра Невского на ул.Дарю. Похоронен Сукачёв на кладбище Баньё.■

² Архив Иркутского областного художественного музея. №3974.

Литература / References

1. Сукачёв Б.В. Несколько новых данных о губках озера Байкала. Труды Императорского С.-Петербургского общества естествоиспытателей. СПб., 1895; 25(2): 1–11. [*Sukatschhoff B.V. Some new data on the sponges of Lake Baikal. Proceedings of the Imperial St. Petersburg Society of Naturalists. St. Petersburg, 1895; 25(2): 1–11. (In Russ.).*]
2. Зоотомический кабинет (кафедра зоологии беспозвоночных) Санкт-Петербургского университета. К 140-летию основания: Сб. документов и воспоминаний. Ред. С.И.Фокин. М., 2011; 215–216. [*Zootomical Cabinet (Department of Invertebrate Zoology), St. Petersburg University. For the 140th anniversary of its foundation. Fokin S.I. (ed.). Moscow, 2011; 215–216. (In Russ.).*]
3. Сукачёв Б.В. Материалы к познанию нервной системы пиявки *Nephelis vulgaris*. СПб., 1897. [*Sukatschhoff B.V. Materials to the knowledge of the nervous system leeches Nephelis vulgaris. St. Petersburg, 1897. (In Russ.).*]
4. *Sukatschhoff B. Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Hirudineen. I. Zur Kenntnis der Urnieren von Nephelis vulgaris Moqu. Tand. und Aulastomum gulo Moqu. Tand. Z. Wiss. Zool. 1900; 67: 618–639.*
5. *Sukatschhoff B. Nochmals über das chemische Verhalten der Cocons von Hirudo. Zool. Anz. 1901; 24(654): 604–608.*
6. *Sukatschhoff B. Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Hirudineen. II. Über die Furchung und Bildung der embryonalen Anlagen bei Nephelis vulgaris Moqu. Tand. (Herpobdella atomaria). Z. Wiss. Zool. 1903; 73: 321–367.*
7. Берг Р. Курс общей эмбриологии. Пер. Б.Сукачёв, А.Линко. Ред. В.М.Шимкевич. СПб., 1900. [*Berg R.S. The course of general embryology. Sukatschhoff B., Linko A. (trans.). Shimkevich V.M. (ed.). St. Petersburg, 1900. (In Russ.).*]

Rescuing Name from Oblivion: Zoologist Boris Sukachev

N.V.Goncharenko
Irkutsk State University (Irkutsk, Russia)

Boris Vladimirovich Sukachev (1874–1934) was a Russian zoologist, whose name was remained unheralded for years. More information about his life was found in his correspondence archives from the Museum of History of the Tartu University (Estonia).

Keywords: Boris Sukachev, zoologist, Irkutsk, zootomic study, St. Petersburg University, Yuriev University, emigration.

Новости

Микология. Палеонтология

Грибы стали старше?

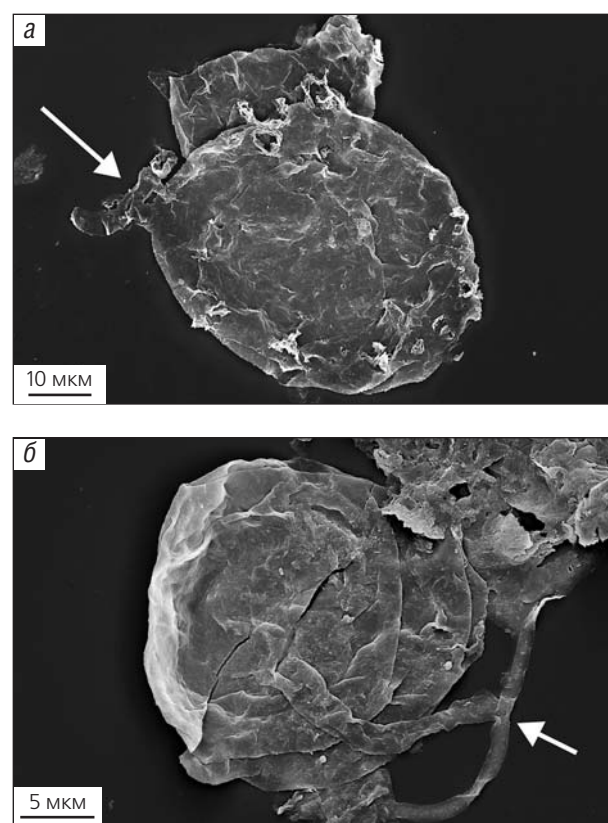
Грибы — одна из многочисленных групп организмов на нашей планете. Сейчас известно около 100 тыс. видов грибов и грибоподобных организмов, а по некоторым оценкам, число обитающих на Земле видов грибов может достигать 5 млн. Однако это царство все еще недостаточно изучено, а палеонтология грибов вызывает споры. Прорывом в палеомикологии стало обнаружение окаменевших остатков грибов в болотных отложениях в окрестностях дер.Райни (райниевые черты; от англ. chert — кремниевый известняк) в Шотландии. Их возраст датируется ранним девоном (410 млн лет назад). Впрочем, это случилось в 20-х годах прошлого века. С тех пор ученые с переменным успехом пытались обнаружить ископаемые остатки грибов. Но в окаменелостях обычно находят вегетативные структуры грибов, а не половые, позволяющие определить их принадлежность к отделу. Также есть сложности и с идентификацией грибов — вероятность принять за них остатки водорослей, простейших и даже деревьев весьма высока.

В текущем столетии было уже несколько сообщений об открытии новых самых древних представителей царства. Например, в 2008 г. российские исследователи опубликовали ряд работ об обнаружении грибов или грибоподобных структур в отложениях лахандинской биоты (Восточная Якутия), абсолютный возраст которой составляет 1000–1030 млн лет¹, а также в мироедихинской свите (Северо-Западная Сибирь) возрастом от 850 до 950 млн лет². В 2017 г. ученые под руководством С.Бенгтсона (S.Bengtson) и Б.Расмуссена (B.Rasmussen) в керне из протерозойских пород формации Унхелюк (Ongeluk; Южная Африка) возрастом в 2.2–2.42 млрд лет обнаружили тонкие ветвящиеся нитевидные структуры, которые предположительно были отнесены к грибам³. Однако од-

нозначно сказать, что обнаруженные остатки принадлежат грибам, пока нельзя. До недавнего времени самыми древними находками считали образцы, найденные в горных породах Шотландии (уже упомянутых) и американского Висконсина (450 млн лет, ордовик).

Недавнее исследование, опубликованное в журнале Nature, вновь пытается отодвинуть границы возникновения грибов более чем на 500 млн лет⁴. Группа ученых из Бельгии, Канады и Франции изучала образцы из сланцевых отложений формации Грасси-Бей в арктической части Канады. Данные отложения относятся к протерозойской эре, их возраст оценивается в 892–1.013 млн лет. Специфические остатки из этих образцов выделили в отдельный род и назвали *Ourasphaira giraldae*. После тща-

⁴ Loron C.C., Francois C., Rainbird R.H. et al. Early fungi from the Proterozoic era in Arctic Canada // Nature. 2019. Doi:10.1038/s41586-019-1217-0.



Ourasphaira giraldae, возможно, самый древний гриб на Земле (а), хорошо видно септированное сочленение при ветвлении гиф разного порядка (б). Стрелками показано ветвление гиф под прямым углом.

¹ Наговицин К.Е. Биоразнообразие грибов на границе мезо- и неопротерозоя (лахандинская биота, Восточная Сибирь) // Новости палеонтологии и стратиграфии. 2008. Т.49. Вып.10–11. С.147–151.

² Герман Т.Н., Подковыров В.Н. О природе докембрийских микрофоссилий Arctacellularia и Glomovertella // Палеонтологический журнал. 2008. №6. С.81–88.

³ Bengtson S., Rasmussen B., Ivarsson M. et al. Fungus-like mycelial fossils in 2.4-billion-year-old vesicular basalt // Nature Ecology & Evolution. 2017. Doi:10.1038/s41559-017-0141.

тельного анализа с помощью методов сканирующей электронной микроскопии, рамановской спектроскопии, термометрии и инфракрасной Фурье-микроспектроскопии *O.giraldae* отнесли к царству грибов. Вдобавок к полученным данным по морфологии и микроструктуре оболочек исследуемых остатков ученые обнаружили, что в структуре этих организмов содержится хитин, основной компонент клеточной стенки грибов, и его производное — хитозан.

Хотя работа была опубликована сравнительно недавно, некоторые ученые уже высказали свое недоверие к полученным результатам¹. Так, С.Бернард (S.Bernard) — французский геохимик из Института минералогии, физики материалов и космохимии (Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie) — считает, что большое количество органических молекул может привести к искажению результатов. А палеонтолог К.Страллу-Деръен (Ch.Strullu-Derrien) из лондонского Музея естествознания (Великобритания) утверждает, что, согласно молекулярным данным, предположительные грибы, жившие миллиард лет назад, могли быть только одноклеточными. Впрочем, она надеется, что дальнейшие исследования все-таки подтвердят, что обнаруженные остатки действительно принадлежат грибам. В таком случае это открытие существенно изменит наши представления. Оно докажет, что представители обширной группы Opisthokonta, включающей царства грибов и животных, могли возникнуть намного раньше, чем считалось прежде. Кроме того, эти окаменелости должны примирить палеонтологические и молекулярные оценки происхождения грибов.

© кандидат биологических наук **Т.А.Кузнецова**
Институт проблем экологии и эволюции
имени А.Н.Северцова РАН

Палеонтология

Тщательное пережевывание пищи как фактор эволюции млекопитающих

Считается, что предки сумчатых и плацентарных млекопитающих обладали двумя главными эволюционными новациями в строении челюстного аппарата, которые отличали их от древнейших млекопитающих и цинодонтов. Первая из них — монолитность нижней челюсти, при которой каждая ее половина состоит только из одной кости — зубной. У цинодонтов и древнейших млекопитающих в состав нижней челюсти входили еще несколько мелких косточек, у современных млеко-

питающих они стали структурами среднего уха². Вторая главная новация — трибосфенические коренные зубы. Они «подогнаны» друг под друга и обеспечивают измельчение пищи подобно пестику в ступке: крупный высокий внутренний бугорок каждого верхнего зуба механически давит на чашевидную заднюю долю противоположного нижнего зуба³. При этом окружающие данные структуры острые гребни одновременно оказывают режущее воздействие на пищевой объект. В итоге процесс усвоения пищи у млекопитающих с такими зубами начинается с ее эффективного механического измельчения — в противоположность свойственному рептилиям заглатыванию крупных кусков с последующей медленной химической обработкой.

Точное взаимодействие столь сложных верхних и нижних зубов с их высокими островершинными бугорками при жевании достигается благодаря некоторой подвижности половин нижней челюсти относительно друг друга при условии наличия несросшегося симфиза, спереди соединяющего пару зубных костей между собой. У млекопитающих, использующих поперечные жевательные движения (например, высших приматов, многих непарнокопытных и парнокопытных), сформировались низкобугорковые (бунодонтные) зубы, поэтому необходимость в такой точной подгонке исчезла; симфиз во взрослом состоянии у них полностью окостеневает, обеспечивая консолидацию нижней челюсти.

К интересным выводам привело комбинированное рентгеноскопическое и томографическое изучение жевательного цикла домового опоссума

² Лопатин А.В. Современные данные о происхождении и ранней радиации млекопитающих // Зоологический журнал. 2018. Т.97. №8. С.1013–1020.

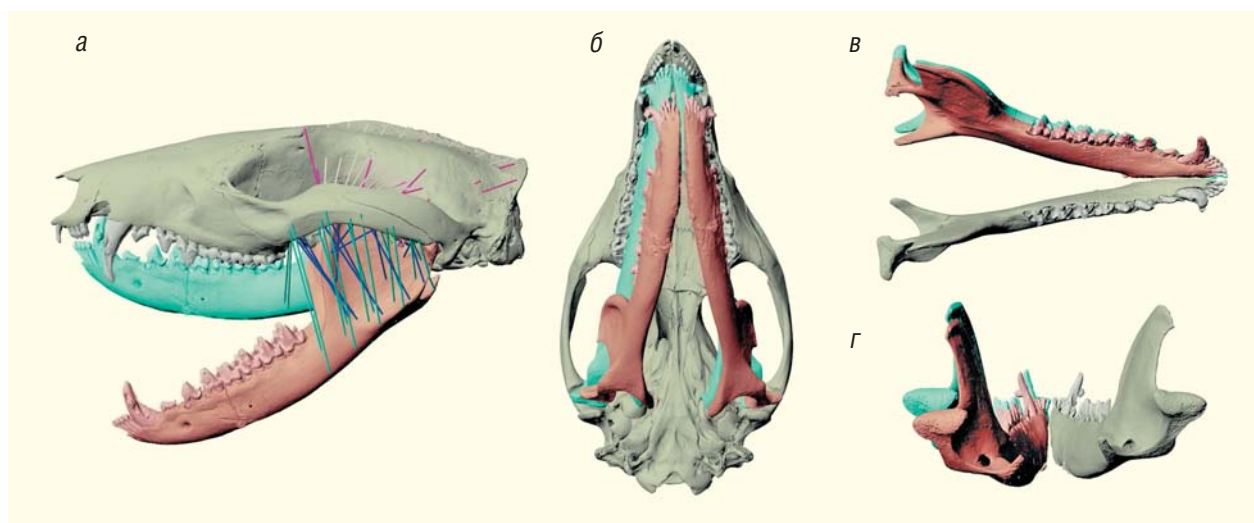
³ Lopatin A.V., Averianov A.O. An aegialodontid upper molar and the evolution of mammal dentition // Science. 2006. V.313. №5790. P.1092.



Домовый опоссум *Monodelphis domestica*.

www.brazilianfauna.com

¹ Ledford H. Billion-year-old fossils set back evolution of earliest fungi // Nature. 2019. Doi:10.1038/d41586-019-01629-1.



Кинематика нижней челюсти домового опоссума: а — максимальное раскрытие относительно неподвижного черепа; б — максимальное боковое смещение (рыскание) относительно неподвижного черепа; в, г — максимальный боковой наклон (крен) или поворот вдоль длинной оси левой половины нижней челюсти относительно неподвижной правой половины, вид сверху (в) и сзади (Bhullar et al., 2019, Fig.1).

(*Monodelphis domestica*), современного южноамериканского мелкого представителя сумчатых, имеющего типичный трибосфенический план строения коренных зубов¹. Этот цикл представляет собой простую симметричную последовательность эверсии и инверсии нижних зубных рядов (при открывании и закрывании пасти соответственно), которые обеспечиваются небольшими противоположно направленными боковыми наклонами половин нижней челюсти (т.е. зубных костей) вдоль длинной оси. Чтобы легче понять, что такое «эверсия» и «инверсия» в данном контексте, можно расположить перед собой свои раскрытые ладони тыльными сторонами наружу, отведя большие пальцы вверх, а остальные вытянув вперед и соединив между собой концами (т.е. попросту сложив руки «лодочкой», но оставив разомкнутыми ладонные поверхности и большие пальцы). Теперь каждая кисть имитирует половину нижней челюсти, а большие пальцы — зубные ряды. Опуская сложенные вместе кисти вниз (имитируя открывание пасти), немного разведите указательные пальцы в стороны, при этом большие пальцы заметно отклонятся наружу — это и будет «эверсия». Поднимая кисти (имитируя закрывание пасти),

сблизьте указательные пальцы; при этом большие пальцы заметно приблизятся друг к другу, а противоположные («нижние») стороны кистей разойдутся — это «инверсия». В технических терминах можно также упрощенно описать эверсию как крен каждой половины нижней челюсти наружу, а инверсию — как крен внутрь пасти. В состоянии покоя половины нижней челюсти слегка разведены в зубной части, и каждый нижний зубной ряд чуть отклоняется наружу.

Возможность независимого поворота половин нижней челюсти у млекопитающих уже давно была экспериментально показана с помощью методов рентгенокинематографии и электромиографии², но авторы упомянутого выше исследования

² Oron U., Crompton A.W. A cineradiographic and electromyographic study of mastication in *Tenrec ecaudatus* // Journal of Morphology. 1985. V.185. P.155–182.



Максимальное смыкание зубных рядов домового опоссума: а — левые зубные ряды (Bhullar et al., 2019, Fig.3g); б — левый первый нижний коренной зуб; красной стрелкой в талонидном бассейне отмечена траектория протокона во время поворотного жевательного хода (Bhullar et al., 2019, Extended Data Fig.5f).

¹ Bhullar B.-A., Manafzadeh A.R., Miyamae J.A. et al. Rolling of the jaw is essential for mammalian chewing and tribosphenic molar function // Nature. 2019. V.566. №7745. P.528–532.

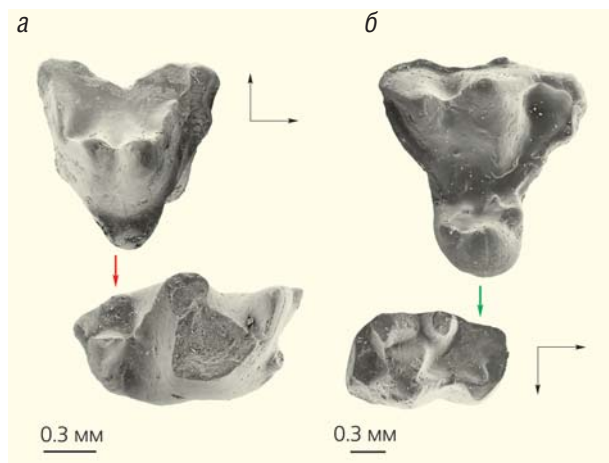
обнаружили также ранее неизвестный эффект, проявляющийся в момент максимального смыкания челюстей. Его можно описать как дополнительный краткий цикл эверсии и инверсии при сомкнутых челюстях (который авторы назвали поворотным жевательным ходом — rotational grinding stroke), благодаря ему происходит поперечное скольжение внутреннего бугра (протокона) верхних зубов по центральной части углубления задней доли (талонидного бассейна) нижних зубов, усиливающее жевательную функцию.

Исследователи полагают, что каждое из описанных ими явлений связано с важными событиями в эволюции млекопитающих. Симметричный боковой наклон половин нижних челюстей вдоль длинной оси (крен) появился во время становления точного контакта (окклюзии) верхних и нижних зубов у предков Mammalia, а возникновение поворотного жевательного хода скоординировано с появлением у предков териовых млекопитающих углубленного талонидного бассейна на нижних зубах (функционально подобного ступке для пестика).

Одновременно с появлением талонидного бассейна у предков териовых млекопитающих и их ближайших родственников (например, дриolestид) сформировался угловой отросток нижней челюсти, позволивший усилить определенные порции жевательной мускулатуры — наружную жева-

тельную мышцу и медиальную крыловидную мышцу, которые как раз и обеспечивают симметричный крен половин нижних челюстей. У некоторых древнейших млекопитающих типа *Morganucodon* (поздний триас — ранняя юра) и *Dinnetherium* (ранняя юра) имелся так называемый ложноугловой отросток нижней челюсти, при этом характер следов стирания зубов свидетельствует о наличии у них симметричного крена зубных костей¹. Хорошо развитый ложноугловой отросток был также у докодонтов (средняя юра — ранний мел Северного полушария) и аускутрибосфенид (ранний мел Австралии, объединяются с однопроходными в группу австралосфенид²), обладавших псевдотрибосфеническими зубами. У них жевание обеспечивали зубные структуры, имевшие иное положение и происхождение, чем у териовых, но принцип оставался тем же — выступ поперечно расширенных верхних зубов давил в углубление на продольно удлинённых нижних зубах. Возможно, у докодонтов и австралосфенид параллельно териовым возникла своя разновидность поворотного жевательного хода. Тогда как эутриконодонты, мультитуберкуляты и некоторые ранние симметродонты, не имевшие ни трибосфенических, ни псевдотрибосфенических зубных структур, характеризуются редуцированным угловым отростком.

Ранее была показана важность уменьшения ограничений боковых движений (рыскания) нижней челюсти при жевании в связи с развитием поперечно расширенных зубов у териовых млекопитающих³. Теперь необходимо признать, что более важным в этом процессе стало возникновение способности к симметричному крену половин нижней челюсти. Тип жевания с помощью значительных по амплитуде боковых движений всей нижней челюсти независимо возникал в разных группах териовых, всякий раз сопровождаясь срастанием симфиза⁴, предотвращающим поворот половин нижней челюсти вдоль длинной оси, и уплощением зубных бугорков, исключаящим сцепление верхних и нижних зубных рядов. Исчезновение способности к симметричному крену половин нижней челюсти вызывало редукцию угловых отростков.



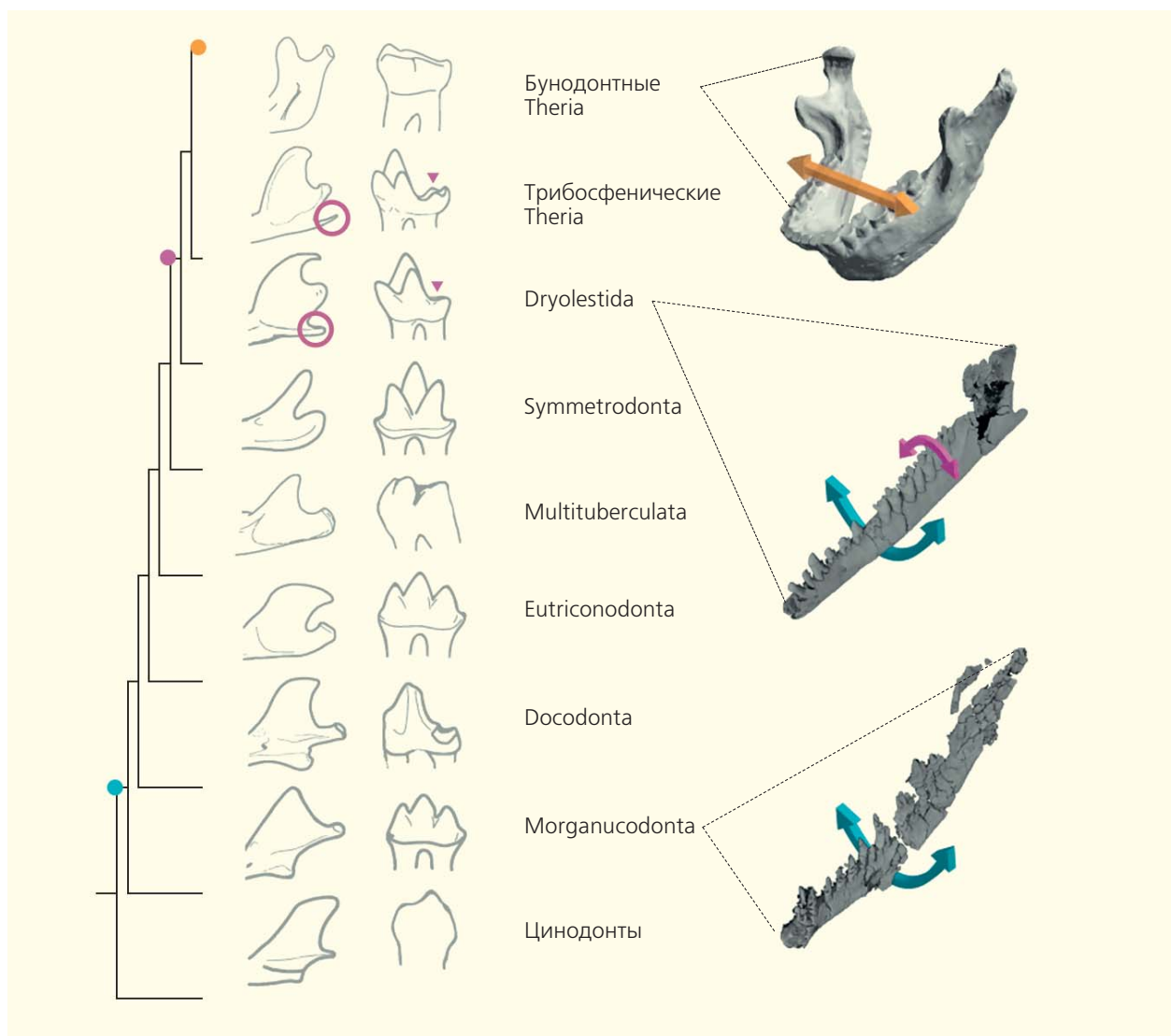
Структурные различия между трибосфенией и псевдотрибосфенией: а — примитивные трибосфенические зубы эгиалодонта келянтерия (*Kielantherium gobiense*), ранний мел Монголии; б — псевдотрибосфенические зубы докодонта сибиротерия (*Sibirotherium rossicum*), ранний мел Западной Сибири (изображения инвертированы зеркально). Показаны правые зубы, горизонтальные черные стрелки указывают на переднюю сторону, вертикальные — на наружную. Красная стрелка обозначает взаимодействие верхнего зуба с задним выступом нижнего зуба, зеленая стрелка — взаимодействие верхнего зуба с передним выступом нижнего зуба. Коллекция Палеонтологического института имени А.А.Борисяка РАН. Схема и фото А.В.Лопатина.

¹ Crompton A.W., Jenkins F.A. Molar occlusion in Late Triassic mammals // Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society. 1968. V.43. P.427–458.

² Luo Z.-X., Cifelli R.L., Kielan-Jaworowska Z. Dual origin of tribosphenic mammals // Nature. 2001. V.409. №6816. P.53–57.

³ Grossnickle D.M. The evolutionary origin of jaw yaw in mammals // Scientific Reports. 2017. V.7. №45094. P.1–13.

⁴ Lieberman D.E., Crompton A.W. Why fuse the mandibular symphysis? A comparative analysis // American Journal of Physical Anthropology. 2000. V.112. №4. P.517–540.



Родственные связи основных групп млекопитающих с изображениями задней части нижней челюсти и нижних коренных зубов с внутренней стороны. Синяя точка символизирует появление в эволюции млекопитающих крена половин нижней челюсти, розовая — появление поворотного жевательного хода, оранжевая — утрату способности к крену половин нижней челюсти. Сами явления обозначены двойными стрелками соответствующих цветов, угловые отростки очерчены розовыми кружками, талонидные бассейны показаны розовыми треугольниками (Bhullar et al., 2019, Fig.4a).

Таким образом, способность к симметричному крену половин нижней челюсти обеспечивала точную окклюзию зубов у предковых млекопитающих, что увеличивало эффективность обработки пищи, необходимую для поддержания высокой скорости метаболизма и деятельности увеличенного головного мозга. Добавив к этой простой исходной схеме поворотный жевательный ход и трибосфенические зубы, териевые смогли еще сильнее развить указанные преимущества и впоследствии стать господствующей группой млекопитающих.

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

Антропология

Новый метод для определения пола древних людей

Хорошая сохранность палеоантропологических находок глубокой древности — большая редкость, поэтому ученые постоянно ищут новые подходы, позволяющие получить максимум информации о древнем человеке, при этом экономно расходуя ценный материал. Например, пол взрослого человека можно определить на основе исследования отдельных костей скелета. Однако именно этих фрагментов может не оказаться среди ископаемых костных останков. Использование в тех же целях молекул ДНК, извлеченных из биологического образца, — путь довольно дорогой, к тому же не все-



Рис.1. Принципиальная схема щечно-язычного сечения коронки зуба (моляра): 1 — эмаль, 2 — дентин, 3 — пульпа. Doi:10.1002/ajpa.20211.

гда возраст кости позволяет восстановить нуклеотидную последовательность: в очень древней ткани это уже невозможно, либо для лабораторного анализа требуется слишком большая навеска. Возможны и искажения результатов, так как очень трудно избавиться от примесей — таких, как ДНК почвенных бактерий.

Неудивительно, что палеоантропологи обратили пристальное внимание на зубы — часть человеческих останков, которая сохраняется дольше всего. Ученые постоянно стараются найти методы, способные заставить зубы «заговорить» и поведать о своих обладателях ценную информацию. В частности, выраженный половой диморфизм в размере зубов и составе их тканей позволяет определить, мужчине или женщине они принадлежали. Так, в 2017 г. Николас Стюарт из Университета Брайтона (Великобритания) и его коллеги из Даремского университета (Великобритания) и Университета Сан-Паулу (Бразилия) предложили оригинальный метод определения пола древних людей с использованием масс-спектрометрического анализа белка амелогенина в эмали зубов¹. Амелогенин участвует в формировании эмали, и в ткани зубов мужчин и женщин состав этого вещества различается в связи с тем, что гены, его кодирующие, у людей расположены на половых хромосомах. В мужской версии амелогенина есть «лишняя», содержащая серу аминокислота метионин, а в женской версии белка ее нет.

В марте 2019 г. в журнале «American Journal of Physical Anthropology» вышла статья другого меж-

дународного исследовательского коллектива. Она также посвящена определению пола древнего человека посредством изучения сохранившейся зубной ткани², и результаты, которые получили ее авторы, дополняют ранее известные данные. Марк Соренти из Университетского колледжа в Лондоне и его соавторы из Национального центра исследования эволюции человека в г.Бургосе (Испания) обратились к испанской антропологической коллекции и изучили образцы постоянных коренных зубов нижней челюсти от 36 особей известного пола. Они установили: пол палеоантропологической находки можно определять по зубам, измеряя пропорции зубной ткани. При этом оказалось, что размеры зубов мужчин и женщин, принадлежащих одной популяции, значительно варьируются и распределяются в частично перекрывающихся интервалах, но средние значения этого показателя (размера) существенно различаются у двух полов. Кроме того, клыки древних людей имеют наиболее выраженный половой диморфизм (как это свойственно всем гоминидам): у самцов эти зубы относительно (на 5–10%) крупнее, чем у самок.

Как известно, зубы состоят из трех твердых тканей: зубной эмали, дентина и зубного цемента. И прежние исследования показывали, что у мужчин в составе зуба значительно больше дентина, тогда как у женщин формируется пропорционально более толстый слой эмали. Согласно результатам группы Соренти, мужские моляры нижней челюсти имеют абсолютно и относительно большее количество дентина, чем женские, в то время как зубы женщин имеют относительно более толстую эмаль, если их масштабировать. Ученые обнаружили: у женщин наблюдается большая площадь эмали и более высокие значения ее средней толщины (хотя эти различия еще предстоит оценить с точки зрения дифференцирующего фактора).

Таким образом, доля дентина может стать важным маркером для определения пола палеоантропологической находки по зубам. Согласно результатам последнего исследования, классифицировать образцы можно с точностью 74.36%. Разумеется, нужна дальнейшая проверка надежности измерительных одонтологических методов для установления пола в разных группах населения, но благодаря полученной информации названную гипотезу можно считать перспективной.

© Е.В.Сударикова

Государственный Дарвиновский музей
(Москва, Россия)

¹ Stewart N.A., Gerlach R.F., Gowland R.L. et al. Sex determination of human remains from peptides in tooth enamel // PNAS. 2017. V.114. №52. P.13649–13654. Doi:10.1073/pnas.1714926115.

² Sorenti M., Martín-Torres M., Martín-Francés L. et al. Sexual dimorphism of dental tissues in modern human mandibular molars // Amer. J. Phys. Anthropol. 2019. Doi:10.1002/ajpa.23822.

О драконах, оборотнях и животных-экстрасенсах с точки зрения науки

кандидат биологических наук Н.В.Маркина

Институт общей генетики имени Н.И.Вавилова (Москва, Россия)

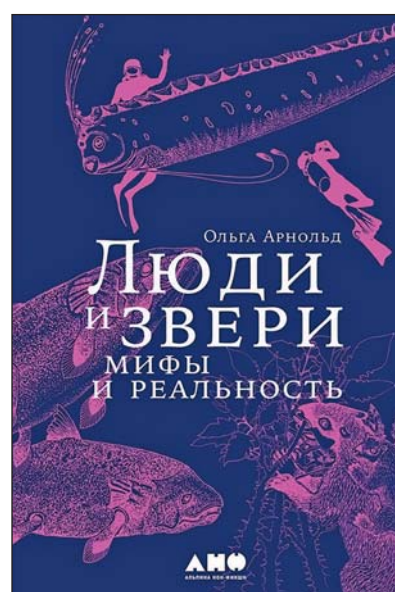
e-mail: nadezda_markina@mail.ru

Животных любить приятно — это отвлекает от напряженного ритма жизни, от непростых социально-общественных проблем, с которыми мы все сталкиваемся. Любовь к животным не требует ничего взамен и интерес к их жизни вызван бескорыстной любознательностью. Детей мы водим в зоопарки и океанариумы, при этом и сами получаем от этого удовольствие. К домашним питомцам часто относимся как к членам семьи, фотографируем их и снимаем видеоролики, чтобы затем разместить в социальных сетях.

Но хорошо ли мы знаем тех, кого любим? Не обладая специальными биологическими знаниями, люди часто оказываются во власти мифов. Большинство из них складывались исторически: люди сталкивались с какими-то фактами и наблюдали за некими явлениями, которые пытались объяснить, исходя из собственных представлений о мире. Очень часто эти явления уже имеют научное объяснение или получают его через какое-то время благодаря исследованиям. Но порой это остается уделом немногих посвященных и не доходит до широких масс, а мифы оказываются очень живучими. Со многими из них люди расстаются весьма неохотно, потому что миф — это сказка, чудо, которое не всем хочется менять на «скучное» научное объяснение. Впрочем, кто сказал, что это скучно? Реальность зачастую оказывается гораздо интереснее, чем вымысел, и животный мир на самом деле полон удивительных существ, которые способны на удивительные вещи, и для этого не надо ничего выдумывать.

Вот об этом и написана книга Ольги Арнольд «Люди и звери: мифы и реальность». Автор вполне компетентно берется за то, чтобы исследовать популярные мифы, связанные с животными, и отделить вымыслы от реальности. Ольга Арнольд — биолог, специалист по физиологии высшей нервной деятельности, кандидат психологических наук, практикующий психолог и, наконец, писатель, автор более 30 научно-популярных книг. Она знает и психологию людей, и поведение животных. Она не только специалист, но и неутомимый путешественник, побывавший в самых экзотических местах планеты и погружавшийся в глубины океана. Ну а о свойствах человеческой психики, эмоциях и воображении ей известно из многолетней психологической практики.

Книга начинается с разоблачения мифа о том, что культура — это чисто человеческое явление. И этот миф как раз такого сорта, который принижает действительность. Животные способны к обучению тем или иным навыкам и передаче этих навыков своим детям — и что это, как не культура? Например, японские макаки научились отогреваться зимой в горячих источниках и мыть клубни батата пе-



О.Арнольд.

Люди и звери: мифы и реальность.

М.: Альпина нон-фикшн, 2018. 382 с.

ред едой, суматранские орангутаны — открывать скорлупу тропических плодов при помощи палочек, а шимпанзе используют для «ужения» муравьев прутики, причем разные группы делают эти по-разному: одни снимают с них кору, другие — нет. Это очень немногие из массы примеров культурных традиций у животных. Ну а переходя к культуре людей — наших далеких предков, автор разбирает роль животных в мировоззрении и религиозных практиках древнего человека, который жил в единстве с природой. Вера в магические способности животных, поклонение им, отождествление с ними — все это берет корни в палеолите, о чем говорят сохранившиеся образцы наскальной живописи. А драконы, химеры, русалки, сирены — животные, преображенные человеческой фантазией в сказочных персонажей, — это большой пласт культуры, дошедший до наших дней.

Есть люди, одержимые желанием найти на нашей планете какое-то животное, давно вымершее или никогда не существовавшее. Эта область деятельности имеет название — криптозоология, относящаяся к паранауке. История о Несси — чудовище из шотландского озера Лох-Несс — известна, наверное, всем, хотя не все знают авторов этой мистификации и деталей ее изготовления. А знаете, что у Несси есть «родственники» — целая компания озерных монстров в Ирландии, Исландии, Канаде? Но наряду с неуловимыми монстрами, за которыми гоняются криптозоологи, на планете живут и настоящие «драконы», и их может увидеть всякий, кому посчастливится побывать на индонезийском острове Комодо. Огромные, хищные и довольно страшные «комодские драконы» — на самом деле гигантские вараны. Почему они достигают таких размеров — свыше 3 м? Мне было известно про «островную карликовость» — уменьшение в размерах островных животных, но вот про «островной гигантизм» — обратное явление — я впервые узнала из этой книги. Как и о том, почему именно здесь появились гигантские вараны.

Мечта криптозоологов — обнаружить на планете «живое ископаемое», чудом выжившее доисторическое животное. Много усилий было потрачено на безуспешные поиски мегатерия — гигантского (размером со слона) ленивца. Но гораздо больше вероятность встретить доисторических животных не на суше, а в океане. И именно там была найдена известная по учебникам биологии кистеперая рыба латимерия, предки которой когда-то вышли из океана на сушу. Недавно компания самых древних рыб пополнилась новым видом химер — глубоководных примитивных хрящевых рыб, не изменившихся за последние 150–180 млн лет. Почти из таких же древних времен до нас доплыла плащеносная акула.

Мифы океанских глубин могут оживать. Так, легендарный гигантский кальмар, способный утащить на дно целое судно, оказался реальным гигантским кальмаром — архитеутисом, с которым в 1861 г. столкнулся французский корвет. Когда эти головоногие попали в руки ученых, выяснилась их реальная длина — максимум 18 м, несколько меньше, чем представлялось в легендах, но вполне неплохо для ожившего мифа. Ольга Арнольд — дайвер, поэтому хорошо знает, что океанские глубины таят в себе массу неизведанного. Она сама, как и другие дайверы-любители, нашла в океане новые виды — двух полихет, многощетинковых червей (это к вопросу о том, можно ли в наше время обнаружить неизвестные науке виды). А что до самых удивительных обитателей морских глубин, то что вы скажете про «краба йети», который разводит на своих клешнях плантации серных бактерий и питается ими, счесывая с клешней гребнем, похожим на приспособление для сбора лесных ягод?

А что вы думаете про оборотней? Это довольно популярные персонажи фантастических книг и фильмов, однако любой здравомыслящий человек знает, что их не бывает. Так, да не совсем. Оказывается, в Африке живут племена людей-леопардов, которые «оборачиваются» этими хищниками почти по-настоящему. Одетые в леопардовые шкуры и маски, одурманенные специальными снадобьями, они совершают ритуальный танец и постепенно входят в транс, отождествляя себя с этими хищниками. В таком состоянии они набрасываются на соплеменников, приговоренных к смерти, и разрывают их ножами и кинжалами — когтями. Страшноватая картина! А еще есть «люди-крокодилы», «люди-буйволы» и даже «люди-акулы». Из книги мы узнаем массу фактов о том, как в Средние века людей обвиняли в колдовстве, сделках с дьяволом и оборотничестве и жестоко расправлялись с ними. И о странной болезни, ликантропии, которая выражается в том, что человек ощущает себя волком (современные психиатры считают это разновидностью шизофрении с бредом).

Много мифов создается вокруг детей-маугли — детей, воспитанных животными. В книге мы найдем описание реальных историй таких детей. Автор по разным источникам насчитала около 70 подобных случаев, исключая фальсификации. «Особенно часто приемными родителями человеческих детей служат волки и собаки, — пишет Ольга Арнольд, — но находили детей, выращенных медведями, обезьянами, газелями, козами, свиньями, шакалами, кошками, леопардами, и даже нашелся один мальчик, живший среди страусов». Читать такие истории очень увлекательно. Но каждую из них автор проверяет на правдоподобность, анализирует их причины и исход, который, за редким

исключением, обычно печален. При возвращении к людям эти дети не могут вписаться в общество, они погибают, убегают или становятся пациентами психоклиник.

Очень познавательна глава о «животных-людоедах». Большинство рассказов о них, как показывает автор, или преувеличение, или неверно интерпретированные факты. Так, нельзя приклеивать этот ярлык к диким зверям, которые нападают на человека, защищая своих детенышей или в других экстремальных ситуациях. В подавляющем большинстве случаев даже опасные для человека хищники не воспринимают его с «гастрономических» позиций, люди не входят в их обычный рацион. Впрочем, известны случаи, когда волки, львы и другие звери становятся «серийными убийцами» и людоедами, обычно после того как попробовали человека «на вкус». Ольга Арнольд приводит несколько таких случаев — ужасного волка, который в течение нескольких лет терроризировал жителей Франции; львов, которые целенаправленно охотились на строителей железной дороге в Африке; тигров-людоедов в Индонезии и в Непале; охотящихся на людей леопардов, реже — медведей. Но гораздо чаще, чем звери, на человека нападают, как это ни обидно, пресмыкающиеся и рыбы. Речь идет, конечно, о крокодилах и акулах. На счету крокодилов множество жертв, которые с трудом поддаются учету. По оценкам, которые приводит автор, от зубов нильских крокодилов в Африке ежегодно погибают 600–800 человек. Так что при общении с крокодилами беспечность неуместна и очень опасна.

Одна глава книги целиком посвящена акулам. С точки зрения автора страх перед ними преувеличен, представление, что все акулы — потенциальные убийцы, в корне неверно. Аргументы таковы: «Из более чем 450 видов акул реальную опасность для человека представляют от силы 8 видов, с большими натяжками — 10, и только 4 вида из них по праву можно назвать людоедами». Среди них — большая белая, бычья (или тупорылая), тигровая и длиннокрылая акулы. Автор анализирует причины нападения акул на людей, приводит наиболее яркие истории, перечисляет правила поведения, которые необходимо соблюдать, чтобы избежать нападения, и реальные и мнимые способы и средства защиты. Нельзя сказать, чтобы эта глава, очень увлекательная, создавала впечатление, что акулы милы и безопасны. Она убеждает в том, что многое зависит от поведения человека, и в том, что даже трагические случаи гибели людей не могут служить основанием для истребления акул.

Глава о необычных способностях животных — одна из самых неоднозначных в книге. Правда, автор предупреждает, что некоторые аспекты поведения животных очень спорны и в большинстве

своем не имеют научного объяснения. Предвидя критическую реакцию на публикацию этих историй, Арнольд строго подходит к их оценке и отмечает, что в книге опубликованы только те истории, в достоверности которых у нее нет оснований сомневаться. Речь идет, конечно же, о случаях, когда животные проявляли экстрасенсорные способности. Впрочем, автор описывает и случаи телепатии среди людей. Рассказывает и о попытках исследования этого феномена, в частности про опыты, проведенные профессором В.М.Бехтеревым со знаменитым дрессировщиком В.Л.Дуровым и его собаками по передаче «мысленных команд». Не менее впечатляющие эксперименты были проведены с попугаем Нкизи по угадыванию задуманных хозяйкой образов. За всеми подобными историями маячит тень «умного Ганса» — это лошадь, которая в начале XX в. демонстрировала удивительные способности к счету, а на самом деле они объяснялись ее сверхчувствительностью к невидимым для окружающих подсказкам хозяина. Но автор пишет только о тех случаях, которые нельзя объяснить феноменом «умного Ганса». Более других убеждает опыт замечательного грузинского исследователя поведения волков в природе Ясона Бадридзе, о котором он поведал автору книги. Во-первых, уникальные наблюдения за волками в природе убедили ученого в том, что волки в стае могут общаться друг с другом, передавая информацию взглядом. Во-вторых, ему и самому довелось открыть в себе экстрасенсорные способности, когда, живя среди волков, он буквально спиной чувствовал опасность, и это не раз спасало ему жизнь. Научного объяснения все эти наблюдения не имеют. Мне трудно решить, как к ним относиться, поскольку естественнонаучное образование приучает не верить тому, у чего нет объяснения. Но такие же чувства испытывает и сама Ольга Арнольд, выпускница кафедры высшей нервной деятельности (как и я). Она пишет: «Эта моя деятельность дала мне много возможностей убедиться в том, что некоторые паранормальные явления все же реально существуют. Порой это приводило меня чуть ли не к раздвоению личности, ведь я, получившая хорошее естественнонаучное образование, в них не верила!». Приведем еще одну цитату, в которой четко высказана позиция автора по отношению к непонятым и непознанным явлениям: «К сожалению, сейчас существует тенденция все, что не укладывается в общепринятые научные концепции, в том числе и доказанные факты, записывать в “лженауку”. Но мой взгляд, надо четко различать реальность и вымысел, а действительные события требуют дальнейшего изучения». И этой позиции — отделять вымыслы от правдивых, хотя и не объясненных фактов — автор строго придерживается.

В книге поражает обилие интереснейшего фактического материала. Я, например, очень многое из нее узнала впервые. И материал это представлен легко и доступно и в то же время профессионально. На мой взгляд, можно было бы больше уделить внимание некоторым вещам, например, посвятить целую главу мышлению животных (вот уж где мифов немерено, а реальность между тем интереснее всяких домыслов!). Один из самых ярких примеров — способность человекообразных обезьян к освоению элементов человеческого языка (Ольга Арнольд пишет об этом, но довольно кратко). Впрочем, тех, кто хочет узнать все об этом интереснейшем феномене, отсылаю к книге З.А.Зориной и А.А.Смирновой «О чем рассказали говорящие обезьяны».

И еще я ожидала, что больше внимания будет уделено дельфинам. Многие помнят красивые и романтические мифы 60–70-х годов минувшего столетия о сверхспособностях, почти человеческом интеллекте дельфинов и даже об их цивилизации в Мировом океане. История того, как наука опровергла эти мифы, хотя дельфины все равно оказались чрезвычайно интересными и умными животными, на мой взгляд, просто просится в книгу. Также интересно было бы объективно поговорить об отношениях дельфина и человека, поскольку представление об особом дружелюбии

к нам дельфинов — тоже в большой степени миф. И именно как миф оно было представлено в лекции биолога и популяризатора Ивана Затевакина, которую я слышала на форуме «Ученые против мифов» в прошлом году. Да, дельфины спасают тонущих людей — об этом рассказывали те, кого дельфины вытолкали к берегу, но те, кого они толкали в противоположном направлении, уже не расскажут об этом. Это не моя сентенция, ее приводил и Затевакин, и, кстати, сама Ольга Арнольд в своей лекции на презентации книги. На лекции прозвучало, что, несмотря на часто проявляемое дружелюбие, афалина — дикое животное и это надо помнить (в книге, однако, этого нет). Арнольд сама много работала с дельфинами и утверждает, что общение с ними улучшает состояние больных детей. Однако простого утверждения недостаточно, необходимы научно доказанные факты, которые бы убедили в том, что дельфинотерапия — это реальный подход к лечению. (Простите, дельфины! Я вас тоже очень люблю!)

Впрочем, это мое личное мнение, и оно совсем не меняет того, что эту книгу стоит читать, получать удовольствие, расставаться с мифами в своей голове, получать научное объяснение тому, что считалось мифами, и снова и снова удивляться богатству и разнообразию окружающего нас мира животных. ■

Астрономия. Физика. Астрофизика

В.М.Липунов. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО ВЕЛИКОГО МОЛЧАНИЯ. М.: АСТ, 2018. 464 с.

(Лекторий: как устроен мир).



Как возникла Вселенная? Почему нашу Вселенную называют горячей? Зачем нужны гипотезы о существовании темной энергии и темной материи? Что такое «великое молчание» и почему нам никто не пишет из глубин Вселенной? Для того чтобы ответить на эти вопросы, автор, известный астрофизик, кратко описывает основные вехи последних 400 лет истории развития физики. Рассказывает о вкладах в развитие науки и о плодотворности некоторых ошибок и заблуждений великих ученых. О том, как и почему в 1980-х годах пришлось отказаться от фридмановской модели развития Вселенной и начать разработку инфляционной модели. Целая глава посвящена проблеме «великого молчания» Вселенной, в которой, несмотря на открытие астрономами огромного числа экзопланет, не удается обнаружить никаких следов активности сверхцивилизаций. Завершает книгу обсуждение последнего достижения астрофизики — открытия гравитационных волн и локализации их источников, а также изложение программы «Великие космические свершения», которую предстоит воплотить человечеству в ближайшем будущем. Книга написана доступно, но не поверхностно, язык автора легок и образен. Но, увы, книга плохо отредактирована, что, к сожалению, сегодня типично для многих издательств, экономящих на труде корректоров и редакторов.

Научно-популярный сайт
о современной биологии

Биомолекула



КОНКУРС «БИО/МОЛ/ТЕКСТ» НА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНУЮ РАБОТУ

Приглашаем участвовать исследователей, школьников, студентов, бакалавров, аспирантов, учителей, научных и медицинских журналистов и вообще всех-всех любителей науки!

НОМИНАЦИИ

- Школьная: для учащихся до 10 класса включительно
- Наглядно о ненаглядном: нарисуй науку
- Приз Зрительских симпатий
- Свободная тема
- Своя работа
- «Сколтех»: для нынешних бакалавров

Номинацию «Сколтех» судят известные российские ученые **Михаил Гельфанд** и **Константин Северинов**

ПРИЗЫ (в зависимости от номинации):

– 30 000 ₽

- льготное поступление в некоммерческую школу Летоно или магистратуру Сколтеха
- приз зрительских симпатий
- и другие приятные подарки!



ПРИЕМ РАБОТ
ДО 1 ОКТЯБРЯ 2019 ГОДА

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ:
21 ДЕКАБРЯ 2019 ГОДА

biomolecula.ru/biomoltext/bio-mol-tekst-2019

Издательство предлагает услуги по редакционно-издательской подготовке материалов, сборников, а также весь комплекс полиграфических услуг

Издательство «Наука» готово оказать услуги под ключ по организации и проведению семинаров, конференций, презентаций, выставок в конференц-залах и на экспозиционных площадках издательства по адресам:

г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1

г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 90

Московская обл., г. Люберцы, Октябрьский пр-кт, д. 403

По всем интересующим вопросам обращайтесь по тел.: +7(495)276-1197 доб. 3321, 3371, 2241
 Подробная информация на сайте www.naukapublishers.ru/history/partnership

ПРИРОДА

6/2019

Соучредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука»

Главный редактор: А.Ф.Андреев

Заместитель главного редактора: А.В.Бялко

Ответственный секретарь
 Е.А.Кудряшова

Научные редакторы
 М.Б.Бурзин
 Т.С.Клювиткина
 Е.В.Сидорова
 Н.В.Ульянова
 О.И.Шутова

Литературный редактор
 Е.Е.Жукова

Заведующая редакцией
 И.Ф.Александрова

Перевод содержания
 Т.А.Кузнецова

Графика, верстка:
 С.В.Усков

Подписной индекс: 70707

Дата выхода в свет: 27.06.2019

Формат 60×88 1/8. Цифровая печать

Усл. печ. л. 11,16. Уч. изд. л. 12,2

Бум. л. 12

Тираж 1000 экз.

Цена свободная

Заказ 18

Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 90

По вопросам публикации материалов:

тел.: (495) 276-77-35 (доб. 4171),

e-mail: priroda@naukaran.com

По вопросам сотрудничества:

тел.: (495) 276-77-35 (доб. 4301 или 4291),

e-mail: journals@naukaran.com

Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 121099, Москва, Шубинский пер., 6.

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом Совета министров СССР по печати 13 декабря 1990 г.

Свидетельства о регистрации №1202 и ПИ №1202.

Все права защищены. Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели.

12+

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!

Открыта подписка для физических лиц
на номера 2019 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

Журнал «Земля и Вселенная»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1200 руб.
Стоимость полугодового комплекта (3 номера) 750 руб.
Стоимость 1 номера 400 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 42-31)
E-mail: zevs@naukaran.com
ул. Профсоюзная, 90, к. 423

Журнал «Природа»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3000 руб.
Стоимость полугодового комплекта (6 номеров) 1800 руб.
Стоимость 1 номера 500 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 41-71)
E-mail: priroda@naukaran.com
ул. Профсоюзная, 90, к. 416

Журнал «Энергия: экономика, техника, экология»

Стоимость полугодового комплекта (6 номеров) 1500 руб.
Стоимость 1 номера 500 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7(495) 362-57-66
E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru
ул. Красноказарменная, 17а



40% НА КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»

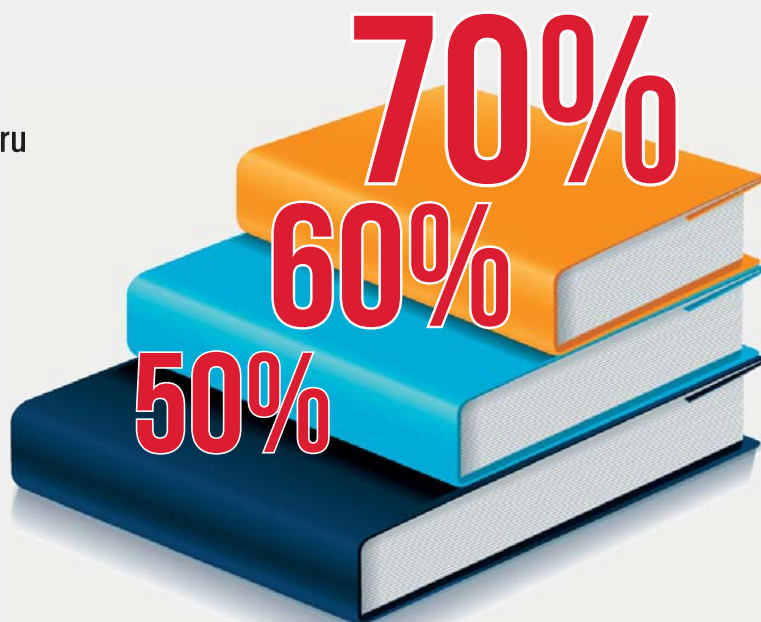
акция распространяется
в сети магазинов «Академкнига»
и в интернет-магазине naukabooks.ru

BOOK SALE

Реклама

ЕЩЁ БОЛЬШЕ КНИГ И БОЛЬШЕ СКИДОК

акция распространяется
в интернет-магазине naukabooks.ru



ИЗДАТЕЛЬСТВО **НАУКА**
NAUKA
PUBLISHERS