



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК Издается с января 1912 года

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.Батурин, 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 (Т.Jovanović, Сербия), доктор биологических наук С.Л.Киселев, кандидат географических наук Т.С.Клювиткина, член-корреспондент, доктор физикоматематических наук М.В.Ковальчук, доктор биологических наук С.С.Колесников, Е.А.Кудряшова, профессор Е.Кунин (Е.Коопіп, США), доктор геолого-минералогических наук А.Ю.Леин, член-корреспондент, доктор биологических наук В.В.Малахов, профессор III.Миталипов (Sh.Mitalipov, США), доктор геолого-минералогических наук Т.К.Пинегина, доктор сельскохозяйственных наук Ю.В.Плугатарь, доктор физикоматематических наук М.В.Родкин, академик, доктор биологических наук Л.В.Розенштраух, кандидат географических наук Ф.А.Романенко, академик, доктор физикоматематических наук А.Ю.Румянцев, член-корреспондент, доктор биологических наук Н.И.Санжарова, доктор физико-математических наук Д.Д.Соколов, кандидат физикоматематических 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.Черепащук, академик, доктор физико-математических наук Ф.Л.Черноусько, членкорреспондент, доктор химических наук В.П.Шибаев, О.И.Шутова, кандидат биологических наук А.О.Якименко

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Пентамер белка-родопсина KR2, внедренного в клеточную мембрану (голубые диски), который под воздействием света пропускает ионы натрия. В мономерном состоянии транспорт Na^+ заблокирован.

См. в номере: **В.А.Шевченко.** Оптогенетические инструменты будущего, или Как управлять мозгом с помощью света.

Изображение белка подготовлено К.В.Ковалевым





- © Российская академия наук, журнал «Природа», 2019
- © ФГУП «Издательство «Наука», 2019
- © Составление. Редколлегия журнала «Природа», 2019

ИЗДАТЕЛЬСТВО **HAYKA 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 **NAUKA** PUBLISHERS

• переплетные работы

- тиснение фольгой
 - цифровая печать
 - офсетная печать
 - ламинирование
 - цветоделение
 - сканирование
 - брошюровка
 - лакирование
 - цветопроба
 - нумерация
 - высечка
 - верстка
 - CTP
- Типографии ФГУП "Издательство "Наука" www.tnauka.ru
- Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- Работа высококлассных профессионалов





B HOMEPE:

3 В.А.Шевченко

Оптогенетические инструменты будущего, или Как управлять мозгом с помощью света

Основные «инструменты» оптогенетики — светочувствительные белки, которые искусственно встраивают в клетки (например, нейроны) живого организма. Под действием света такие белки способны, в частности, запускать/блокировать нервный сигнал, что позволяет имитировать работу определенных зон мозга. Недавно была описана структура белка KR2 — натриевого насоса, который может быть использован для лечения дегенеративных заболеваний нервной и мышечной систем.

10 Г.М.Виноградов, С.В.Галкин

Бентосные сифонофоры подводного вулкана Пийпа

Новая, неизвестная для науки бентосная сифонофора семейства Rhodaliidae была обнаружена в Беринговом море на массиве Вулканологов во время работ с телеуправляемым подводным аппаратом «Команч» на без малого двухкилометровой глубине. Это первая находка из российских вод и с таких глубин северной Пацифики.

16 А.А.Гаврилов

Влияние зон разрывных нарушений на строение и развитие коренных берегов залива Петра Великого

Разрывные нарушения представляют собой важнейшие элементы береговых геолого-геоморфологических систем, что необходимо учитывать как при анализе теоретических проблем морфогенеза в области сочленения суши и акваторий, так и при решении практических задач по освоению прибрежных территорий.

29 3.И.Слуковский

Далеко летит: миграция и аккумуляция свинца

Свинец — один из самых опасных загрязнителей, повсеместно накапливающийся в различных средах. Расстояния, на которые он способен перемещаться по воздуху в результате деятельности промышленных предприятий и выбросов автомобильного транспорта, измеряются десятками тысяч километров.

35 А.В.Агафонов, А.Д.Чернецкий

Кто свистит подо льдом?

Многолетние отечественные и зарубежные исследования подводной акустической коммуникации обитателя арктических морей лахтака (*Erignatus barbatus*), или морского зайца, позволили российским биоокеанологам разработать методы акустического учета этих животных в «прослушиваемой» акватории.

44 Е.Н.Черных

Культуры *Ното* в оценках мироздания и архетипы ментальности

Статья продолжает дискуссию, начатую в «Природе» по глобальной теме «Культуры *Ното*: узловые сюжеты миллионолетней истории». В предыдущих статьях основное внимание уделялось технологической и социальной граням человеческих культур. Теперь речь пойдет о третьей — психологической — грани.

57 НАУКА И ОБЩЕСТВО

С.В.Смолицкий

К 150-летию романа Жюля Верна «Двадцать тысяч лье под водой»

67 НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Л.Я.Кизильштейн

Ультраструктуры в ископаемых углях

69 ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

В.Е.Быкасов

Вулканы-скульпторы

77 ВРЕМЕНА И ЛЮДИ

Р.Н.Щербаков

Лизе Мейтнер — «мадам Кюри» немецкой науки

88 РЕЦЕНЗИИ

В.Н.Комаров

Мезозойские чудовища Поволжья

(на кн.: Нелихов А.Е., Архангельский М.С., Иванов А.В. Когда Волга была морем. Левиафаны и пилигримы)

94 НОВЫЕ КНИГИ

CONTENTS:

3 V.A.Shevchenko

Future Optogenetic Tools, or How to Control the Brain with Light

The main tools of optogenetics are photosensitive proteins that are artificially introduced into cells (for example, neurons) of a living organism. Under the action of light, such proteins can induce or block the nerve impulse, which makes it possible to imitate the work of certain areas of the brain. Recently, the structure of KR2 protein, a sodium pump, which can be used to treat degenerative diseases of the nervous and muscular systems, has been described.

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

Benthic Siphonophores in Vicinity of Submarine Piyp Volcano

A new, unknown for science benthic siphonophore of the family Rhodaliidae was discovered in the Bering Sea on the Vulcanologov Massif during work with the remote-controlled underwater vehicle "Comanche" at a depth of less than two kilometers. This is the first find of these animals in Russian waters and on such depths of the North Pacific.

16 A.A.Gavrilov

Influence of Fracture Zones on the Structure and Development of the Bedrock Coasts in the Peter the Great Gulf

Fracture zones are the most important elements of coastal geological and geomorphological systems, which must be taken into account both when analyzing the theoretical problems of morphogenesis in the area of intersection of the land and water, and when solving practical problems in the development of coastal areas.

29 Z.I.Slukovskii

It Flies Far: Migration and Accumulation of Lead

Lead is one of the most dangerous pollutants that accumulates in various environments. The distances of its migration due to activities of industrial enterprises and emissions of road transport amount tens of thousands of kilometers.

35 A.V.Agafonov, A.D.Chernetsky

Who Whistles Under the Ice?

Long-term domestic and foreign studies of the underwater acoustic communication of the Arctic Sea inhabitant, the Bearded seal (*Erignatus barbatus*), or the "sea hare", allowed Russian bio-oceanologists to develop methods for acoustic recording of these animals in the "listened" water area.

44 E.N.Chernykh

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

The article continues the discussion started in "Priroda" on the global theme "Homo Cultures: the Nodal Questions of the Million-Year History". The previous articles focused on technological and social aspects of human cultures. Here we will talk about the third aspect, the psychological one.

57 S.V.Smolitskii

To the 150th Anniversary of Jules Gabriel Verne's Novel

"Twenty Thousand Leagues Under the Sea"

67 SCIENTIFIC COMMUNICATIONS

L.Ya.Kizilshtein

Ultrastructures in Fossil Coals

69 NOTES AND OBSERVATIONS

V.E.Bvkasov

Volcanoes-Sculptors

77 TIMES AND PEOPLE

R.N.Shcherbakhov

Lise Meitner —

"Madam Kurie" of German Science

88 BOOK REVIEWS

V.N.Komarov

Mesozoic Monsters of the Volga Region

(on the book: A.E.Nelikhov, M.S.Arkhangelskii, A.V.Ivanov. When the Volga was the Sea. Leviathans and pilgrims)

94 NEW BOOKS

Оптогенетические инструменты будущего, или Как управлять мозгом с помощью света

В.А.Шевченко 1,2,3

- ¹Московский физико-технический институт (Долгопрудный, Россия)
- ²Институт комплексных систем Исследовательского центра Юлиха (Юлих, Германия)
- ³Институт кристаллографии Рейнско-Вестфальского технического университета (Ахен, Германия)

Оптогенетика — современная методика, которая позволяет с помощью света управлять нервными или мышечными клетками в живом организме, активируя или блокируя пути передачи информации. Для этого в нейрон или мышечную клетку встраивают светочувствительные белки, и в зависимости от их типа можно запустить/блокировать нервный сигнал или напрягать/расслаблять мышцы. Недавно описаны новые инструменты оптогенетики — натриевый насос KR2 и семейство ксенородопсинов. Использование подобных белков может улучшить качество жизни людей, страдающих хроническим болевым синдромом, возрастными нейродегенеративными заболеваниями, и частично восстановить зрение или слух.

Ключевые слова: оптогенетика, структурная биология, электрофизиология, родопсин.

о недавнего времени исследования мозга могли обрисовать его работу лишь «крупными мазками». Современные технологии, такие как томография, позволяют «разглядывать» мозг с высоким пространственным разрешением, причем происходит это неинвазивно, т.е. нетравматично. Относительно недавно был сделан еще один шаг, позволяющий не только наблюдать, но и управлять нервными импульсами, — разработаны оптогенетические техно-

логии. Оптогенетика — это способ управления определенными клетками с помощью света. Чаще всего речь идет о нейронах и мышечных клетках — так называемых электровозбудимых клетках. Как это работает? Для нормального существования клетка старается поддерживать определенные условия внутри и снаружи себя. По разные стороны мембраны клетки находятся ионы, но в различных концентрациях. В частности, внутри клетки преобладают ионы калия, а снаружи — натрия и хлора. Причем, соотношение заряженных ионов таково, что клетка внутри заряжена более отрицательно (имеет отрицательный мемб-



Виталий Андреевич Шевченко, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории перспективных исследований мембранных белков Московского физикотехнического института, Института комплексных систем Исследовательского центра Юлиха и соискатель степени PhD Института кристаллографии Рейнско-Вестфальского технического университета Ахена. Область научных интересов — поиск новых оптогенетических инструментов, их описание и разработка (инжиниринг). Победитель конкурса «Био/мол/текст — 2017».

e-mail: shevchenkovitaly@gmail.com

ранный потенциал, равный примерно –70 мВ). Теперь, если мы каким-либо образом извне направим положительные заряды внутрь клетки, произойдет ее деполяризация, и клетка возбудится (возникнет потенциал действия). У нейронов в мембране находятся свои белки, которые реагируют на изменение потенциала*. Именно они отвечают за распространение нервного импульса по цепочке нейронов.

© Шевченко В.А., 2019 DOI:10.7868/S0032874X19050016

^{*} Подробнее см.: *Камкин А.Г., Киселева И.С., Ярыгин В.Н.* Новый тип ионных каналов // Природа. 2002. \mathbb{N}^2 3. С.13–20. — *Примеч. ред.*

В природе есть различные организмы, жизнь которых зависит от наличия света. Поглощая фотоны, естественные белки в этих организмах могут переносить различные ионы через мембрану клеток (например, протоны или ионы натрия). Если в нейрон или мышечную клетку внедрить такой белок, переносящий положительные ионы внутрь, и посветить на эту клетку, то мы искусственно запустим нервный импульс. Мы также можем и заблокировать прохождение импульса: для этого нужно, напротив, еще сильнее уменьшить мембранный потенциал — так, чтобы собственные клеточные белки не справились с повышением потенциала до нужного порога. Такое уменьшение называется гиперполяризацией. Этого можно добиться, выкачивая положительные ионы из клетки или закачивая в нее отрицательные.

Обобщая, можно сказать, что оптогенетика находит белки-транспортеры, реагирующие на свет, пытается доставить эти белки в нужные клетки и создает решения, как же посветить на эти клетки светом (это особенно сложно, когда хочется светить на клетки глубоко в мозге). Причем эта система модульная, ее составные компоненты можно заменять.

Доступно и подробно о том, как работает оптогенетика как таковая, можно прочитать в статье В.Попова «Светлая голова», опубликованной на сайте «Биомолекула»*. Здесь же мы сфокусируемся на работе белков — молекулярных инструментах оптогенетики.

Светочувствительные белки

В природе разнообразие белков-транспортеров (опсинов) действительно велико. Ими обзавелись различные бактерии, археи, простейшие и даже вирусы. Кому-то такие белки нужны, чтобы вырабатывать энергию. Например, солеустойчивые (галофильные) археи Halobacterium halobium пользуются своей мембраной буквально как солнечной батарейкой. В начале 1970-х годов у этих микроорганизмов был обнаружен белок бактериородопсин, который под действием света выкачивает протоны наружу клетки, и созданная таким образом разность потенциалов на мембране используется клеткой для синтеза АТФ [1, 2]. Вскоре после открытия бактериородопсина были обнаружены еще два сенсорных родопсина (известные также как медленные родопсины) в другой галофильной архее H.saliпатит [3, 4]. Кроме того, в ней был найден еще и четвертый родопсин (галородопсин), который функционирует как хлоридный насос [5, 6].

Другие археи-экстремалы, живущие в щелочных водоемах, чтобы как-то существовать, тоже

завели у себя специальный белок — ксенородопсин, который при поглощении фотона закачивает внутрь клетки протон, поддерживая кислотнощелочной баланс в цитоплазме. В 2013 г. японские ученые обнаружили у бактерий *Krokinobacter eikastus* новый микробный родопсин, выкачивающий натрий из клетки, — KR2 (от *K.eikastus* rhodopsin 2) [7, 8].

У некоторых простейших светочувствительные белки «настроены» на синий/фиолетовый спектр. Каскадом химических реакций они связаны с работой жгутиков клеток, что позволяет организмам уплывать от губительного действия коротковолнового (фиолетового-ультрафиолетового) излучения. У человека тоже есть светочувствительные белки: к примеру, в палочках сетчатки глаза находятся родопсины, которые отвечают за восприятие света [9].

Классические оптогенетические инструменты — галородопсин, археародопсин и канальный родопсин (рис.1) [10]. Галородопсин и археародопсин используются для деактивации нейронов, они блокируют передачу нервного импульса. Под действием света галородопсин переносит отрицательно заряженные ионы хлора внутрь клетки, тем самым вызывая гиперполяризацию нейрона. Археародопсин выкачивает протоны из клетки, что, естественно, также гиперполяризует нейрон. И галородопсин, и археародопсин — это так называемые насосы, помпы. Если вокруг есть нужный им ион (а он есть почти всегда), то, поглотив квант света, эти белки активно перенесут ион с одной стороны мембраны на другую.

Канальный родопсин в настоящее время широко используют для активации электровозбудимых клеток. Он долгое время оставался единственным белком, способным на это. Канальный родопсин позволяет положительным ионам перетекать из области с их большей концентрацией в область с меньшей. Из внеклеточного пространства внутрь клетки идет поток ионов натрия, и нейрон возбуждается.

Несмотря на то, что три классических белкатранспортера в принципе решают задачи активации и деактивации электровозбудимых клеток, у каждого из них есть свои преимущества и недостатки. Например, галородопсин недостаточно быстро переносит ионы хлора, а археародопсин в своей работе использует протоны и меняет кислотность среды вокруг нейрона, отчего клетка может начать чувствовать себя неважно. Канальный родопсин — замечательный инструмент, но переносит ионы только пассивно: ему нужна разность концентраций ионов, чтобы все работало. Кроме этого, канальный родопсин не избирателен к ионам и эффективен, только если его освещать синим или фиолетовым светом, а такое коротко-

^{*} https://biomolecula.ru/articles/svetlaia-golova

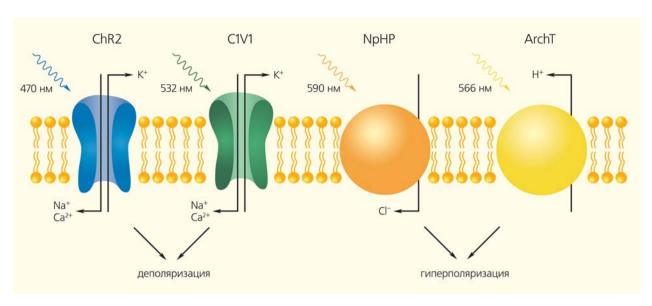


Рис.1. Принципы работы классических оптогенетических инструментов: канального родопсина (ChR2) и химеры двух канальных родопсинов (C1V1), галородопсина (NpHP) и протонного насоса (археародопсина, ArchT) [10]. Перенос ионов натрия внутрь клетки, обусловленный канальным родопсином 2, приводит к деполяризации, а перенос ионов хлора галородопсином или протонов археародопсином — к гиперполяризации клетки.

волновое излучение очень неглубоко проникает в ткани (рис.2). Это ограничивает возможность применения белка, если интересующий нас участок мозга или мышцы находится глубоко. Именно поэтому во множестве лабораторий не прекращается поиск, разработка и оптимизация оптогенетических инструментов нового поколения.

Оптогенетические инструменты будущего

В последнее время существенно изменили и подстроили параметры работы популярного канального родопсина: с помощью направленного введения мутаций можно получить его аналоги, более быстрые и специфичные к ионам кальция, и с оптимумом работы, сдвинутым в более длинноволновую часть спектра.

Исследование баз данных белков и организмов позволяет отыскивать новые белки-транспортеры, пригодные для нужд оптогенетики. Каждая из этих находок ценна по-своему. Открытые анионные канальные родопсины [11] позволяют деактивировать нейроны, создавая поток отрицательных зарядов внутрь клетки. Химерный белок, состоящий из фоточувствительной части и вирусного калиевого канала [12], может деактивировать нейро-



Рис.2. Проникновение света разного спектра в ткани (www.sos.siena.edu). Для практического применения оптогенетики важно иметь возможность облучать клетки в глубине тканей. Видно, что красный свет может просветить ткани глубоко, в то время как синий свет не может проникнуть даже на толщину пальца.

ны, пропуская ионы калия из цитоплазмы во внеклеточное пространство.

В 2015 г. нам с коллегами удалось закристаллизовать белок KR2, открытый несколько лет назад японскими учеными [7, 8], определить его структуру в различных функциональных состояниях и разобраться в механизмах и условиях работы этого натриевого насоса (рис.3) [13]. Оказалось, что у KR2 есть полость, отвечающая за из-

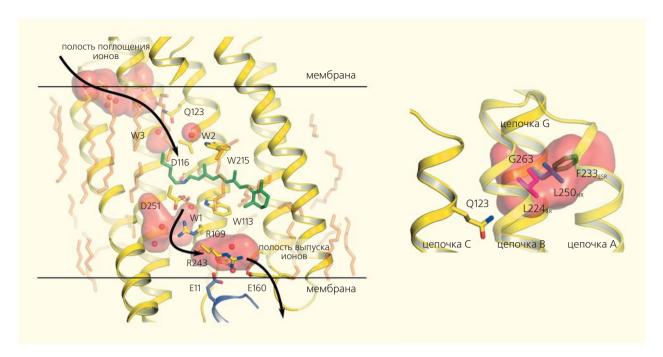


Рис.3. Структура натриевого насоса KR2 [13]. Стрелками указан путь иона натрия при прокачивании. Роль селективного фильтра выполняет полость, которая показана слева вверху (на структуре, где захватывается ион) и справа (отдельно, в увеличенном виде). Разными цветами отмечены мутации, которые мы перебирали, чтобы добиться превращения натриевого насоса в калиевый. Корректная и понятная визуалиация кристаллических структур требует опыта и навыков работы в специальных программах. Изображения структур охарактеризованных нами белков (рис.3—5) были подготовлены моими коллегами И.Ю.Гущиным и К.В.Ковалевым.

бирательность иона, который будет перенесен. И внеся в белок мутации, затрагивающие эту полость, нам удалось получить модификацию белка, которая прокачивает ионы калия [8, 13]. А ведь именно на паре ионов натрия/калия работают собственные клеточные белки, ответственные за прохождение нервного импульса. Таким образом, на основе полученных данных мы смогли создать более естественный, физиологический оптогенетический инструмент. Это пример того, как человек, используя свои знания и воображение, может подстраивать под собственные нужды то, что придумала природа.

Наша группа включает в себя тех, кто может произвести белок в большом количестве, кто имеет большой опыт в кристаллизации мембранных белков (а это очень непростая задача) и кто умеет определять структуру белка, получив данные рентгеновской дифракции. Затем мы анализируем полученную информацию и проводим дальнейшие эксперименты с модификациями белка. Новые функции мутантных форм исследуем электрофизиологически, методом локальной фиксации потенциала. Финальным аккордом мы стараемся продемонстрировать применимость изученного белка в нервных клетках.

В 2017 г. мы фактически бросили вызов монополисту — канальному родопсину, открыв протонный насос, переносящий протоны внутрь клетки [14]. Чтобы его найти, было исследовано мно-

жество таких родопсинов, чья функция была еще неизвестна. Изучая разные микроорганизмы, мы старались найти те, которые живут в каких-то экзотических условиях. Пришлось перебрать с десяток кандидатов, прежде чем удалось найти тот, который давал бы надежду на дальнейшее практическое применение. Наш протонный насос относится к семейству ксенородопсинов, а обнаружен он был в крошечных археях (наногалоархеях), которые обитают в щелочных водоемах. Мы считаем, что эти организмы используют белок для поддержания гомеостаза, преодолевая негативное действие окружающей среды. Ксенородопсины эффективно работают, поглощая красный свет, что позволяет использовать их глубоко в тканях. Поэтому мы смело утверждаем, что открытые белки могут составить достойную конкуренцию канальному родопсину.

Ксенородопсины переносят протон достаточно быстро, и уже через 2.5 мс готовы перенести следующий протон. Фактически это означает, что белок может возбуждать человеческие нейроны с максимальной скоростью. Ксенородопсины способны занять нишу работы с мышечными клетками. Дело в том, что мышечные клетки очень чувствительны к транспорту кальция, поэтому при работе с мышцами хотелось бы избежать его переноса, чего не может обеспечить канальный родопсин, так как он неселективен (см. рис.1). А ксенородопсины могут.

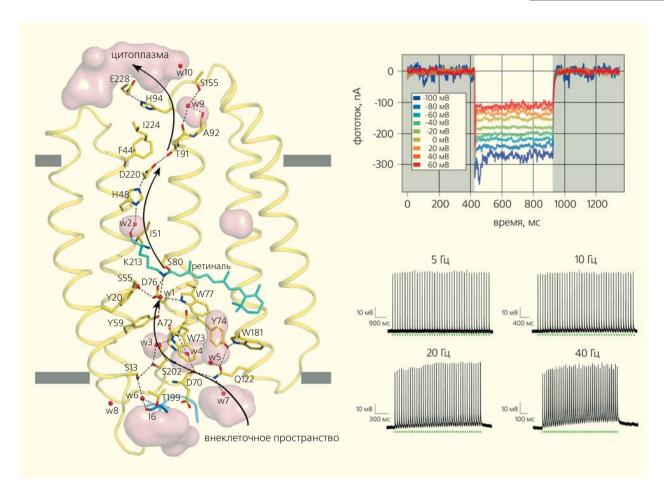


Рис.4. Ксенородопсин и его работа. Слева — кристаллическая структура обратного протонного насоса — ксенородопсина. Справа вверху — наличие тока внутрь клеток НЕК293 при различных напряжениях, приложенных к клетке, внизу — возбуждаемые потенциалы действия при облучении нейронов световыми импульсами, повторяющимися с разной частотой [14].

Как и в случае с натриевым насосом, нам удалось определить структуру ксенородопсина (рис.4, слева) и понять механизм переноса протона. Многие исследователи, которые работают в области фотоактивных белков, были очень удивлены тому, что такой белок мог найтись в природе. Широко распространено мнение, что перенос протонов через мембрану подобных микроорганизмов в первую очередь обеспечивает клетку энергией. А поведение ксенородопосина не вписывалось в эту картину. В связи с этим мы специально показали на модельных клетках НЕК293, что есть ток внутрь (см. рис.4, справа сверху), причем направление тока оставалось тем же, даже если к клетке приложить удерживающее напряжение. Ксенородопсины способны насильно вкачивать протоны в цитоплазму. В этой же работе мы поставили восклицательный знак, на деле показав, что белок может возбуждать нейроны с высокой частотой (см. рис.4, справа снизу).

Наконец, в апреле текущего года мы подробно описали, как работает натриевый насос KR2 в физиологических условиях [15]. Мы — это международная группа ученых из Центра исследований

молекулярных механизмов старения и возрастных заболеваний Московского физико-технического института (Россия), Института структурной биологии Гренобльского университета и Европейского ускорительного комплекса в Гренобле (Франция), Института комплексных систем Исследовательского центра Юлиха (Германия), Института кристаллографии Рейнско-Вестфальского технического университета и Института Макса Планка (Германия).

В результате работы выяснилось, что для функционирования белка ему необходимо собираться в пентамеры — структуры, состоящие из пяти субъединиц белка (рис.5). Более того, исходя из данных спектроскопических измерений, все субъединицы находятся в разных состояниях, что весьма необычно. Необходимость в таком исследовании возникла потому, что несколько групп ученых опубликовали данные, в которых кристаллические структуры важного для прикладных исследований белка имели различия, которые нужно было объяснить. Оказалось, что многообразие структур КR2 связано с тем, что авторы публикаций изучали новый белок не в совсем идентичных условиях. На-

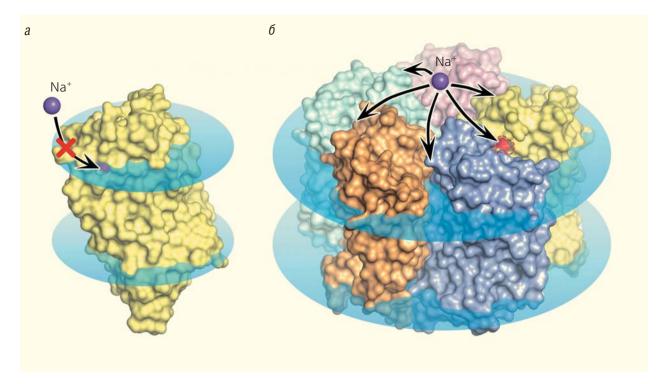


Рис.5. Белок-родопсин KR2, внедренный в клеточную мембрану (изображена в виде голубых дисков), пропускает либо блокирует ионы натрия [15]. В мономерном состоянии (а) транспорт Na⁺ заблокирован (красный крест). Чтобы ионы натрия могли проникнуть в клетку, KR2 белку необходимо собираться в пентамер (б). Красным цветом выделена пора.

помню, что микроорганизм, синтезирующий белок с уникальными свойствами натриевого насоса, обитает в океане, где концентрация NaCl составляет примерно 500 мM и pH - около 8. Только в этих условиях KR2 качает ионы натрия, формируя при этом пентамеры в мембране клеток, а при низком рН этот белок действует как протонный насос. Разнообразные «ложные» структуры белка, вероятно, либо оказались артефактами кристаллизации, либо изучались в ненадлежащих условиях. Смоделировав физиологические условия функционирования KR2, мы в результате описали его подлинную структуру. Понимание механизма работы родопсина KR2 важно не только для фундаментальных исследований работы нервной системы живых организмов, но и для медицинской практики — для дальнейшего рационального мутагенеза и создания новых инструментов оптогенетики.

* * *

Исследования мозга и минимально инвазивная терапия заболеваний, связанных с нервной системой, продолжают и продолжат быть актуальными в течение XXI в. Оптогенетика и ее инструменты — молекулярные машины и белки-транспортеры — дадут возможность улучшить качество жизни лю-

дей с перманентными болевыми синдромами, нейродегенеративными возрастными заболеваниями, помогут частично восстановить зрение [16, 17] и слух, а возможно, и мышечные дисфункции. Фундаментальные исследования, поиск и рациональная модификация белков будут лежать в основе успеха оптогенетических подходов в терапии.

С момента публикации работы о ксенородопсинах были предприняты попытки использовать его в оптогенетических кохлеарных имплантах — устройствах, компенсирующих потерю слуха [18, 19]. Поскольку ксенородопсин способен возбуждать нервные клетки с очень высокой частотой (она скорее определяется уже не свойствами белка, а скоростью возбуждения и релаксации нейронов), можно управлять нейронами улитки уха с высоким временным разрешением. Данная техника может составить конкуренцию электронным имплантам, у которых низкое пространственное разрешение возбуждаемых нейронов. Безусловно, использование оптогенетических инструментов в медицинских приложениях не за горами. Однако требуется решить важный вопрос, связанный с допустимостью применения генной терапии, когда для помощи пациенту потребуется вмешательство в его клетки на генетическом уровне.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научного-технологического комплекса» (проекты 14.587.21.0011 323, RFMEFI58715X0011), а также Российским фондом фундаментальных исследований (проект 19-52-15017).

Литература / References

- 1. *Oesterhelt D., Stoeckenius W.* Rhodopsin-like protein from the purple membrane of *Halobacterium halobium*. Nat. New Biol. 1971; 233: 149–152. Doi:10.1038/newbio233149a0.
- 2. Racker E., Stoeckenius W. Reconstitution of purple membrane vesicles catalyzing light-driven proton uptake and adenosine triphosphate formation. J. Biol. Chem. 1974; 249: 662–663.
- 3. *Hildebrand E., Dencher N.* Two photosystems controlling behavioural responses of *Halobacterium halobium*. Nature. 1975; 257: 46–48. Doi:10.1038/257046a0.
- 4. *Takahashi T., Tomioka H., Kamo N., Kobatake Y.* A photosystem other than PS370 also mediates the negative phototaxis of *Halobacterium halobium*. FEMS Microbiol. Lett. 1985; 28: 161–164. Doi:10.1111/j.1574-6968.1985.tb00784.x.
- 5. *Matsuno-Yagi A., Mukohata Y.* Two possible roles of bacteriorhodopsin; a comparative study of strains of *Halobacterium halobium* differing in pigmentation. Biochem. Biophys. Res. Commun. 1977; 78(1): 237–243. Doi:10.1016/0006-291X(77)91245-1.
- 6. Schobert B., Lanyi J.K. Halorhodopsin is a light-driven chloride pump. J. Biol. Chem. 1982; 257(17): 10306–10313.
- 7. *Inoue K., Ono H., Abe-Yoshizumi R. et al.* A light-driven sodium ion pump in marine bacteria. Nat. Commun. 2013; 4: 1678. Doi:10.1038/ncomms2689.
- 8. *Kato H.E., Inoue K., Abe-Yoshizumi R. et. al.* Structural basis for Na⁺ transport mechanism by a light-driven Na⁺ pump. Nature. 2015; 521, 48–53; Doi:10.1038/nature14322.
- 9. *Fotiadis D., Liang Y., Filipek S. et al.* Atomic-force microscopy: Rhodopsin dimers in native disc membranes. Nature. 2003. 421: 127–128. Doi:10.1038/421127a.
- 10. *Sizemore R.J.*, *Seeger-Armbruster S.*, *Hughes S.M.*, *Parr-Brownlie L.C.* Viral vector-based tools advance knowledge of basal ganglia anatomy and physiology. J. Neurophysiol. 2016; 115(3): 2124–2146. Doi:10.1152/jn.01131.2015.
- 11. *Govorunova E.G., Sineshchekov O.A., Janz R. et. al.* Natural light-gated anion channels: A family of microbial rhodopsins for advanced optogenetics. Science. 2015; 349(6248): 647–650. Doi:10.1126/science.aaa7484.
- 12. Cosentino C., Alberio L., Gazzarrini S. et al. Engineering of a light-gated potassium channel. Science. 2015; 348(6225): 707–710. Doi:10.1126/science.aaa2787.
- 13. *Gushchin I., Shevchenko V., Polovinkin V. et al.* Crystal structure of a light-driven sodium pump. Nat. Struct. Mol. Biol. 2015; 22(5):390–395. Doi:10.1038/nsmb.3002.
- 14. *Shevchenko V., Mager T., Kovalev K. et al.* Inward H⁺ pump xenorhodopsin: Mechanism and alternative optogenetic approach. Sci. Adv. 2017. 3(9): e1603187. Doi:10.1126/sciadv.1603187.
- 15. *Kovalev K., Polovinkin V., Gushchin I. et al.* Structure and mechanisms of sodium-pumping KR2 rhodopsin. Sci. Adv. 2019; 5(4): eaav2671. Doi:10.1126/sciadv.aav2671.
- 16. *Suzuki K., Tsunekawa Y., Hernandez-Benitez R. et. al.* In vivo genome editing via CRISPR/Cas9 mediated homology-independent targeted integration. Nature. 2016. 540, 144–149. Doi:10.1038/nature20565.
- 17. *Nandrot E.F., Silva K.E., Scelfo C., Finnemann S.C.* Retinal pigment epithelial cells use a MerTK-dependent mechanism to limit the phagocytic particle binding activity of 6vB5 integrin. Biology of the Cell. 2012; 104(8): 326–341. Doi:10.1111/boc.201100076.
- 18. Wrobel Ch., Dieter A., Huet A. et. al. Optogenetic stimulation of cochlear neurons activates the auditory pathway and restores auditory-driven behavior in deaf adult gerbils. Sci. Transl. Med. 2018; 10(448): eaao0540. Doi:10.1126/scitranslmed.aao0540.
- 19. *Dieter A., Duque-Afonso C.J., Rankovic V. et. al.* Near physiological spectral selectivity of cochlear optogenetics. Nat. Commun. 2019; 10(1): 1962. Doi:10.1038/s41467-019-09980-7.

Future Optogenetic Tools, or How to Control the Brain with Light

V.A.Shevchenko^{1,2,3}

¹Moscow Institute of Physics and Technology (Dolgoprudny, Russia)

²Institute of Complex Systems: Structural Biochemistry, Research Centre Jülich (Jülich, Germany)

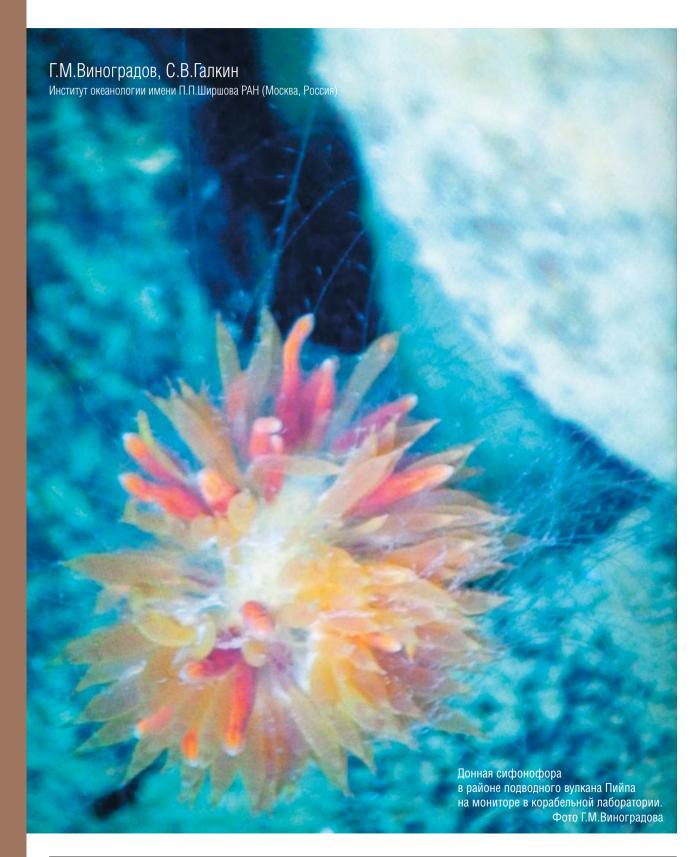
³Institute of Crystallography, RWTH Aachen University (Aachen, Germany)

Optogenetics is a modern technique that allows to manipulate nerve and muscle cells with light by activation or blocking the information transmission pathways. Light-driven proteins are introduced in neurons or muscle cells, and they allow to induce or block the nerve impulse or contraction/relaxation of muscles. A number of new optogenetic tools have been described recently. They include sodium pumping KR2 and xenorhodopsins. Applications of these proteins could improve the life quality of people with pain syndrome, age-related neurodegenerative diseases, partially recover vision and hearing.

Keywords: optogenetics, structural biology, electrophysiology, rhodopsin.

10

Бентосные сифонофоры подводного вулкана Пийпа



© Виноградов Г.М., Галкин С.В., 2019 DOI:10.7868/S0032874X19050028

Новая, неизвестная для науки бентосная сифонофора семейства Rhodaliidae была обнаружена в Беринговом море на массиве Вулканологов во время работ с телеуправляемым подводным аппаратом «Команч» на без малого двухкилометровой глубине. Это первая находка из российских вод и с таких глубин северной Пацифики. Изредка таких животных добывают донными тралами, но в большинстве случаев о сифонофорах становится известно именно благодаря подводным аппаратам.

Ключевые слова: бентосная сифонофора, Rhodaliidae, телеуправляемый подводный аппарат, Берингово море.

ифонофоры — колониальные гидроидные кишечнополостные типа Cnidaria — обычный компонент океанического макропланктона. Их колонии, достигающие порой нескольких метров в длину, можно встретить на всех глубинах столба воды. Вместе с медузами они составляют основу желетелого планктона, который недостаточно хорошо изучен, ибо нежные организмы легко распадаются в орудиях лова. Однако его биомасса, по данным прямых подсчетов из глубоководных аппаратов, может достигать 90% сырого веса зоопланктона в целом [1].

Колонии сифонофор устроены довольно сложно. На плаву их поддерживает поплавок-пневматофор — видоизмененный передний конец колонии, содер-

жащий газовую полость; за ним идет нектосома пояс зооидов, превратившихся в плавательные колокола-нектофоры. Сокращаясь, нектофоры обеспечивают движение колонии. Ниже на стволе располагаются многочисленные особи, обеспечивающие захват добычи и питание колонии. Они довольно разнообразны и специализированы. Некоторые из них преобразовались в защитные крышечки, другие отвечают за охоту и имеют ловчие нити (арканчики), иногда достигающие 10 м в длину, третьи лишены ротового отверстия и занимаются перевариванием пищи, четвертые ответственны за выделение... Кроме того, на стволе колонии находятся видоизмененные медузы (гонофоры), продуцирующие половые клетки. Полый ствол соединяет кишечные полости всех особей, входящих в состав колонии, обеспечивая доставку к ним питательных веществ. Всего описано около 160 видов сифонофор, и большое их количество, вероятно, остается еще неизвестным науке.

Казалось бы, перед нами организм, идеально приспособленный под планктонное существование. И тем удивительнее то, что некоторые сифонофоры



Виноградов Георгий Михайлович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН. 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



Галкин Сергей Владимирович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник того же института. 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

демонстрируют явную тенденцию к возвращению к донному образу жизни*. Выражается это по-разному. Так, 27 июля 2014 г. необитаемый подводный аппарат «Hercules», обследовавший в рамках проекта Nautilus Live дно Мексиканского залива, наткнулся на потрясающую сифонофору неизвестного вида. Плотная коренастая колония, заметно более мощная, чем привычные грацильные колонии сифонофор, встречаемые в толще воды, плыла вдоль самого дна, причем ее питающиеся зооиды были ориентированы именно на обшаривание его поверхности [4]. Сифонофора явно была приспособлена к существованию в придонном слое (что, кстати, сильно уменьшает шансы на поимку подобного экземпляра, оказывающегося «не своим» и для пелагических, и для бентосных орудий лова). Но некоторые пошли еще дальше...

Когда в практику биоокеанологических исследований вошли подводные аппараты, с них были замечены странные рыжеватые шарики, висящие на сеточке тонких нитей у морского дна. Аппараты

^{*} Впрочем, среди желетелых они в этом не одиноки — вспомним хотя бы вторично бентосных медуз-люцернарий.

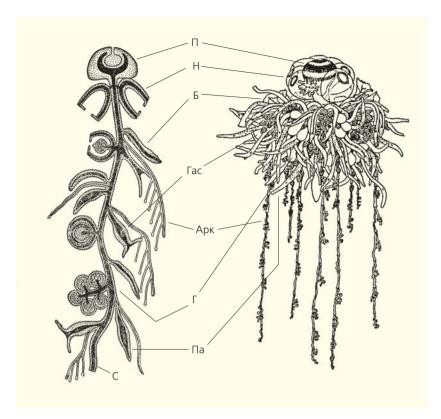


Схема строения «обычной» сифонофоры (по Н.А.Холодковскому [2]) в сравнении с «укороченной» донной сифонофорой-родалиидой (*Archangelopsis jagoa*, по [3]). П — пневматофор, Н — нектофоры, Б — брактеи (защитные крышечки), Гас — питающиеся гастрозооиды, Арк — щупальца-арканчики, Γ — гонофор (половая особь), Па — пальпон (выделительный полип), С — ствол колонии. У родалиид ствол укорочен и не заметен под зооидами.

использовались в первую очередь для изучения гидротермальных полей, и шарики эти, прозванные «морскими одуванчиками», в первые разы были замечены в 1977 г. возле гидротерм Галапагосского рифта, так что поначалу их звали даже «галапагосскими одуванчиками» (англ. Galapagos Dandelion) [5]. Впрочем, добыты они тогда не были. С систематическим положением «одуванчиков» уда-

Кадр из фильма, опубликованного 30 июня 2014 г. на сайте Deep Sea News. Колония сифонофоры неизвестного вида на дне Мексиканского залива [4].

лось разобраться позже, а сначала вообще было непонятно, к кому их относить. Рассматривались даже предположения, что это такие колонии простейших. В конце концов «одуванчики» были подняты со дна глубоководным аппаратом «Алвин», и тогда оказалось, что это сифонофора, но только с укороченным стволом, из-за чего все ее зооиды сблизились и сбились в плотный комок. На том материале П.Р.Паг описал род и вид бентосных сифонофор семейства Rhodaliidae — Thermopalia taraхаса [6]. Интересно, что в видовом названии отражено сходство этой сифонофоры с настоящими одуванчиками - многолетними травянистыми растениями рода Тагахасит.

Удивительно, но оказалось, что «одуванчики» знакомы зоологам уже целый век! Правда, до того им приходилось иметь дело с обрывками колоний, попавших в бентосные тралы. Легко представить, в каком виде нежные желетелые, оказавшиеся в жерновах зацепленных тралом камней, достигали поверх-

ности... Первые родалииды были найдены в сборах «Челленджера» (1874 г.) и «Альбатроса» (1883 г.), последние и были впервые описаны в 1986 г. Дж.У.Фьюксом [7] под именем Angelopsis globosa. Материал «Челленджера» (с другими видами родалиид) был опубликован два года спустя Э.Геккелем, который даже по имевшимся фрагментам предположил, что эти сифонофоры могут вести бентосный

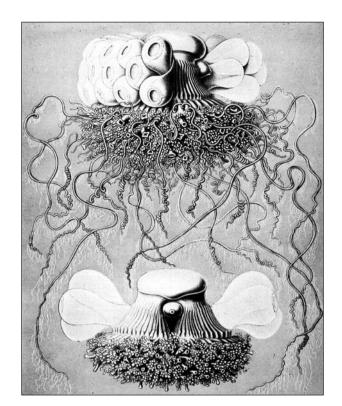
образ жизни [8]. Позже из тралов были описаны еще несколько видов родалиид.

Как непросто бывает верно трактовать принесенные тралом обрывки, показывает недавний случай с еще одной знаменитой родалиидой — Dendrogramma enigmatica. В тралах были найдены несколько оборвавшихся фрагментов их колоний (а именно, отдельные зооидыбракты, трансформировавшиеся в кроющие защитные пластинки), которые и были описаны в 2014 г. как новый род и вид [9]. Но вот как фрагменты сифоно-

форы они тогда опознаны не были, и в статье упоминались как организм неясного систематического положения, возможно, сходный с животными ископаемой Эдиакарской фауны (что вызвало в научном сообществе немалый переполох). И только позже, на новом материале и с применением молекулярно-генетических методов исследования, была установлена истинная систематическая принадлежность дендрограмм [10].

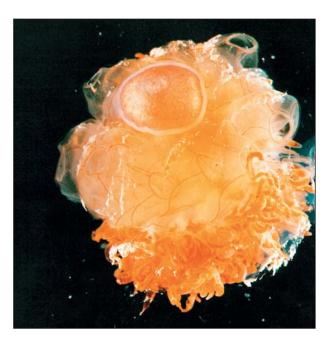
Всего в наши дни известно полтора десятка видов родалиид, многие из которых описаны по считанным экземплярам. И, если не считать казуса с дендрограммой, родалиид в последние годы наблюдают и, если удается, собирают именно с помощью подводных аппаратов. Был, правда, еще один случай, когда в водах Папуа — Новой Гвинеи выбравшаяся на нетипично малую для этой группы 26-метровую глубину родалиида была заснята аквалангистом-любителем [11], но погоды это не делает. Так что не удивительно, что первая родалиида, найденная в российских водах, была обнаружена тоже с помощью подводного аппарата, телеуправляемого «Comanche 18» Национального научного центра морской биологии имени А.В.Жирмунского ДВО РАН (далее — «Команч»).

Летом 2016 г. по искрящейся, успокоившейся после недавнего ветра глади Берингова моря медленно перемещалось судно «Академик М.А.Лаврентьев». На его кормовой П-образной раме ссорилось несколько красноногих говорушек, небольших изящных и шумных чаек, живущих только здесь, на виднеющихся на горизонте Командорских о-вах, да еще на соседних островах Прибылова. Под П-рамой мерно поскрипывал большой блок, с которого в холодную воду уходил натяну-

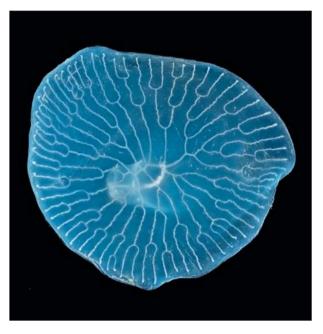


Схемотическое изображение сифонофоры *Rhodalia miranda*, описанной Э.Геккелем по фрагментам из материалов, которые были собраны «Челленджером» [8].

тый кабель-трос. Четырьмя километрами ниже на нем крепилась большая железная коробка-депрессор, от которой куда-то вбок убегал уже мягкий желтый кабель. Кабель шевелился. Его перемещал ползающий у дна, у подножия исполинского склона, большой телеуправляемый аппарат «Команч», снабженный прожекторами, манипуляторами,



Морской «одуванчик» — Stepfalia corona [6].



Фрагмент родалииды Dendrogramma enigmatica [10].



Ночной спуск телеуправляемого подводного аппарата «Команч».

Здесь и далее фото Г.М.Виноградова

контейнером для образцов, фото- и телекамерами. Сигнал с телекамер убегал вверх, на судно, где в кормовой лаборатории собрались пилоты «Команча» и ученые-океанологи, вглядывающиеся в картинки на мониторах... Лебедка медленно наматывала уходящий к депрессору трос, приподнимая агрегат, и «Команч» скользил вверх по склону массива Вулканологов, протягивая маршрут от глубин Командорской котловины (4270 м) до вершины подводного вулкана Пийпа, венчающего массив (глубина 349 м). Вулкан Пийпа, лежащий примерно в 70 км к северо-востоку от о.Беринга, был найден в 1984 г. во время экспедиции НИС

«Вулканолог» Института вулканологии ДВО АН СССР. Это единственный известный в пределах акватории Камчатско-Командорского региона подводный вулкан с признаками современной активности и с гидротермальными источниками на его вершине.

И вот когда «Команч» одолел первые два километра подъема, на мониторах появилось изображение висящего в расщелине между камнями рыжего колобка... Родалииды были встречены только в узком диапазоне глубин, 1711–1914 м, на склоне массива Вулканологов (55°26.5′с.ш., 167°15.8′в.д.) и только в местах с преобладанием крупных камней и валунов. Всего в поле зрение телекамер аппарата попал десяток таких сифонофор. Воз-

можностей их собрать, увы, не было, но камеры высокого разрешения позволили сделать качественную фотосъемку и видеозаписи. Находка была тем более интересной, что на таких глубинах в северной части Тихого океана родалиид не находили никогда. Шестисантиметровые шарики колоний висели в расщелинах камней, заякорившись за них своими ловчими щупальцами, длиной 10-15 см. Многие десятки щупалец образовывали подобную паутине сеть между животными и камнями. Очень похоже, что она и функционировала аналогично паутине, не ограничиваясь прикрепительными функциями...

Позже эти съемки внимательно проанализировали специалисты [12]. Было установлено, что обнаруженные сифонофоры явно относятся к новому, неописанному пока роду и виду. Наиболее географически близка к ним оказалась находка Steleophysema aurophora в заливе Caraми в восточной Японии. Однако этот вид найден на относительно небольшой (450–500 м) глубине и, судя по опубликованным рисункам, сделанным сразу после поимки, пневматофор, каналы нектофоров и дистальные половины сифонов были ярко красными [6], в то время как у вида с вулкана Пийпа они бесцветные. Не похож новый вид и на других тихоокеанских родалиид, боль-



В кормовой лаборатории: пилоты «Команча» и ученые-океанологи вглядываются в картинки на мониторах.

шинство из которых к тому же обитают на значительно меньших глубинах. Более точный анализ (не говоря уже об описании нового вида) требует поднятого материала. Хочется верить, что однажды мы его получим.

Описанная находка лишний раз подтверждает огромную роль подводных аппаратов — и обитаемых, и телеуправляемых — в изучении обитателей

дна и придонного слоя. Они позволяют увидеть то, что иначе осталось бы неизвестным, в частности — «деликатных» животных, которые были бы неминуемо разрушены в забортных орудиях лова. И, конечно же, при работах в Беринговом море результаты наблюдений с «Команчем» отнюдь не сводились к описанной выше интереснейшей находке. Но это уже совершенно другая история...

Работа выполнена в рамках Госзадания (проект 0149-2019-0009).

Литература / References

- 1. *Vinogradov M.E.* Some problems of vertical distribution of meso- and macroplankton in the Ocean. Advances in Marine Biology. 1997; 32: 1–92. Doi:0.1016/S0065-2881(08)60015-2.
- 2. Догель В.А. Зоология беспозвоночных. М., 1981. [Dogel V.A. Invertebrate zoology. Moscow, 1981. (In Russ).]
- 3. *Hissmann K., Schauer J., Pugh P.R. Archangelopsis jagoa*, a new species of benthic siphonophore (Physonectae, Rhodaliidae) collected by submersible in the Red Sea. Oceanologica Acta. 1995; 18(6): 671–680.
- 4. *Helm R.R.* Amazing purple jelly sighting in the deep sea. Deep Sea News. 2014. Available at: http://www.deepseanews.com/2014/06/amazing-purple-jelly-sighting-in-the-deep-sea.
- 5. *Pugh P.R. Thermopalia taraxaca* Pugh 1983, Galapagos dandelion. Desbruyures D., Segonzac M., Bright M. (eds). Handbook of the deep-sea hydrothermal vent fauna. Second completely revised edition. Denisia, 2008; 18: 63.
- 6. *Pugh P.R.* Benthic siphonophores: a review of the family Rhodaliidae (Siphonophora, Physonectae). Phil. Trans. R. Soc. Lond. Series B. 1983; 301: 165–300. Doi:10.1098/rstb.1983.0025.
- 7. *Fewkes J.W.* Report on the medusae collected by the U.S.F.C. steamer Albatross, in the region of the Gulf Stream, in 1883–84. Report of United State Commissioner of Fish and Fisheries for 1884. 1886; 26: 927–980.
- 8. *Haeckel E.* Report on the Siphonophorae collected by H.M.S. Challenger during the years 1873–1876. Rep. Sci. Res. H.M.S. Challenger (Zool.). 1888; 28(77): 1–380.
- 9. *Just J., Kristensen R.M., Olesen J. Dendrogramma*, new genus, with two new non-bilaterian species from the marine bathyal of southeastern Australia (Animalia, Metazoa *incertae sedis*) with similarities to some medusoids from the Precambrian Ediacara. PLoS ONE. 2014; 9(9): 1–11. Doi:10.1371/journal.pone.0102976.
- 10. O'Hara T.D., Hugall A.F., MacIntosh H. et al. Dendrogramma is a siphonophore. Current Biology. 2016; 26(11): R445–R460. Doi:10.1016/j.cub.2016.04.051.
- 11. *Macko M.K.*, *Weydmann A.*, *Mapstone G.M.* A shallow-living benthic Rhodaliid siphonophore: citizen science discovery from Papua New Guinea. Zootaxa. 2017; 4324(1): 189–194. Doi:10.11646/zootaxa.4324.1.11.
- 12. Санамян К.Э., Санамян Н.П., Галкин С.В., Ивин В.В. Находка глубоководной донной сифонофоры (Siphonophorae: Physonectae: Rhodaliidae) в районе подводного вулкана Пийпа (северо-западная часть Тихого океана). Зоология беспозвоночных. 2018; 15(4): 323–332. [Sanamyan K.E., Sanamyan N.P., Galkin S.V., Ivin V.V. A record of deep-water benthic siphonophore (Siphonophorae: Physonectae: Rhodaliidae) in vicinity of submarine Piyp Volcano (North-Western Pacific). Invertebrate Zoology. 2018; 15(4): 323–332. (In Russ.).] Doi:10.15298/invertzool.15.4.01.

Benthic Siphonophores in Vicinity of Submarine Piyp Volcano

G.M.Vinogradov¹, S.V.Galkin¹

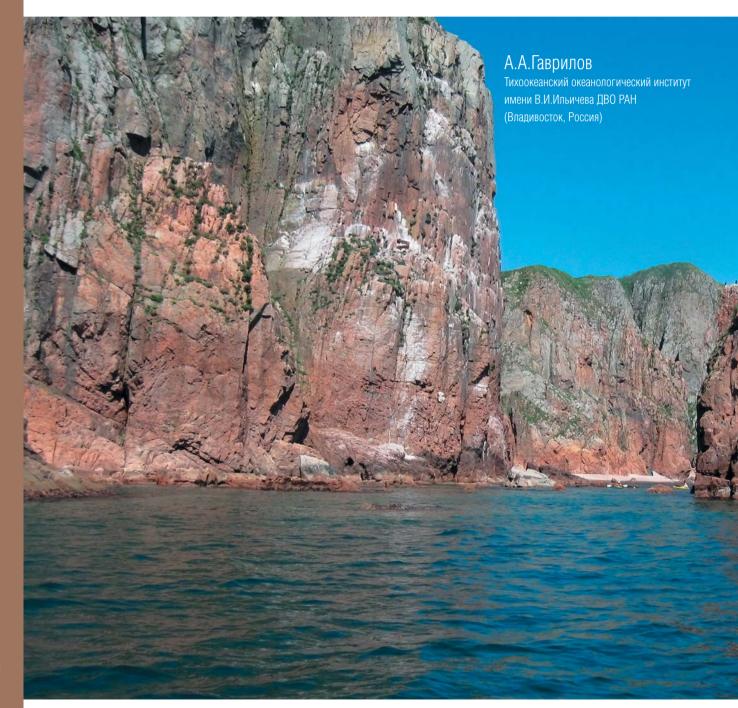
¹Shirshov Institute of Oceanology, RAS (Moscow, Russia)

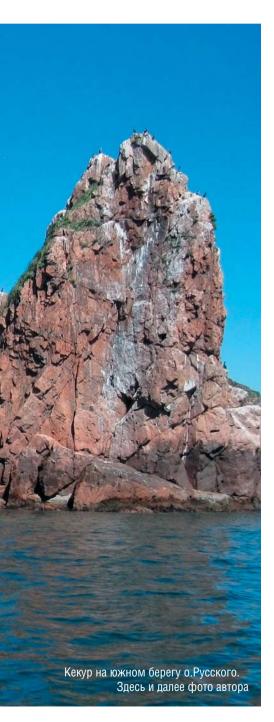
A new, unknown for science benthic siphonophore of the family Rhodaliidae was discovered in the Bering Sea on the Vulcanologov Massif during work with the remote operated vehicle, at a depth of almost two kilometers. These amazing animals are occasionally caught by bottom trawls, but most of them are known precisely from the finds made by the vehicles. This is the first find of these animals in Russian waters and on such depths of the North Pacific.

Keywords: benthic siphonophores, Rhodaliidae, remote operated vehicle, Bering Sea.

Влияние зон разрывных нарушений

на строение и развитие коренных берегов залива Петра Великого





На примере залива Петра Великого (Японское море) в Южном Приморье рассмотрены основные геолого-геоморфологические признаки зон разрывных нарушений в коренных берегах. Дано описание типичных ситуаций и отмечены наиболее важные факторы влияния разломов на ориентировку, морфологию, строение и развитие этих специфичных объектов. Разрывные нарушения представляют собой важнейшие элементы береговых геолого-геоморфологических систем, что необходимо учитывать как при анализе теоретических проблем морфогенеза (статические, геодинамические и ретроспективные модели) в полосе взаимодействия суши и акваторий, так и при решении практических задач по освоению прибрежных территорий.

Ключевые слова: разрывное нарушение, разлом, побережье, морфогенез, Японское море.



Александр Анатольевич Гаврилов, кандидат геологоминералогических наук, ведущий научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института имени В.И.Ильичева ДВО РАН. Область научных интересов — теоретическая, структурная геоморфология и геоморфология берегов, морфотектоника, морфоструктурно-металлогенический анализ, очаговая геодинамика.

e-mail: gavrilov@poi.dvo.ru

Разломам, или разрывным нарушениям, на территории юга Дальнего Востока и Южного Приморья принадлежит определяющая роль в контроле магматизма, рифто- и орогенеза, в формировании дизъюнктивных дислокаций и общей блоковой делимости литосферы, в гравитационном перемещении масс горных пород (оползней, обвалов и др.) и в реализации многих других геологических и геоморфологических процессов [1–5].

Особый интерес представляют эти структуры в береговых обрывах различных акваторий, где хорошая геологическая обнаженность и доступность открывают возможность их идентификации и детального изучения. Кроме того, целесообразно привлекать соответствующие данные по прилегающим прибрежным полигонам при использовании материалов аэрофото- и космических съемок в ходе геологосъемочных работ «закрытых» горно-таежных территорий Дальнего Востока [3].

Другой важный аспект исследований — определение влияния зон разломов на протекание абразионных, эрозионных, денудационных

и гравитационных процессов на сочленении суши и водных бассейнов [4]. Анализ приведенных в статье данных призван на примере Южного Приморья оценить геолого-геоморфологические, геодинамические характеристики разломов и установить их роль в формировании и развитии коренных берегов. Для решения этих задач в качестве полигона рассматривается северо-западное побережье Японского моря (залив Петра Великого). Актуальность подобных работ определяется всевозрастающим освоением прибрежных районов региона. В частности, это связано с реализацией таких крупных инженерных проектов, как мост на о.Русском, постройка океанариума и др. Выявление полного ансамбля дизъюнктивных дислокаций — необходимое условие адекватной оценки геодинамической опасности территорий [5].

Краткий геоморфологический и геологический очерк континентального побережья и островов

Берега залива Петра Великого относятся к риасовому типу (морские берега, изрезанные глубокими воронкообразными бухтами) [6]. Последняя крупная трансгрессия (Тихоокеанская) амплитудой более 120 м ознаменовалась подъемом моря до современного уровня. Она началась 18–17 тыс. лет назад и привела к затоплению предгорных впадинграбенов Амурского и Уссурийского заливов и речных долин восточных и южных склонов Сихотэ-Алинского горного хребта. Последующие (не столь масштабные) голоценовые регрессии и трансгрессии приводили к неоднократной трансформации

береговых линий. Следы речных долин отчетливо фиксируются по материалам непрерывного сейсмического профилирования и бурения на приморском участке шельфа Японского моря [7], а на континентальном побережье и островах отчетливо выражены террасы высотой 1.5 и 4 м [6, 8].

В геологическом строении побережья залива Петра Великого участвуют преимущественно вулканогенные, вулканогенно-осадочные и интрузивные породы позднепермского возраста, менее широко распространены триасовые, раннемеловые терригенные комплексы и кайнозойские осадочные образования. Позднепротерозойские (Партизанский блок), ранне- и позднемеловые гранитоиды и миоцен-плиоценовые базальтоиды развиты ограниченно. За пределами Шуфанского и Шкотовского плато, на западном побережье Амурского залива существует небольшая дискретная полоса вулканических построек и покровов, на акватории миоценовыми гиперстеновыми андезитами сложены острова Антипенко и Сибирякова [8].

По условиям залегания и соотношению с подстилающими образованиями (фундаментом) мезозойские стратифицированные толщи, которые расположены в пределах Лаоэлин-Гродековской тектонической зоны на западном побережье Амурского залива, на островах Аскольд, Путятин, Русский и на восточном побережье Уссурийского залива, образуют относительно слабодислоцированный структурный ярус. Последний сопоставим с чехлом эпигерцинской платформы (рис.1). По своей природе горные сооружения Южного Приморья относятся к дейтероорогенным поднятиям (возрожденным горам).



Рис.1. Горизонтально залегающие толщи нижнего и среднего триаса, образующие чехол эпигерцинской платформы (восточное побережье о.Русского, Южное Приморье).

Начиная с эоцена в пределах Восточной Азии происходила смена тектонического режима, обусловившая доминирование процессов деструктивного, рифтогенного тектогенеза, погружение окраин континента и формирование впадин окраинных морей. Опускание Япономорской котловины наиболее активно проходило в позднем олигоцене, миоцене и плиоцене [2, 3]. Эти процессы затронули континентальное побережье Приморья, способствуя формированию прогибов и грабенов, в том числе грабенов Амурского и Уссурийского заливов. На фоне опускания и постепенного затопления территории некоторые остаточные поднятия трансформировались в островные системы — фрагменты континентального побережья.

— (стрелки показывают сдвиги по ним)
— (сбросы
— Взбросо-надвиги
— 1 мм/год

твадивосток

о Голова

о Русский

о Рикорда

о Стенина

далив Петра Великого

о Большой Пелис

Рис.2. Системы разломов северо-западного побережья залива Петра Великого и структурная позиция архипелагов Императрицы Евгении (1) и Римского-Корсакова (2). Красные кружки — постоянные (большего размера) и временные стации GPS-мониторинга. Составил Н.В.Шестаков [8].

На неотектоническом этапе морфогенеза впадины и поднятия региона развивались дифференцированно, но в целом унаследованно. Гипсометрическая позиция ареалов позднемиоценовых галечни-

ков и песков суйфунской свиты на водоразделах п-ова Муравьева-Амурского свидетельствует о том, что амплитуда неотектонических положительных движений в пределах прибрежных морфоструктур не превышала 150-200 м [3]. Основные системы островов залива Петра Великого (архипелаги Римского-Корсакова и Императрицы Евгении) представляют собой реликты позднепалеозойской цепочки вулкано-плутонических купольных структур, которые активизировались в позднем мелу, а сейчас протягиваются с северо-востока на юго-запад через п-ов Муравьева-Амурского в акваторию, формируя небольшой подводный хребет (рис.2, 3). Магматические формы рельефа на островах демонстрируют удивительный пример унаследованного и чрезвычайно устойчивого во времени развития морфоструктур, связанных с очаговыми гранитоидными системами. Реликты мезозойских отложений плитного комплекса и сохранившиеся в небольшом количестве коры выветривания на гранитных массивах островов Попова и Русского указывают на то, что эти купольные сооружения (от-

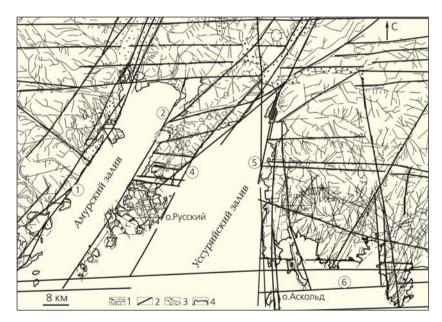


Рис.3. Схема линейных морфографических элементов и основных систем разломов побережья залива Петра Великого [7, 9]. 1 — спрямленные и дуговые участки долин водотоков и протяженные гипсометрические уступы, связанные с разрывными нарушениями; 2 — зоны крупных разломов, по геологическим данным и результатам дешифрирования космических снимков; 3 — ареалы рыхлых отложений в пределах прибрежных низменностей и речных долин, 4 — береговая линия. Цифры в кружках обозначают фрагменты трансрегиональных и региональных зон разломов: 1 — Уссурийско-Билякчанской, 2 — Береговой, 3 — Южно-Приморской, 4 — Артемовской, 5 — Аскольдовской, 6 — Посьетской.

носимые к фундаменту) ранее были погребены под платформенным чехлом.

Общая эволюция островной системы поднятий определяется следующей схемой: вулкано-плутонический хребет (P_2) — интрузивный горст (P_2) — погребенный горст (T_1 — K_1) — возрожденный горст (K_2) — остаточный горст (N_1) — ряд эксгумированных и отпрепарированных купольных и блоковых структур (N_2 — Q_{IV}).

Помимо архипелагов Императрицы Евгении (острова Русский, Попова, Рейнеке и др.) и Римского-Корсакова (острова Стенина, Большой Пелис и др.), в заливе Петра Великого выделяются еще два крупных острова — Аскольд и Путятина, расположенные восточнее, а также многочисленные более мелкие обособленные участки суши (см. рис.2, 3). Общее число островов в Южном Приморье составляет несколько десятков. Большинство из них представляют собой возвышающиеся над водой скальные массивы, расчлененные тектоническими процессами, абразией и эрозией. Высота рельефа островной суши варьирует от нескольких десятков до 360 метров, достигая максимальных значений на островах Русский (270-290 м), Аскольд и Путятина (340–360 м). Средняя глубина моря на прилегающем шельфе составляет 20-30 м. В зонах активного разрушения и размыва коренных берегов на островах широко распространены скальные бенчи, абразионные уступы, обрывы (клифы) и останцы — кекуры. Аккумулятивные берега с хорошо выраженными террасовыми уровнями приурочены, как правило, к бухтам и отдельным мысам. Они немногочисленны и наблюдаются обычно на крупных островах (Русском и Попова). Сосуществование островов в виде реликтов структурных элементов континентальной окраины и новообразованных вулканогенных форм — одна из характерных особенностей залива Петра Великого [7].

При геолого-съемочных и геофизических работах на территории Южного Приморья были выделены зоны крупных разрывных нарушений (Западно-Приморская, Партизанская, Центрально-Сихотэ-Алинская и др.) [1, 2], которые представляют собой длительно живущие каркасные элементы глубинного заложения. С 2008 г. сотрудники Института прикладной математики ДВО РАН проводят на островах залива Петра Великого исследования по оценке особенностей современной геодинамики на основе данных GPS-мониторинга. При выборе места расположения станций для спутниковых измерений на островах учитывались данные о региональной и локальной сетях разрывных нарушений и системах блоковых дислокаций (см. рис.2, 3). В результате удалось определить скорости изменения длин векторов между островными станциями и непрерывно действующим пунктом VLAD (Владивосток), который включен в Западно-Тихоокеанскую объединенную GPS-сеть (WING). Установлено, что за 2008–2011 гг. максимальные скорости смещений островных пунктов как относительно друг друга, так и относительно пункта VLAD не превышали 4–5 мм/год [9]. При последующих измерениях геодинамическая ситуация принципиально не менялась, за исключением событий, связанных с сильнейшим (магнитудой до 9.1) землетрясением Тохоку (у восточного побережья о.Хонсю в Японии) 11 марта 2011 г. В то время в Южном Приморье амплитуда единовременной подвижки составила 40.0 мм [10].

Участие разломов в рельефообразовании.

Роль разломов в формировании и развитии коренных берегов

Разрывные нарушения контролируют контур залива Петра Великого [3, 4, 8]. Гипсометрические уступы и полосы обрывистых относительно спрямленных берегов соотносятся с разрывными нарушениями. Такие особенности геоморфологического строения связаны с границами блоков, которые возникают при формировании наложенных грабенообразных впадин заливов в зоне перехода от южноприморского участка окраины Евро-Азиатского континента к котловине Японского моря (см. рис.3). Например, западный берег Амурского залива, несмотря на сложную конфигурацию и наличие многочисленных бухт, имеет общую северовосточную ориентировку, которая обусловлена системой разрывных нарушений. Последние представляют собой элементы Уссуро-Билякчанского трансрегионального разлома-линеамента, который протягивается на север вдоль долины Уссури до Амура и далее, по системе межгорных впадин, до Западного Приохотья [3]. Южный его сегмент на тектонических схемах Приморья соотносится с региональным Уссурийским разломом [1, 11]. В Южном Приморье с ним связано заложение долины р.Раздольной, ориентировка и ступенчатоблоковое строение сочленения отрогов Черногорского хребта и западного борта Амурского грабена, размещение локальных центров базальтоидного вулканизма. Яркой иллюстрацией прямого влияния этой зоны разрывных нарушений на простирание и морфологию коренных берегов служит протяженная полоса зеркал скольжения в районе мыса

тудой 4.4 и глубиной залегания очага 6 км [11]. Восточный берег Амурского залива более спрямлен и также ориентирован в северо-восточном направлении. На контакте структур п-ова Муравьева-Амурского и Амурского грабена проходит Береговой глубинный разлом, выраженный на схемах гравитационного поля зоной повышенных гра-

Угольного (рис.4). Именно здесь располагался эпи-

центр Приморского землетрясения 1955 г. с магни-

диентов [2, 3, 8]. На п-ове Птичьем (о.Попова) в полосе этого разлома я описал более 13 зон катаклаза, брекчирования, кливажа, которые имеют общую северовосточную ориентировку и разделены пластинами менее дислоцированных пород (целиков). Там же широко проявлены зеркала скольжения, следы смещения (взбросо- и сбрососдвиги) и гидротермальной деятельности, включая наличие рассеянной сульфидной минерализации. Общая мощность зоны аномально дислоцированных пород на этом участке превышает 1 км. Системы разрывных нарушений в береговых обрывах п-ова Птичьего геоморфологически выражены расщелинами и каньонами, в пределах которых наблюдаются каменные потоки — курумы. У основания обрывов и крутых

склонов на берегу широко распространены конусы выноса каменного материала, скальные выступы, уступы с дресвяно-глыбовыми осыпями.

Решающую роль в структурном контроле очертаний и ориентировки береговых линий Уссурийского залива играют Аскольдский и Муравьевский (Артемовский) разломы (см. рис.3). С Ас-

кольдским разрывным нарушением связана меридиональная ориентировка восточного берега залива и ряда речных долин, водоразделов и гипсометрических уступов прилегающей территории. Столь же отчетливо проявлен тектонический контроль береговой линии на западе Уссурийского залива. На фотоснимке (рис.5) представлен береговой скальный откос, совмещенный с плоскостью сместителя одного из разломов Муравьевской (Артемовской) зоны дизъюнктивных дислокаций северо-восточного простирания. Она определяет морфологию и ориентировку западного борта грабена залива. На заднем плане снимка видны два абразионных останца-кекура. Они соединяются скальной грядой, возникшей на месте отпрепарированной дайки.

Изучение тектонической трещиноватости и систем разломов



Рис.4. Зеркала скольжения и плоскости сместителей локальных разломов — элементов Уссурийско-Билякчанской (Уссурийской) региональной системы разрывных дислокаций. Западный берег Амурского залива (мыс Угольный).

во время полевых исследований и данные дешифрирования космических снимков подтверждают абразионно-тектоническую природу коренных берегов не только материковой суши, но и островов Попова, Рейнеке, Рикорда и др. Большинство из них имеют в плане форму полигональных удлиненных блоков, что обусловлено ориентировкой



Рис.5. Структурно обусловленный скальный откос на западном берегу Уссурийского залива.

ограничивающих их разрывных нарушений. Некоторые острова (Русский, Карамзина) сохранили изометричные контуры, в основе которых лежит первичная морфология интрузивно-купольных форм и каркасные дуговые и кольцевые системы дизъюнктивных дислокаций. Комбинация сквозных прямолинейных и радиально-концентрических разломов приводит к созданию на этих островах сложного рисунка блоковых морфоструктурных элементов. Типичные особенности строения крупных островов — наложенные грабены (бухты Новик, Рында на о.Русском, Алексеева на о. Попова и др.) [8].

Большое значение разломов в формировании и развитии береговых геолого-геоморфологических систем отчетливо проявлено и на локальном уровне. Их влияние на процессы морфогенеза побережий определяется многими факторами [4, 8]:

— участием региональной и локальных сетей разломов в строении и истории геологического раз-

- вития побережья;
 структурной и пространственной позициями береговых разломов, соотношением с другими
- дислокациями разного типа и ранга;
 морфологией, генетическими типами, временем формирования и активизации дизъюнктивов;
- ориентировкой разрывных нарушений относительно береговой линии и волнового фронта, углами падения плоскостей сместителя;
- плотностью тектонических трещин;
- мощностью и протяженностью зон разрывов и особенностями их внутреннего строения;
- физико-механическими свойствами пород, выполняющих и вмещающих зону разрывного нарушения;
- характером протекавших ранее в зоне разлома процессов (кливажа, будинажа, катаклаза, брекчирования, дробления и др.);
- интенсивностью и характером неотектонических и современных подвижек (геодинамикой);
- степенью обводненности зон разрывных нарушений, участием в транзите подземных и поверхностных вод.

Прямые и обратные связи разломов и береговых форм рельефа. Их изучение помогает решать не только геоморфологические, но и геологические задачи. Проведенные на берегах залива Петра Великого комплексные геолого-геоморфологические исследования позволяют выделить в береговой полосе такие объекты-индикаторы зон разломов, как расщелины, волноприбойные ниши, сбросообвалы, оползни, обрывы, гипсометрические уступы, осыпи, курумы, долины водотоков, ложбины стока, измененные дайки, кекуры, промоины, а также скальные откосы, совместимые с плоскостями сместителей и зеркалами скольжения (см. рис.4). Применение геоморфоло-

гической информации способствует уточнению параметрических, морфологических, генетических характеристик разрывных нарушений, определению типов и масштабов смещений и оценке степени их геодинамической активности.

Зоны дробления, кливажа, брекчирования, как правило, трассируют разрывные нарушения, возникшие в условиях сжатия со сдвиговой компонентой. С такими областями обычно сопряжены осыпи, курумы, тальвеги долин водотоков, участки разгрузки трещинных вод в береговых обрывах. Гипсометрические уступы в верхней части обрывов служат признаками взбросовых, взбросо-сдвиговых, а также сбросовых и сбросо-сдвиговых блоковых подвижек. Береговые обрывы и уступы в береговой полосе — типичные индикаторы сбросовых дислокаций. С ними ассоциируются обвалы, оползни, блоки, трещины отседания. Степень обводненности зон разрывных нарушений отражает уровень их проницаемости, обусловленной внутренним строением, соотношением с водосборными площадями и гидрогеологическими структурами.

При определении типов разрывных нарушений, характера и масштабов перемещений блоков и отдельных пластин большое значение имеют контрастные по составу и окраске геологические тела, а также формы рельефа, выполняющие роль маркеров (рис.6).

В качестве геолого-геоморфологических признаков активизации зон разрывных нарушений рассматриваются: присутствие в морских террасах дизъюнктивных дислокаций со следами подвижек; особенности пространственных соотношений разломов разных направлений; наличие тектонических смещений, литологических и геоморфологических реперов; структурный контроль и локализация обвалов, оползней, блоков и трещин отседания; существование подвижных осыпей, конусов выноса каменного материала; отсутствие почвенного слоя в зонах разломов; существование относительно молодых гипсометрических уступов в верхней части обрывов.

Нарушение почвенного горизонта. В климатических условиях Приморья почвенный горизонт образуется в интервале от нескольких десятков до 100 лет. Его нарушение и уничтожение в полосе разломов на склонах, вне выраженных тальвегов и ложбин стока, можно связать лишь с постоянным или периодическим обновлением и движением осыпей и курумов. Их возникновение обусловливают процессы дробления, катаклаза, милонитизации в зонах разрывных нарушений на границе перемещающихся пластин и блоков. Объемы пород в осыпях зависят от размеров разломных структур, интенсивности новейших тектонических подвижек, крутизны склонов и их сохранности. Учитывая особенности муссон-



Рис.6. Системы разломных и блоковых дислокаций на мысе Родионова (о.Путятина). Роль тектонических маркеров здесь играют залегающие субгоризонтально плоские тела (силлы) позднемеловых риолитов.

ного климата региона, величины захлеста волн во время сильных штормов и то, что уровень моря в позднем голоцене (около 3 тыс. лет назад) превышал существующий на 1.5 м, можно предположить относительно молодой возраст (не более нескольких десятков или сотен лет) осыпей и конусов выноса скальных пород, которые наблюдаются сейчас на берегах залива Петра Великого [6].

Без постоянного подновления они, как подвижные элементы ландшафта, давно бы прекратили свое существование. В качестве примера можно привести зону активных разрывных дислокаций в береговом обрыве пролива Старка, расположенного между островами Попова и Русским. Эта зона представляет собой элемент регионального Берегового разлома. В геологическом строении данного участка побережья принимает участие однородная толща окварцованных риолитов, риодацитов позднепермского возраста с признаками флюидальности. Здесь хорошо выражен гипсометрический уступ на водоразделе, мощный шлейф осыпей, сложенных мелкоземом, дресвой и глыбами

при отсутствии почвенного слоя и задернованности. Плоскости же сместителей других зон разломов, примыкающих к этому уступу, такими признаками не обладают [8].

Аналогичный по своим геолого-геоморфологическим характеристикам активный разлом наблюдается на восточном берегу о.Рейнеке (рис.7). На снимке видна водораздельная седловина в верх-



Рис.7. Активный разлом на восточном берегу о.Рейнеке, выраженный седловиной на водоразделе и шлейфом крупной осыпи.

ней части обрыва и крупная осыпь, трассирующая зону локального сбрососдвига. Масштаб и направленность перемещений блоков можно установить благодаря тектоническим маркерам, роль которых выполняют пластовые тела мелкозернистых гранитов, а также по расположению ложбин временных водотоков.

Масштабные сбросообвальные и оползневые дислокации — еще одни свидетельства современной и палеосейсмической активности на побережье. Они проявлены на п-ове Песчаном, островах Аскольда, Путятина, Сибирякова, Рикорда и на других участках скалистого побережья залива Петра Великого. На обнажениях обычно хорошо заметны вертикальные или крутонаклонные плоскости сбросов, расположенные вдоль береговой линии; нагромождения у подножия обрывов крупных блоков, глыб и обломков пород (рис.8). Их размеры, строение и расположение на удалении от мысов (где наиболее интенсивно проявлены абразионные процессы, а удары штормовых волн достигают максимума) указывают на их возможную сейсмотектоническую природу. Подобное заключение подтверждается данными дешифрирования космических снимков. Более детально вопросы выявления палеосейсмических дислокаций в пределах региона на основе геолого-геоморфологических признаков рассмотрены в работе А.В. и Н.А.Олейниковых [11].

Морфологические скульптуры. В большинстве случаев формирование в зонах разрывных нарушений волноприбойных ниш, расщелин и гротов обусловлено селективной абразией раздробленных и кливажированных пород, которые расположены перпендикулярно или под диагональными углами к береговой линии. Во время штор-

Рис. 8. Сбросообвал на о. Сибирякова.

мов эти формы заполняются турбулентными водными потоками, содержащими большое количество каменного материала. Последний играет главную абразивную роль. Получается эффект шаровой мельницы. При тихой же погоде у основания волноприбойных ниш сохраняются небольшие валунно-галечные, галечные или песчано-гравийные пляжи шириной несколько метров.

Формирование многих приразломных волноприбойных ниш и расщелин началось еще во время атлантического оптимума в голоцене (6-5 тыс. лет назад), когда уровень моря был выше современного примерно на 4-5 м. Подобная трансгрессия подтверждается не только существованием на многих островах залива Петра Великого морских цокольных и аккумулятивных террас, сложенных хорошо окатанным валунным и галечно-гравийным материалом, но и вертикальными параметрами абразионных форм. Разнообразные по геометрии и размерам, они широко развиты на скальных мысах и в пределах клифов островов Русский, Рейнеке и др. Влияние разломов на развитие береговых геолого-геоморфологических систем можно оценить с помощью реконструкций уровня моря и определения времени и условий образования таких морфоскульптурных элементов.

Наименее благоприятные условия для возникновения абразионных морфоскульптур существуют, когда плоскость скального откоса и, соответственно, сместителя разрывного нарушения ориентирована субпараллельно берегу, а угол его наклона к зеркалу воды стремится к развернутому. Иная ситуация возникает при крутом или нормальном падении плоскостей сместителей. Во-первых, существование серии разрывов, параллельных береговой линии, способствует образованию протя-

> женного пространственного ряда абразионных обрывов (клифов) и скальных откосов (см. рис.4, 5). Во-вторых, линейная абразия и формирование волноприбойных ниш в основании береговых обрывов содействуют оседанию, обрушению, оползанию блоков, пластин и неструктурированных масс горных пород. Обрывы максимально гравитационно неустойчивы, когда они наклонены к водному бассейну. Такая ситуация может создаваться как за счет ориентировки плоскостей сместителей разломов, так и за счет развития волноприбойных ниш. Ускоряет обрушение и оползание обводненность зон разрывных нарушений, которые обычно служат



Рис. 9. Система субпараллельных прибойных ниш и расщелин мыса Проходного (о.Попова) — индикатор крупной зоны разломов.

каналами разгрузки метеорных вод с прилегающих склонов. Тайфуны и шторма — благоприятные погодные факторы, усиливающие гравитационные процессы морфогенеза в береговой зоне Южного Приморья. Длительные дожди резко повышают водонасыщенность зон разломов и пород, а во время сильных штормов удары волн обусловливают возникновение мелкоамплитудных колебаний и вибрацию толщ горных пород на побережьях. Низкая гравитационная устойчивость особенно характерна для покровов эффузивов, залегающих на относительно рыхлом субстрате. Это наблюдается, например, на п-ове Песчаном (западный берег Амурского залива; см. рис.2), где под слоями базальтов обнажаются миоценовые пески и галечники суйфунской свиты. В историческое время там проявлялись оползневые процессы. На участках распространения покровов позднекайнозойских базальтоидов, в пределах западного побережья Татарского пролива, субпараллельные береговой полосе разломы способствуют обрушению и оседанию крупных пластин горных пород. Особенности строения и размеры (ширина — десятки, протяженность — многие сотни метров) таких сбросообвалов и сопряженность с региональными разрывными нарушениями позволяют рассматривать их как сейсмодислокации [1, 11].

Когда зоны разломов, сложенные раздробленными породами, перпендикулярны береговой линии, происходит их максимально быстрая трансформация в волноприбойные ниши, расщелины, гроты, выбоины, ложбины и в другие абразион-

ные формы. При количественной оценке и моделировании скорости подобных процессов необходимо учитывать и преобладающие ориентировки волнового фронта. Существование в береговом обрыве группы параллельных дизъюнктивных дислокаций — элементов зоны крупного разлома — обусловливает создание геометрически правильной системы волноприбойных расщелин. Их размещение подчиняется трансляционной симметрии. На литорали и на подводном склоне возникают относительно устойчивые к абразии ряды скальных гряд и межгрядовых ложбин и желобов, образованных по зонам относительно дезинтегрированных пород. Один из таких рядов расщелин и прибойных ниш отчетливо выражен на о.Попова (рис.9). Замеры элементов залегания превалирующих здесь разломов показали доминирование систем сбросо-сдвиговых дислокаций с азимутами падения 60-62° и углами падения 81-88° и 74-79°.

В зонах разломов, поперечных продольной оси скальных мысов и содержащих дезинтегрированные породы, абразионные процессы протекают с обеих сторон. Здесь рост расщелин и их раскрытие ведут к быстрому обособлению отдельных блоков — кекуров, которые под действием волн и ветра принимают самые причудливые формы. Наличие таких элементов рельефа и сопряженных с ними рифов — характерная черта скальных мысов островов и континентальной суши в заливе Петра Великого. Отсутствие различий физико-механических свойств в породах кекуров и прилега-

ющих береговых обрывов позволяет исключить литоморфную причину (селективную абразию) образования столь экзотических и эстетических объектов.

Гидрологическая и гидрогеологическая роль разрывных нарушений. Именно они определяют заложение тальвегов ложбин стока, долин водотоков, горизонтальное расчленение коренных берегов, а также подземную разгрузку метеорных вод. Степень водонасыщенности береговых разрывных структур зависит от их параметров, степени проницаемости, геоморфологической позиции и ориентировки не только относительно береговой линии, но и по отношению к водосборным системам побережий. Одна геоморфологическая ситуация характеризуется длинным пологим склоном без явно выраженных ложбин стока, который заканчивается береговым обрывом. Совсем другой вариант — существование на прилегающих к обрывам склонах долин временных или постоянных водотоков, которые заложены по зонам разломов, перпендикулярных или диагональных по отношению к береговой линии. В этом случае они могут дренировать весьма крупные водосборные площади. Контролируя как наземный, так и подземный сток, разрывные нарушения обеспечивают комбинированное действие различных факторов морфогенеза (абразионных, флювиальных, гравитационных и др.) и образование полигенетических форм рельефа коренных берегов. Высокая проницаемость дезинтегрированных пород с постоянным протоком метеорных вод и периодическим (сезонным и межсезонным) промерзанием и таянием льда создает благоприятные условия для проявления процессов физического и химического разрушения в пределах тектонических трещин и разломных дислокаций. В зонах разрывов, закрытых от волнового и флювиального воздействия, могут формироваться линейные коры выветривания. С ними ассоциируются процессы почвообразования, что создает предпосылки для возникновения различных сообществ биологических объектов (от бактерий до растений).

Участие разрывных нарушений в образовании аккумулятивных береговых форм рельефа. Если в зонах разломов вначале проявлялись процессы кливажа, дробления и дезинтеграции пород, а сейчас происходят тектонические подвижки, то в приразломных ложбинах береговых обрывов аккумулируются осыпи и каменные потоки-курумы, сложенные щебнем, дресвой и мелкоземом (рис.10). В связи с этим у подножия скальных обрывов и крутых склонов появляются периодически обновляющиеся конусы выноса. После штормов многие из них исчезают, а потом возникают снова. В процессе их волновой переработки на таких берегах формируются относительно небольшие пляжи, устойчивость которых зависит от уклона рельефа подводного склона, размера обломков и интен-

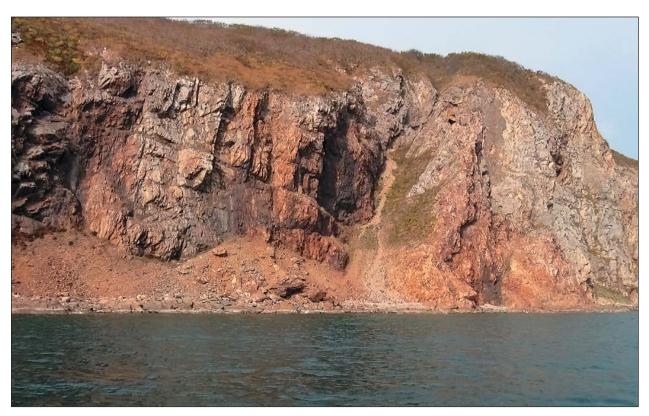


Рис.10. Крупные осыпи в зоне Берегового регионального разлома (береговые обрывы о.Попова, пролив Старка).

сивности миграции рыхлых пород на большие глубины. Степень плотности тектонической трещиноватости, физико-механические свойства пород, выполняющих зоны разрывных нарушений, и геодинамический режим территории существенно влияют на образование аккумулятивных форм в береговой полосе. А в зонах крупных разломов осыпи и курумы береговых обрывов — основные поставщики рыхлого материала в волноприбойную зону.

Рельефообразующая роль магмоконтролирующих разломов. На западном берегу Амурского залива, в полосе Уссурийско-Билякчанского разлома, известны как экструзивные тела, так и покровы базальтоидов, залегающих на галечниках усть-суйфунской свиты (верхний миоцен). Излияния лав миоцен-плиоценовых базальтов способствовали определенной нивелировке (за счет заполнения отрицательных форм) и увеличению средних высот палеорельефа. Вулканические аппараты грабена Амурского залива не отличаются большими размерами (радиус построек не превышает 1 км) и образуют на суше отдельные невысокие поднятия (г.Столовая), а на акватории — острова Антипенко и Сибирякова, представляющие собой экструзивные купола. Очевидно, что появление ареалов позднекайнозойских эффузивных и экструзивных образований изменило не только геоморфологическое строений береговой полосы, но и ранее сложившиеся соотношения комплексов пород с различными физико-механическими свойствами и устойчивостью к абразионным процессам.

* * *

Таким образом, влияние разрывных нарушений на процессы морфогенеза в береговой зоне проявляется многообразно и зависит как от ориентировки, размеров, морфогенетических и геодинамических характеристик дизъюнктивных дислокаций, физико-механических свойств выполняющих их пород, так и от свойств окружающей геологической среды, гидродинамических и геоморфологических условий. Применение же геоморфологической информации позволяет уточнять параметрические, морфологические, генетические характеристики разрывных нарушений, определять тип и масштабы смещений, оценивать степень их геодинамической активности.

Приведем наиболее важные особенности влияния разломов на морфологию и строение коренных берегов:

- обусловленность вертикальной и горизонтальной расчлененности рельефа, формирование гипсометрических уступов при подвижках блоковых дислокаций в зоне сочленения суши и акватории;
- тектоническая предопределенность ориентировки и строения берегов за счет совпадения плоскостей сместителей с границами грабенов, впадин, а также с обрывами, скальными откосами и денудационно-абразионными склонами;
- возникновение оползней, гравитационных обрушений и сейсмотектонических сбросообвалов в зонах разрывных нарушений, параллельных береговой линии, что обеспечивает последовательно-параллельное отступание берегов;
- высокая интенсивность абразионных и абразионно-денудационных процессов в зонах разломов, ориентированных нормально или диагонально к береговой линии, что способствует образованию волноприбойных гротов, ниш, расщелин на суше, гряд и ложбин на подводном склоне и обособлению кекуров на скальных мысах;
- локализация осыпей и небольших курумов и конусов выноса рыхлого материала в зонах активных разрывных нарушений;
- проявление гидрологической и гидрогеологической деятельности разломов не только в нарушении сплошности пород, но и в контроле наземного и подземного стока;
- рельефообразующая роль разломов на разных этапах развития территории может проявляться различно, что необходимо учитывать при анализе строения и развития морфологического ландшафта побережий.

Итак, разрывные нарушения необходимо рассматривать в качестве важнейших элементов береговых геолого-геоморфологических систем и учитывать их как при анализе теоретических проблем морфогенеза (статические, геодинамические и ретроспективные модели) в зонах взаимодействия суши и акваторий, так и при решении практических задач освоения побережий.

Во время строительства водовода на о.Русский ко мне обратились строители. При бурении наклонной скважины и бетонировании стенок ее ствола у них десятки тон раствора уходили в никуда. Как выяснилось, во всем были виноваты разрывные нарушения, которые обусловили повышенную трещиноватость и соответственно аномальную проницаемость горных пород. Информации о таких структурах в проектном задании не имелось.

Литература / Reference

1. У*ткин В.П., Олейников А.В., Неволин П.Л.* Геологические критерии кайнозойской и современной сейсмоактивности разломов Приморья и юга Хабаровского края. Вестник ДВО РАН. 1992; 3–4: 130–143. [*Utkin V.P., Oleynikov A.V., Nevolin P.L.* The geological criteria of the Cenozoic and modern seismic activity of the Primorye and the Khabarovsk Region South faults. Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences 1992; 3–4: 130–143. (In Russ.).]

- 2. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов: Объяснительная записка к Тектонической карте М 1:1 500 000. Владивосток; Хабаровск, 2005. [Tectonics, deep structure, metallogeny of the junction area of the Central Asian and Pacific Belts: Explanatory note to the Tectonic map M 1: 1 500 000. Vladivostok; Khabarovsk, 2005. (In Russ.).]
- 3. *Гаврилов А.А.* Морфотектоника окраинно-континентальных орогенных областей (юг Дальнего Востока и прилегающие территории). Владивосток, 2017. [*Gavrilov A.A.* Morphotectonics of marginal-continental orogenic regions (the South of the Far East and adjacent territories). Vladivostok, 2017. (In Russ.).]
- 4. *Гаврилов А.А.* Роль разрывных нарушений в формировании береговых линий Охотского и Японского морей. Статья 2. Локальные аспекты исследований (залив Петра Великого). Геоморфология. 2009; 4: 64–73. [*Gavrilov A.A.* The role of faults in the formation of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan coastlines. Art.2. Local aspects of research (Bay of Peter the Great). Geomorphology. 2009; 4: 64–73. (In Russ.).]
- 5. Гаврилов А.А. Разрывные нарушения Южного Приморья как зоны геодинамического риска (по данным геолого-геоморфологического изучения побережий залива Петра Великого). Вестник ДВО РАН. 2014; 4: 75–86. [Gavrilov A.A. Faults of the Southern Primorye as zones of geodynamic risk (according to the geological and geomorphological study of Peter the Great Bay coast.). Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 2014; 4: 75–86. (In Russ.).]
- 6. *Короткий А.М.* Колебания уровня Японского моря и ландшафты прибрежной зоны (этапы развития и тенденции). Вестник ДВО РАН. 1994; 3: 29–42. [*Korotkiy A.M.* Fluctuations of the Sea of Japan and landscapes of the coastal zone (stages of development and trends). Bulletin of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 1994; 3: 29–42 (In Russ.).]
- 7. *Карнаух В.Н.* Рельеф дна западной части Японского моря. Геоморфология. 2011; 2: 74–84. [*Karnaukh V.N.* Relief of the western part of the Sea of Japan bottom. Geomorphology. 2011; 2: 74–84. (In Russ.).]
- 8. Гаврилов А.А. Острова залива Петра Великого важные структурные элементы Южно-Приморского участка зоны сочленения Евразийского континента и впадины Японского моря. Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М., 2008; 312–339. [Gavrilov A.A. The Islands of Peter the Great Bay are important structural elements of the South Primorsky section of Eurasian continent and the Sea of Japan basin junction zone. The current state and trends of changes in the natural environment of Peter the Great Bay, Sea of Japan. Moscow, 2008. (In Russ.).]
- 9. Гаврилов А.А., Шестаков Н.В. Основные особенности геологического развития и современной геодинамики структур островных территорий залива Петра Великого (Японское море). Проблемы сейсмичности и современной геодинамики. Хабаровск, 2010; 17–20. [Gavrilov A.A., Shestakov N.V. The main features of geological development and modern geodynamics of island territories structures of Peter the Great Bay (Sea of Japan). Problems of seismicity and modern geodynamics. Khabarovsk, 2010; 17–20. (In Russ.).]
- 10. *Shestakov N.V., Takahashi H., Ohzono M. et al.* Analysis of the far-field crustal displacements caused by the 2011 Great Tohokue arthquake inferred from continuous GPS-observations. Tectonophysics. 2012; 524–525: 76–86.
- 11. Олейников А.В., Олейников Н.А. Геологические признаки сейсмичности и палеосейсмология Южного Приморья. Владивосток, 2001. [Oleynikov A.V., Oleynikov N.A. Geological signs of seismicity and paleoseismology of the Southern Primorye. Vladivostok, 2001. (In Russ.).]

Influence of Fracture Zones on the Structure and Development of the Bedrock Coasts in the Peter the Great Gulf

A.A.Gavrilov

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

The main geological and geomorphological characteristic of fracture zones within bedrock coasts are considered on the example of the Peter the Great Gulf. A description of typical situations is given, and the most important factors of the faults influence on the orientation, morphology, structure, and development of these specific objects are noted. According to the obtained data, faults are the most important elements of coastal geological and geomorphological systems that should be taken into account both by theoretical problems analysis of morphogenesis (static, geodynamic, and retrospective models) in the land-water interaction zone and by solving practical tasks of development of coastal areas.

Keywords: fracture zone, fault, coast, morphogenesis, Sea of Japan.

IРИРОДА / 05 / 2019

Далеко летит: миграция и аккумуляция свинца

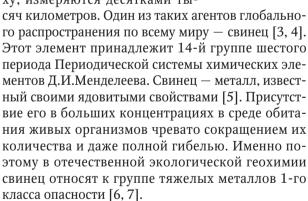
3.И.Слуковский

Институт геологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Республика Карелия, Россия)

Свинец — один из самых опасных загрязнителей. Он повсеместно накапливается в различных средах — от ледников Гренландии до донных отложений малых лесных озер Республики Карелия. Причина — дальний атмосферный перенос поллютанта в результате деятельности промышленных предприятий и выбросов автомобильного транспорта. Кроме того, городские территории, как совокупный техногенный фактор, также способствуют аккумуляции свинца и его дальнейшей миграции по цепям живых организмов.

Ключевые слова: свинец, донные отложения, малые озера, техногенез, урбанизация, Республика Карелия.

имические элементы мигрируют. Мигрируют в воде и по воздуху, мигрируют в твердой геологической среде. Дальний атмосферный перенос элементов и их соединений — один из интереснейших процессов, занимающий геохимиков и экологов всего мира [1, 2]. Расстояния, на которые способны перемещаться химические элементы по воздуху, измеряются десятками ты-





Попадая в живой организм, свинец способен накапливаться в больших количествах. Учитывая, что история его использования человечеством насчитывает многие тысячелетия, отравления этим металлом (сатурнизм), повлекшие смерть, — не редкость. Самой знаменитой его жертвой ряд исследователей называет Людвига ван Бетховена, в образцах волос которого после смерти обнаружили свинец. Однако ученые-медики ставят под сомнение эту гипотезу,



Захар Иванович Слуковский, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии, четвертичной геологии и геоэкологии Института геологии Карельского научного центра РАН. Область научных интересов — экологическая геохимия, геоэкология, биогеохимия, биоинликация.

e-mail: slukovsky87@gmail.com

указывая на другие недуги великого композитора, от которых он мог скончаться [8, 9]. Но сам контакт Бетховена со свинцом никто не отрицает, учитывая массовое его использование в медицине и при изготовлении продуктов питания в те времена. Да-да, свинец долгое время применялся в пищевой промышленности! Его ацетат Pb(CH₃COO)₂, известный как «свинцовый сахар», широко использовался в древнеримской кулинарии в качестве подсластителя [9]. В том числе и для вина.

Свинец также активно применяли при строительстве водопровода в Древнем Риме. Свинцовые трубы становились источником загрязнения воды, которую массово использовали люди. Считается, что жители Древнего Рима, скорее всего, страдали от хронического отравления тяжелыми металлами, в частности свинцом, который мог попасть в их организм хоть с вином, хоть с водой.

Сатурнизм стал причиной трагедии, произошедшей зимой 1872/1873 г. с 17 норвежскими охотниками на о.Шпицберген*. Долгое время считалось,

© Слуковский З.И., 2019 DOI:10.7868/S0032874X19050041

^{*} Fant 15 lik [Электронный ресурс]. URL: www.nrk.no/troms/fant-15-lik-1.6174594 [in Norwegian] (дата обращения 07.11.2018).



Портрет Бетховена. Художник К.Штилер. 1820 г.

что ее участники умерли от цинги из-за плохой подготовки экспедиции, однако в 2008 г. исследовательская группа установила совсем другое. В останках тел несчастных охотников, сохранившихся в вечной мерзлоте, обнаружили огромное количество свинца, который попал в их организмы с консервированной пищей. Выяснилось, что в пайке банок, хранивших продукты экспедиции, использовался свинец. Так он и проник в пищу, а затем в организмы норвежцев. По свидетельствам ученых, все страдальцы погибли практически одно-



Расплавленный свинец.

временно, а на их телах не было выявлено ни одного признака заболевания цингой.

И еще, в организмах молодых людей моего возраста, чье бесконтрольное детство прошло в 90-е годы, тоже должно быть много свинца. Я имею в виду тех, кто, будучи мальчишками, находил пластины от старых свинцово-кислотных аккумуляторов и плавил их в консервных банках. По крайней мере я со своими друзьями занимался этим очень активно. Эх, знал бы я тогда то, что знаю о свинце сейчас.

Запрет — преграда для миграции?

Однако вернемся к миграции химических элементов, в частности свинца. Бурное развитие промышленности в 19-м столетии в Европе и Северной Америке привело к массовому использованию полезных ископаемых, в том числе металлов. И свинец тут в первых рядах. Следовательно, вредные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу не заставили себя долго ждать. Кроме того в унисон с ростом производственных мощностей увеличился и рост городов, что также добавило поступление вредных свинцовых выбросов в атмосферу. Дело в том, что с 1930-х годов почти до самого начала XXI в. в моторное топливо добавлялся тетраэтилсвинец Рb(СН₃СН₂)₄, способствующий повышению октанового числа бензина. Даже после отказа от этой практики (в России этилированный бензин был запрещен 15 ноября 2002 г.) высокие содержания свинца в почвах и донных отложениях водных объектов городов по всему миру хранят память об этом опасном эксперименте. То же самое происходит и с промышленными выбросами, которые распространяются далеко за пределы мест расселения человека.

Анализ ледниковых кернов из Гренландии продемонстрировал рост концентраций свинца (а также кадмия и таллия) в верхних слоях изученных столбиков льда [10]. Определение возраста показало, что начало изменений концентраций металлов во льду относится к середине XIX в. (рис.1). Аналогичные природные «записи» можно обнаружить и в донных отложениях озер [11]. А их благодаря сошедшему ледниковому покрову в северных широтах по всему миру видимо-невидимо. Есть они и в Карелии, территория которой славится своим благополучным экологическим состоянием.

Чисто не будет

В геохимии существует такое понятие, как фоновая территория (фон), под которой подразумевается район, не затронутый антропогенным воздействием. Концентрации химических элементов в различных средах в этих местах имеют природ-

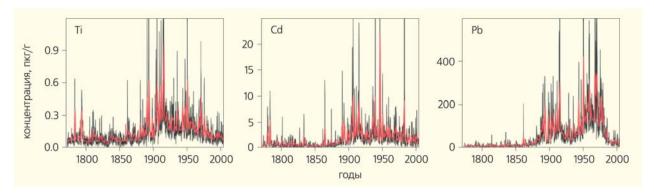


Рис.1. Изменение концентраций ТI, Cd и Pb в керне льда из центральной части Гренландии с 1772 до 2003 г. Ежегодные средние поступления элементов показаны красным, ежемесячные — черным [10].

ные (фоновые) значения. Считается, что эти концентрации иллюстрируют чистоту доиндустриальной эпохи развития человечества. Но так обстоит дело далеко не со всеми элементами. Дальний атмосферный перенос свинца, ставшего героем нашей публикации, практически перечеркивает такое понятие, как природный фон, особенно когда речь идет о верхних слоях донных отложений. Даже в лесной глуши, вдали от городского шума и устремленных ввысь заводских труб, в колонках озерных осадков распределение концентраций свинца схоже с их распределением в отложениях городских водоемов (рис.2). Однако в озерах вблизи прямых техногенных источников, в районах крупных городов, свинцовое загрязнение проявляется все-таки по-особенному (см. рис.2, крайний левый график). И это определяется не только большой скоростью осадконакопления в озерах крупных городов. В отличие от других водоемов, пик концентрации свинца в колонке донных отложений оз.Ламба (г.Петрозаводск) приходится на центральную часть разреза*. Необходимо учитывать, что на крупных урбанизированных территориях (а в Республике Карелия только один крупный город — Петрозаводск) на водоемы воздействует сразу несколько факторов, формирующих химический состав воды и донных отложений. Можно ли разделить эти факторы? Исследования гео-

* См.: *Слуковский З.И*. Сантиметры истории, или Как тяжелые металлы маркируют события промышленного века в отдельно взятом водоеме // Природа. 2018. N^2 7. C.29–35.



Озеро Уконлампи — типичный вид лесного водоема в южной части Республики Карелия.

Фото автора

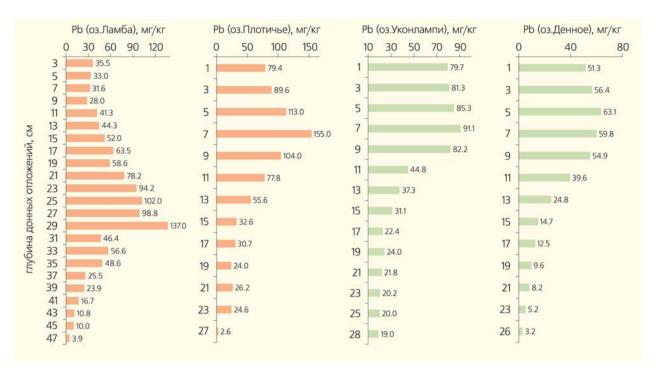


Рис.2. Вертикальное распределение концентраций свинца в донных отложениях малых озер Карелии. Оранжевые столбцы — в озерах городских территорий, зеленые — в условно фоновых районах.

химических особенностей озерной седиментации с параллельным определением возраста донных отложений на территории Японии показали, что сделать это практически невозможно, так как многие техногенные события в XIX и XX вв. происходили почти синхронно [12]. Речь в первую очередь идет о воздействии промышленности и автомобильного транспорта.

Однако если взглянуть на график соотношения свинца и кадмия (последний также ассоциируется с глобальными промышленными выбро-

сами) в разных отложениях озер Карелии, то идеальную картину расположения кружочков нарушает лишь группа из семи проб (рис.3). Это пробы из центральной части колонки донных отложений оз.Ламба, расположенного в черте города. Экстремально высокие концентрации свинца сопровождаются средними для изученных озер содержаниями кадмия. Скорее всего, данный факт объясняется двойственной природой аномалий свинца в городской среде, где выбросы от промышленных предприятий «усиливаются» вы-

бросами от автомобильного транспорта, датируемыми еще серединой 20-го столетия.

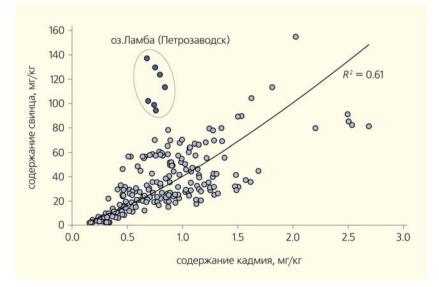


Рис.3. Соотношения концентраций свинца и кадмия в поверхностных слоях донных отложений различных озер Республики Карелия.

Рыбакам на заметку

Города, «повинные» в поступлении повышенных концентраций многих химических элементов в различные среды, распространяют свое влияние далеко за пределы своих административных границ. Так, в небольшом озерке Денном, расположенном в 3 км от Петрозаводска, концентрации свинца близки аналогичным значениям для водоемов в черте города (рис.4).

В связи с этим необходимо обратиться к любителям зимней ловли: не рыбачьте на озе-

ПРИРОДА / 05 / 2019

рах в пределах городов и в районах, прилегающих к таким территориям. Даже относительное удаление от прямых выбросов техногенных источников не спасет ваш потенциальный улов от повышенных концентраций свинца и других опасных элементов. Обратите внимание, что рыбы — неотъемлемая часть экосистемы любого водного объекта, и их контакт с донными отложениями подчас неизбежен (особенно когда речь идет о рыбах, питающихся донными организмами, которые живут в толще ила). Хотя зачем я себя обманываю? Даже личное общение с рыбаками во время отбора проб никогда не приводило к пониманию с их стороны, а что говорить об обращении через научный журнал. Однако необходимо закончить повествование.

Логично предположить, что чем больше город, тем его влияние на природную среду проявляется сильнее. Санкт-Петербург, второй по величине город в России, недавно занял 17-е место в списке самых грязных городов Европы*. А если взять только северную часть Европы, то наш Питер — абсолютный лидер. Соседний Хельсинки стал в этом рейтинге самым чистым городом.

Так, изучение колонки донных отложений малого озера Уконлампи Лахденпохского р-на на юге Карелии выявило повышенные концентрации свинца (а также кадмия!) в верхних слоях осадков (см. рис.2, второй график справа). Поскольку ближайший крупный источник атмосферных выбросов, которые могут содержать большое количество данных элементов, это как раз Санкт-Петербург, налицо дополнительный факт значительной загрязненности нашей Северной столицы. Заметим также, что среднее содержание свинца в Уконлампи выше его среднего содержания в отложениях городских водоемов Петрозаводска (см. рис.2, два крайних графика).

Дополнительное подтверждение тому, что свинец и кадмий попали в это озеро в результате атмосферного переноса, — факт отсутствия какойлибо корреляционной связи их концентраций с концентрациями элементов природного происхождения, например редкоземельных (рис.5). Последние обычно попадают в донные отложения в результате эрозионных процессов. Это означает, что свинец в фоновом (а теперь лучше говорить «условно фоновом») озере не связан с какими-либо минеральными образованиями (аленитом PbS, церусситом PbCO₃ или англезитом PbSO₄), мигрирующими в водную среду вследствие разрушения берегов водоемов. Как и предполагалось, он связан с дальним атмосферным переносом загрязни-

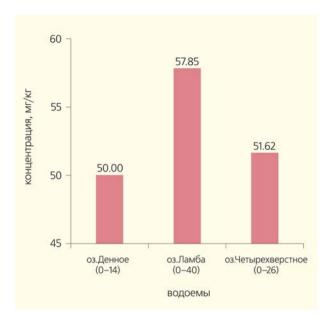


Рис.4. Средние концентрации свинца в донных отложениях озер Ламба и Четырехверстного (оба в черте Петрозаводска) и в оз.Денном (3 км от города). В скобках указана мощность (см) слоев отложений, для которых рассчитывались средние значения концентраций.

телей. Подобную картину поведения свинца и вместе с ним кадмия можно наблюдать в отложениях малых озер Финляндии, расположенной по соседству с Карелией [13]. Причем, учитывая, что изучались озера как южной, так и северной (в том

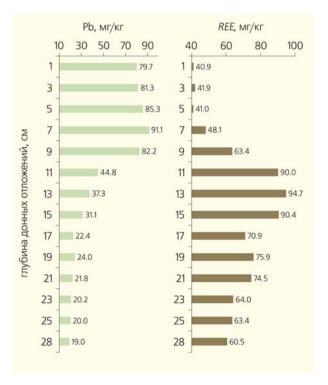


Рис.5. Вертикальное распределение концентраций свинца и суммы редкоземельных элементов (*REE*) в колонке донных отложений оз.Уконлампи.

^{*} Pollution Index Rate [Электронный ресурс]. URL: www.numbeo.com/pollution/gmaps.jsp?indexToShow=main (дата обращения 07.11.2018).

числе арктической) части Суоми, можно предположить аналогичную ситуацию и по другую, нашу сторону государственной границы. Металлы перемещаются без виз.

Таким образом, можно смело заключить, что фоновых районов в Карелии попросту не существует. Свинец может добраться куда угодно и предательски залечь на дно.■

Исследования частично проведены в рамках реализации гранта Президента Российской Федерации (№ МК-462.2019.5).

Литература / Reference

- 1. *Norton S.A., Dillon P.J., Evans R.D.* The history of atmospheric deposition of Cd, Hg and Pb in North America: Evidence from lake and peat bog sediments. Sources, Deposition and Capony Interactions. N.Y., 1990; III: 73–101. Doi:10.1007/978-1-4612-4454-7 4.
- 2. *Vinogradova A.A., Kotova E.I., Topchaya V.Yu.* Atmospheric transport of heavy metals to regions of the North of the European territory of Russia. Geography and Natural Resources. 2017; 38(1): 78–85. doi.org/10.1134/S1875372817010103.
- 3. *Bartnicki J.* An Eulerian model for atmospheric transport of heavy metals over Europe: Model description and preliminary results. Water, Air, and Soil Pollution. 1994; 75(3–4): 227–263. doi.org/10.1007/BF00482939.
- 4. Thomas V.M. The elimination of lead in gasoline. Annual Review of Energy and the Environment. 1995; 20: 301-324.
- 5. *Pekcici R., Kavlakoplu B., Yilmaz S. et al.* Effects of lead on thyroid functions in lead-exposed workers. Central European Journal of Medicine. 2010; 5(2). 215–218.
- 6. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М., 2008. [Vodyanitskiy Yu.N. Heavy metals and metalloids in soil. Moscow, 2008. (In Russ.).]
- 7. *Даувальтер В.А.* Геоэкология донных отложений озер. Мурманск, 2012. [*Dauvalter V.A.* Geoecology of bottom sediments of lakes. Murmansk, 2012. (In Russ.).]
- 8. Mai FMM. Beethoven's terminal illness and death. The Journal of the Royal College of Physicians of Edinburgh. 2006; 36(3): 258–263.
- 9. *Eisinger J.* The lead in Beethoven's hair. Toxicological and Environmental Chemistry. 2008; 90(1): 1–5. Doi: 10.1080/02772240701630588.
- 10. *McConnell J.R., Edwards R.* Coal burning leaves toxic heavy metal legacy in the Arctic. Proceedings of the National Academy of Sciences. Washington, 2008; 34: 12140–12144.
- 11. Даувальтер В.А., Даувальтер М.В., Кашулин Н.А., Сандимиров С.С. Влияние выбросов горно-металлургического комбината на химический состав донных отложений озер (Мончегорский полигон). Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2010; (2): 129–139. [Dauvalter V.A., Dauvalter M.V., Kashulin N.A. Sandimirov S.S. The influence of emissions of mining and metallurgy on chemical composition of bottom sediments of lakes (Monchegorsk site). Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology. 2010; (2): 129–139. (In Russ.).]
- 12. *Hosono T., Alvarez K., Kuwae M.* Lead isotope ratios in six lake sediment cores from Japan Archipelago: Historical record of trans-boundary pollution sources. Science of the Total Environment. 2016; 559: 24–37. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.138.
- 13. *Verta M., Tolonen K.* History of heavy metal pollution in Finland as recorded by lake sediments. The Science of Total Environment. 1989; 87/88: 1–18.

It Flies Far: Migration and Accumulation of Lead

7 I Slukovski

Institute of Geology, Karelian Research Centre, RAS (Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia)

Lead is one of the most dangerous pollutants. This metal accumulates in different environments, from Greenland glaciers to sediment at the bottom of small lakes in the Republic of Karelia, Russia. Atmospheric transport of lead from industries and car emissions are the main reason of the described process. In addition, the urban areas as a complex factor also contribute to lead accumulation in bottom sediments of water bodies and its migration in food chains of living organisms.

Keywords: lead, bottom sediments, small lakes, technogenesis, urbanization, Republic of Karelia.

Кто свистит подо льдом?

А.В.Агафонов^{1,2}, А.Д.Чернецкий¹

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

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

Во всех арктических морях встречается тюлень со странным названием «морской заяц» (*Erignatus barbatus*). Для данного вида характерна интенсивная подводная акустическая активность в весенний период (во время щенки и спаривания). Еще в 1960-х годах зарубежные исследователи установили, что сигналы принадлежат половозрелым самцам *E.barbatus*. Всесторонний анализ аудиозаписей, собранных в различных районах Белого моря в 1984—2017 гг., позволил выделить основные типы этих сигналов, описать их физические характеристики. Сравнив полученные материалы с зарубежными данными, авторы статьи оценили территориальную и временную изменчивость сигналов и показали: в целом система подводной акустической коммуникации морского зайца характеризуется высокой стабильностью. На основании полученных результатов предложены методы акустического учета особей, присутствующих на исследуемой акватории.

Ключевые слова: морской заяц (*Erignatus barbatus*), акустическая сигнализация.

звестно, подводная акустическая сигнализация играет значительную роль в жизни дельфинов (и вообще китообразных)*: это и ориентация в условиях, когда зрение мало чем может помочь (эхолокация), и организация нормальной жизнедеятельности сообществ (коммуникация), и система групповых и индивидуальных «позывных». Но в воде помимо китов и дельфинов обитают и другие млекопитающие, например ластоногие - моржи, тюлени, морские котики и др. Данные палеонтологических и генетических исследований показывают, что их предками были наземные хищные звери, наиболее близкие к родам куниц (Martes) или медведей (Ursus), а в последнее вре-

мя систематики вообще склонны объединять хищных и ластоногих в один отряд. Хотя ластоногие довольно много времени проводят на суше (или на льду), в море они чувствуют себя просто как рыба в воде. А как у них обстоит дело с подводной акустической сигнализацией? Исследования показали, что для животных данной группы более характерно



Александр Владиславович Агафонов, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории морских млекопитающих Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН и Карадагской научной станции имени Т.И.Вяземского — природного заповедника РАН. Область научных интересов — происхождение и развитие знаковых систем, акустическая система коммуникации дельфинов. e-mail: aqafonov.57@mail.ru



Антон Дмитриевич Чернецкий, научный сотрудник лаборатории морских млекопитающих Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН. Область научных интересов — исследование поведения, распространения и социальной структуры сообществ морских млекопитающих. e-mail: adcher@ocean.ru

воспроизведение (продуцирование) звуков в воздухе. Однако у некоторых видов была открыта также и подводная акустическая активность. И в этом отношении одним из интереснейших объектов оказался морской заяц.

Кто такие морские зайцы?

Морской заяц, или лахтак (*Erignatus barbatus*), — один из наиболее крупных представителей подсемейства настоящих тюленей: длина тела животных

^{*} Агафонов А.В., Панова Е.М. Как общаются афалины? // Природа. 2018. №4. С.3–12; Панова Е.М., Агафонов А.В. Белуха — морская канарейка // Природа. 2018. №10. С.38–45.



Морской заяц (лахтак).

этого вида может достигать 2.5 м, а вес -300 кг. История умалчивает о том, откуда в русском языке появилось столь странное название — уж на обычного-то зайца лахтак никак не похож. По-английски его называют bearded seal («бородатый тюлень»), что по крайней мере можно объяснить наличием более густых в сравнении с другими тюленями вибрисс («усов»), которые, будучи органом осязания, возможно, помогают ему в добыче пищи. Морские зайцы — бентофаги, т.е. питаются в основном всякой придонной живностью (моллюсками, червями, членистоногими), но могут и рыбкой поживиться.

Распространены морские зайцы во всех арктических морях, а также в Беринговом и Охотском. Им свойственен оседлый, одиночный образ жизни. Весьма противоречивы сведения о районах пребывания этих тюленей в тот период, когда море полностью или частично покрывается льдом. Большинство авторов считают их обитателями только дрейфующих льдов [1], хотя есть сведения и о присутствии *E.barbatus* в зоне устойчивого припая* [2-4]. Между тем конец зимы и начало весны — очень важное время в жизни вида: с марта по май у лахтаков рождаются детеныши (в пределах ареала сроки варьируют), затем самки вскармливают их молоком (недолго - до 1.5 мес). Далее происходит новое спаривание, и годичный цикл повторяется.

В 1960-х годах зарубежные исследователи обнаружили, что в репродуктивный период для морских зайцев характерна интенсивная подводная акустическая активность [5]. Но, поскольку контакты между советскими и западными учеными были очень редкими, а знакомство с иностранными публикациями представляло определенную сложность (ведь Интернета еще не существовало), в нашей стране данные о подводной акустической сигнализации морского зайца до определенного времени оставались практически неизвестными.

Исследования на Белом море: 1980-е годы

В начале 80-х годов XX в. набирали обороты работы, проводимые лабораторией морской биоакустики Института океанологии (ИО) имени П.П.Ширшова АН

СССР под руководством доктора биологических наук В.М.Бельковича (1935-2016). В частности, уже несколько лет проводились комплексные исследования беломорских белух, удалось собрать немало интереснейших данных по их поведению и акустической сигнализации, а также по распределению белушьих сообществ в различных районах Белого моря в летне-осенний период. Однако о том, что происходит с животными зимой, когда Белое море частично покрывается льдом, было почти ничего неизвестно.

Фото авторов

В конце февраля 1984 г. небольшая научная группа отправилась в район деревни Летняя Золотица — туда, где ежегодно проводились летние полевые работы. Ученые задались целью провести визуальные наблюдения и «прослушать» акваторию с припайного льда, а при наличии возможностей — и у кромки открытой воды. Главным объектом исследований считалась белуха, хотя Белькович, напутствуя коллег, произнес загадочные слова: «А может, и еще кого-нибудь услышите».

Для проведения наблюдений по совету местных жителей выбрали Конюхову губу — полукруглый залив размером километров шесть в поперечнике, находящийся в 12 км от деревни. За зиму на море образовался сплошной лед толщиной около метра, покрытый плотным снегом. Хотя уже наступил март, погода стояла вполне зимняя: ночью до -25°C, днем обычно -10-12°C; даже к концу экспедиции, т.е. в середине апреля, температура была минусовой. На берегу находилось несколько охотничьих избушек, в одной из которых и обосновались ученые. Вечером зажигали керосиновую лампу, для обогрева и приготовления пищи использовали печь. С дровами проблем не было —

^{*} Припай — вид неподвижного льда в морях, океанах и их заливах вдоль берегов.

кругом тайга, а вот воду приходилось вытапливать из снега, поскольку зимой найти родники не представлялось возможным. Контакт с внешним миром поддерживали посредством писем: раз в два-три дня мимо избушки, направляясь из Летней Золотицы в деревню Пушлахту, проезжал почтальон на санях, запряженных лошадью. При необходимости оперативной связи добирались до Летней Золотицы пешком по санному следу часа за три. А туда иногда прилетал из Архангельска АН-2, и, самое главное, там работало почтовое отделение, откуда можно было послать телеграмму, а если очень повезет, то и заказать телефонный разговор с Москвой. Прошлый век, одним словом...



В.Юшманов (слева) и А.Агафонов записывают акустические сигналы морских зайцев. Конюхова губа. 1985 г.

Обустроившись, приступили к сбору научного материала, для чего на лыжах выходили на лед, бурили лунки в намеченных местах и опускали в воду гидрофон. Надо заметить, что морской лед — неплотный, метровый слой просверливался вручную буквально за несколько минут, так что в течение рабочего дня можно было обследовать достаточно большой район. И вот первые же опыты показали, что под водой постоянно (как потом оказалось, даже ночью) раздаются какие-то очень мелодичные звуки, напоминающие свисты и завывания. Они совершенно не походили на хорошо описанные к тому времени сигналы белух. Поначалу ученые даже предположили, что это воздух так свистит, просачиваясь сквозь трещины во льду. Однако даже на слух легко выделялось относительно небольшое число типов сигналов, которые непрерывно повторялись в разных сочетаниях. Некоторые из них длились до минуты. В общем, такие звуки могли издавать только живые существа. Но какие?

В Москву телеграфом отправили сообщение о первых результатах, вызвавшее у Бельковича такой интерес, что он немедленно отправился на Белое море, добрался до Конюховой губы и лично принял участие в работе. И вскоре пришел к выводу, что полученные нами данные согласуются с ранее опубликованными результатами исследований зарубежных биоакустиков, и, скорее всего, мы записали сигналы морских зайцев.

По возвращении в Москву удалось достать экземпляр номера журнала «Zoologica» (аж за 1969 год!), в котором мы прочли статью К.Рэя с коллегами [5], посвященную исследованиям подводной акустической сигнализации морских зайцев

в Беринговом море. Авторы доказывали, что производят сигналы половозрелые самцы, причем именно в репродуктивный период жизни. Статья была хорошо проиллюстрирована спектрограммами, и к ней даже прилагалась гибкая грампластинка с оригинальными записями звуков. Таким образом, принадлежность беломорских сигналов теперь не вызывала сомнений.



В.Юшманов бурит лунку для погружения гидрофона. Конюхова губа,1985 г.

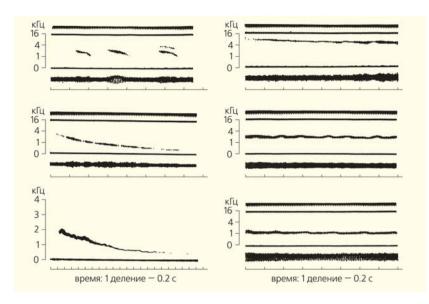


Рис.1. Спектрограммы сигналов, сделанные в 1980-х годах (по: [6]).

Наша лаборатория провела еще две экспедиции в Конюховой губе — в 1985 и 1987 гг.; в каждый сезон полевых работ там получали примерно по 15 ч акустических записей. Кроме того, около четырех часов было записано весной 1995 г. в районе Соловецкого архипелага. Записи производились, естественно, при помощи кассетного магнитофона. Собранный акустический материал подвергли сплошному аудиторному анализу и выборочной обработке на спектроанализаторе, классифицировали сигналы, насколько это позволяла техника (рис.1) [6, 7]. К сожалению, на имевшейся в то время аппаратуре более детальные обработка и изучение записей оказались невозможны.

XXI век: новая техника, новые задачи

В начале нынешнего тысячелетия компьютеры открыли огромные возможности для науки. В частности, биоакустики получили могучий инструмент для визуализации и анализа звуковых сигналов. При этом больше всего нам понравилась программа AdobeAudition — музыкальный редактор, предназначенный по замыслу разработчиков для композиторов, аранжировщиков музыки, исполнителей и т.д. Но в этой программе имеется прекрасное окно, позволяющее представлять спектрограммы и осциллограммы звуков в онлайн-режиме. Более того, есть возможность производить измерения длительности сигналов с точностью до миллисекунд, а их частотных характеристик — до нескольких герцев. Впоследствии были разработаны также специальные программы для работы со звуковыми сигналами животных и человека. В результате аудиозаписи, сделанные в 1980-х годах и даже ранее, получили вторую жизнь.

В 2004 г. весь сохранившийся на аудиокассетах материал был оцифрован при помощи программы AdobeAudition 1.5, что в дальнейшем позволило провести детальный анализ и типологизацию зарегистрированных сигналов, при этом нам удалось выделить семь их основных типов (рис.2).

Тип 1. Продолжительный сигнал, состоящий из двух фаз: нелинейного и линейного понижения частоты основного тона. Сама основная частота испытывает периодические колебания в пределах 300–500 Гц, которые становятся более редкими к концу сигнала. Частотный диапазон от 5 (начальная точка) до 0.5 кГц

(конечная точка). Внутри типа можно выделить два довольно устойчивых варианта (подтипа), различающихся по длительности: короткий (5-15 c) и длинный (15-30 c).

Тип 2. Сигнал с понижением частоты основного тона, испытывающей периодические колебания. Напоминает завершающую фазу сигнала типа 1. Длительность сигнала 10-20 с, частотный диапазон от 2.5 (начальная точка) до 0.5 к Γ ц (конечная точка).

Тип 3. Сигнал, состоящий из двух фаз: повышения частоты основного тона до пиковой точки и последующего понижения. Колебаний частоты основного тона не происходит. Длительность сигнала от 3 до 6 с, частотный диапазон от 1.5 (пиковая точка) до 0.2 к Γ ц (начальная и конечная точки).

Тип 4. Сигнал с плавным нелинейным понижением частоты основного тона. Ее колебания незначительны или отсутствуют. Нередко в начале сигнала отмечаются гармоники. Длительность сигнала от 4 до 8 с, частотный диапазон от 3 (начальная точка) до 0.2 кГц (конечная точка).

Тип 5. Сигнал с резким нелинейным понижением частоты основного тона. Ее колебания отсутствуют. В конце сигнала иногда отмечается небольшое повышение частоты. Обычно следуют сериями по 3-5 сигналов. Длительность сигнала от 1 до 3 с, частотный диапазон от 2.5 (начальная точка) до 0.2 к Γ ц (конечная точка).

Тип 6. Низкочастотный сигнал, похожий на вой или стон. Понижение частоты очень незначительное или вообще не происходит. Длительность сигнала от 3 до 6 с, частотный диапазон примерно $0.4-0.2~\mathrm{kFu}$.

Тип 7. Наиболее сложный по структуре из всех выделенных типов. Состоит из нескольких сегментов. Вначале следует фаза нелинейного пони-

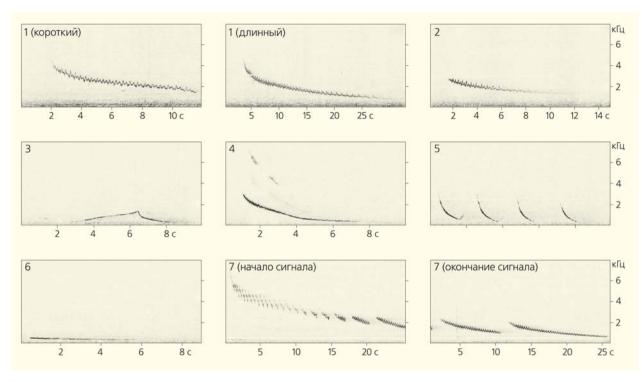


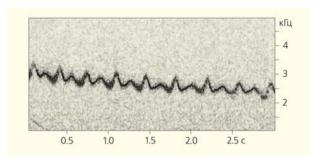
Рис. 2. Спектрограммы семи основных типов сигналов, выделенных в 2000-х годах (пояснения даны в тексте статьи).

жения частоты основного тона с периодическими колебаниями. По мере понижения частоты амплитуда колебаний и расстояния между их пиками начинают увеличиваться; сигнал приобретает пилообразную форму. Затем происходит формирование «трелей» — участков с понижающейся и колеблющейся частотой основного тона, связанных между собой участками повышения частоты. Общая тенденция — понижение частоты основного тона. Наконец, непрерывный сигнал разделяется на отдельные трели; частота основного тона каждой из них понижается, но начало следующей трели всегда выше, чем окончание предыдущей. Их длительность увеличивается, а амплитуда колебаний частоты основного тона в последних трелях серии уменьшается. Окончание самой последней обычно приобретает характер воя. Протяженность сигнала в целом может превышать 1 мин, частотный диапазон составляет от 7 (начальная точка) до 0.2 кГц (конечная точка последней трели).

В целом отметим, что общая типология сигналов в записях, сделанных в течение нескольких сезонов в конце 1980-х — середине 1990-х годов, практически идентична. Все выделенные типы сигналов представляются элементами некой единой взаимосвязанной структуры; отдельные фрагменты разных типов могут быть весьма схожими между собой.

Мы провели сравнительный анализ однотипных сигналов с целью выявления их индивидуальных частотных характеристик (на примере сигналов типа 1). Данные сигналы состоят из циклов длитель-

ностью 0.3–0.5 с (рис.3), всего таких циклов может быть до 25. Внутри каждого из них были выделены четыре характерных «ключевых» точки, обозначенные на рисунке буквами А, В, С и D. Оказалось, что на протяжении сигнала соответствующие этим точкам частоты меняются от цикла к циклу с одинаковой закономерностью, поэтому для сравнения



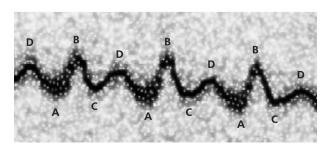


Рис.3. Пример сравнительного анализа однотипных сигналов морского зайца с целью выявления их индивидуальных частотных характеристик: фрагмент спектрограммы сигнала типа 1 (вверху); «ключевые точки», по которым производились измерения частотных характеристик сигналов (внизу).

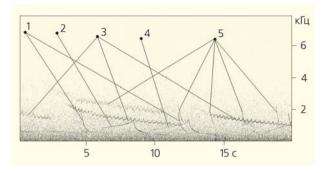


Рис.5. Наложение на спектрограмме сигналов различных типов, продуцируемых пятью особями.

разных сигналов достаточно производить замер частоты в одной из точек. Выбрана была точка D, как наиболее четко выделяемая в цикле. Таким образом, сигналы стало возможно изобразить в виде последовательностей номеров циклов и соответствующих им частотных характеристик выбранной для каждого из них точки. Используя описываемую методику, мы проанализировали 10 сигналов и построили двухмерную гистограмму распределения частотных характеристик точки D. В результате обработанные сигналы разделились на три группы. К первой, «низкочастотной», отнесены пять сигналов, ко второй — четыре. Наконец, один сигнал, высокой частоты, представляет третью группу. Исходя из полученного результата, можно с известной долей осторожности предположить, что эти 10 сигналов произведены тремя разными особями.

При анализе спектрограмм довольно часто наблюдалось наложение во времени одних сигналов на другие, что свидетельствует об одновременном воспроизведении звуков несколькими особями в зоне приема гидрофона (рис.5). Сопоставляя число выявленных таким образом животных, издающих (продуцирующих) сигналы, и данные анализа частотных характеристик последних, мы получаем возможность достаточно точно определять число особей, присутствующих в исследуемой акватории.

Стабильность и изменчивость сигналов в пространстве и времени

...Между тем незаметно прошло 30 лет со времени проведения первых записей сигналов морских зайцев на Белом море. Естественным образом возник вопрос: изменилась ли как-то их сигнализация за этот период? А учитывая тот факт, что за эти годы зарубежные ученые осуществили многочисленные исследования акустической активности данного вида в различных районах Арктики, интересно было бы сравнить их результаты с отечественными данными и попробовать выявить также и географическую изменчивость репертуара.

Новые исследования нашей лаборатории были организованы благодаря активной поддержке национальных парков «Онежское Поморье» и «Кенозерский». Работы проводились с 11 по 24 марта 2014 г., большая часть данных собрана в аквато-



База экспедиции Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН в Конюховой губе. 2014 г.

рии Конюховой губы и в районе Летней Золотицы (рис.6). Подводная акустическая активность морских зайцев в описываемый период оказалось весьма высокой (до 10 сигналов в минуту), сигналы продуцировались круглосуточно, причем интенсивность подобной коммуникации животных в целом сохранялась вне зависимости от времени суток. Общий объем собранного материала (по всем точкам) составил 33 ч аудиозаписей.

С 27 февраля по 6 марта 2017 г. работы осуществлялись в районе Унской губы (Двинский залив Белого моря; рис.7). Сигналы морских зайцев были обнаружены в акватории, непо-

средственно граничащей с Двинским заливом. Интенсивность сигнализации составляла в разных точках от 1.92 до 2.57 сигналов в минуту. Всего за время проведения работ в Унской губе на всех точках собрано около 10 ч аудиозаписей.

Результаты анализа показали, что типология сигналов морских зайцев в целом очень мало различается в записях, сделанных как в разные сезоны, так и в разных районах работ — все те же «магические» семь основных типов сигналов. Правда, в акустических записях 2014 г. был обнаружен новый тип сигнала, представляющий собой элемент длительностью 2.5-3 с. с линейным повышением частоты основного тона в пределах от 0.6 до 1.5 кГц и периодическими всплесками частоты (рис.8). Однако он не внесен пока в общую типологию ввиду его редкой встречаемости. Кроме того, в записях 2017 г. была зарегистрирована серия однотипных сигналов, которую не выявляли ни в одной из записей, сделанных ранее (рис.9). По структурным характеристикам они имеют явное сходство с сигналами морских зайцев, но записана данная серия была лишь один раз, а делать какие-либо выводы на основании единичных фактов нельзя.



Рис.6. Карта района проведения работ в 2014 г.

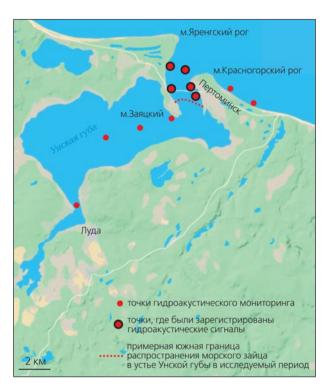
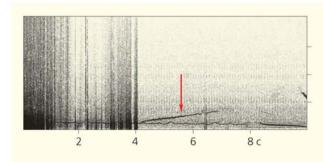


Рис.7. Карта района проведения работ в 2017 г.



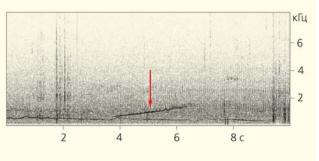


Рис. 8. Спектрограммы нового типа сигнала, обнаруженного в записях 2014 г.



Поиск района сосредоточения морских зайцев в Унской губе. 2017 г.

Мы сравнили также сигнализацию «отечественных» морских зайцев с «лахтаками-иностранцами»: речь идет о данных, собранных группой зарубежных исследователей на Аляске, в западном и северном секторах Канадской Арктики, а также на Шпицбергене (Свальбарде) на протяжении нескольких десятилетий [8]. Коллеги отметили сходство ряда типов сигналов, записанных в разных районах (причем удаленных друг от друга на расстояние в несколько тысяч километров), а также констатировали, что характер сигнализации стабилен на протяжении нескольких лет. При сравнении с нашими материалами оказалось, что шесть типов сигналов идентичны записанным на Белом море, а четыре, напротив, никогда не встречались. Учитывая тот факт, что все беломорские зайцы продуцируют одни и те же сигналы, можно заключить: размеры Белого моря (по сравнению с бескрайними просторами Арктики) недостаточны для фор-

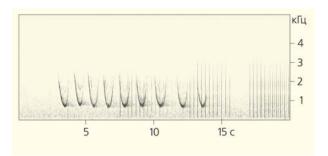


Рис.9. Спектрограмма серии сигналов, записанной в 2017 г.

мирования существенных географических отличий в вокальном репертуаре исследуемого вида.

Временные итоги

Итак, морские зайцы с точки зрения их акустической сигнализации оказались в целом большими консерваторами. Ареал вида занимает миллионы квадратных километров, однако общее число выделенных типов сигналов составляет не более 10, причем многие из этих типов встречаются на всем его пространстве. Не следует забывать, что их продуцирование жестко связано с определенным поведенческим контекстом — периодом размножения. При помощи свистов половозрелые самцы могут сообщать самкам о своем присутствии на определенном участке и предупреждать других самцов о том, что данный участок занят (примерно так же, как это происходит у птиц, оленей и некоторых других животных). В остальные сезоны их акустическая активность практически отсутствует, а следовательно, не требуется для нормальной жизнедеятельности. Мы полагаем, что процесс воспроизведения (продуцирования) сигналов обусловлен, скорее всего, генетическими механизмами. С другой стороны, поскольку период щенки и спаривания продолжается несколько месяцев, детеныши с самого рождения попадают в своеобразную акустическую среду, которая в дальнейшем воспроизводится ежегодно и, следовательно, в каком-то смысле становится обучающим фактором. ■

Работа выполнена в рамках государственных заданий ФАНО России №0149-2019-0009 и №АААА-А19-119012490045-0.

Авторы выражают глубокую признательность за помощь в организации и проведении работ 2014—2017 гг. директору национального парка «Онежское Поморье» О.Л.Продану (трагически погиб в 2016 г.), заместителю директора по научной работе А.Б.Волкову, старшему научному сотруднику Е.В.Волковой и егерю В.И.Пахомову; директору национального парка «Кенозерский» Е.Ф.Шатковской, начальнику оперативной группы старшему госинспектору К.С.Кривополенову, госинспекторам в области охраны окружающей среды Ю.Н.Маслобородову и Д.А.Пономареву. Мы благодарим руководителя видеостудии ИО РАН В.М.Марина, видеооператора ИО РАН В.Ю.Кузьмина и студента филологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова И.С.Подгорного за проведение фотои киносъемок съемок, а также за монтаж фильмов «Зайцы подо льдом» и «Семь свистов в океане».

Литература / Reference

- 1. Чапский К.К., Арсеньев В.А., Соколов В.Е. Млекопитающие СССР. Т. 2, ч. 3. Ред. В.Г.Гептнер. М., 1976. [Chapsky K.K., Arsenyev V.A., Sokolov V.E. Mammals of the USSR. V. 2, part 3. V.G.Heptner (ed.). Moscow, 1976. (In Russ.).]
- 2. *Попов П.Н.* Промысловые млекопитающие восточного побережья Таймырского полуострова. Тр. НИИ Полярного земледелия, животноводства и промыслового хозяйства. 1939; 8: 87–123. [*Popov P.N.* Commercial mammals of the Eastern coast of the Taimyr Peninsula. Tr. Research Institute of Polar agriculture, livestock and fisheries. 1939; 8: 87–123. (In Russ.).]
- 3. *Федосеев Г.А.* Распространение и численность тюленей на детных и линных залежках в Охотском море. Тр. АтлантНИРО. 1971; 39: 87–99. [*Fedoseev G.A.* Distribution and abundance of seals in water-borne and Linnich the seal rookeries in the sea of Okhotsk. Tr. AtlantNIRO. 1971; 39: 87–99. (In Russ.).]
- 4. *Kingsley M.S., Stirling J., Calvert W.* The distribution and abundance of seals in the Canadians High Arctic, 1980–1982. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1985; 42: 1189–1210.
- 5. Ray C.G., Watkins W.A., Burns J.J. The underwater song of Erignathus (Bearded seal). Zoologica. 1969; 54 (2): 79-83.
- 6. *Белькович В.М., Щекотов М.Н.* Поведение и биоакустика ластоногих в естественной среде. М., 1990. [*Belkovich V.M., Shchekotov M.N.* Behavior and bioacoustics of pinnipeds in the natural environment. Moscow, 1990. (In Russ.).]
- 7. Щекотов М.Н., Агафонов А.В. Характеристика акустической активности, распределения и численности морского зайца и кольчатой нерпы Конюховой губы Белого моря. Проблемы современной океанологии. М., 1988: 106–108. [Shekotov M.N., Agafonov A.V. Characterization of acoustic activity, the distribution and numbers of sea hare and ringed seals Konyukhova lips of the White sea. Problems of modern Oceanology. Moscow, 1988: 106–108. (In Russ.).]
- 8. *Rish D., Clark C.W., Corkeron P.J. et al.* Vocalisation of male Bearded Seals, Erignatus barbatus: Classification and geographical variation. Animal Behaviour. 2007; 73(5): 747–762.

Who Whistles Under the Ice?

A.V.Agafonov^{1,2}, A.D. Chernetsky¹

¹Shirshov Institute of Oceanology, RAS (Moscow Russia)

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

A seal with a strange Russian name, "sea hare" (*Erignatus barbatus*), is known in all Arctic seas. The intense underwater acoustic activity in spring (during pupping and mating) is characteristic for this species. In 1960s foreign researchers found that the signals of E.barbatus attributed to sexually mature males. A comprehensive analysis of audio records collected in different areas of the White Sea in 1984–2017 allowed us to identify the main types of these signals and describe their physical characteristics. Comparison of the obtained materials with foreign data made possible to evaluate the territorial and temporal variability of the signals and showed that in general the underwater acoustic communication system of the "sea hare" is characterized by high stability. On the basis of the obtained results, the methods of acoustic accounting of individuals present in the studied water area are proposed.

Keywords: Bearded seal (*Erignatus barbatus*), acoustic activity.

Akagemkhura

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

Agpec: 101000, Mockba, Б. Спасоглинищевский пер., 8, cmp. 4 E-mail: spasoglin@mail.ru





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»!

Культуры Ното

в оценках мироздания и архетипы ментальности

Е.Н.Черных

Институт археологии РАН (Москва, Россия)

Культуры *Ното* представляют собой модель или способ существования любого этноса нашей планеты. Их структура характеризуется тремя основными и постоянными гранями проявления — технологической, социальной и психологической. Статья продолжает дискуссию, начатую в журнале «Природа» (2018. №3—7) по глобальной теме «Культуры *Ното*: узловые сюжеты миллионолетней истории», где в той или иной мере были затронуты социальные формирования всего периода антропогена (не менее 2.5 млн лет). Основное и достаточно подробное внимание в дискуссии уделялось первым двум граням — технологической и социальной. В данной статье автор сосредоточил внимание на грани третьей, по всей вероятности, наиболее сложной для дешифровки: ведь как в истории, так и особенно в археологии психологическим аспектам культур уделялось внимание крайне малое, если вообще уделялось. Затрагиваемые сюжеты касаются по преимуществу коллективной психологии.

Ключевые слова: культуры *Homo*, Новое время, Европейская колонизация планеты, работорговля.

Культура *Ното* — суть модель бытия или же способ существования каждого этноса. Любая культура всегда трехгранна, и первая ее грань — *технологическая*. Именно в ней заключена информация о том, что и как производит культура, а также в каком соотношении находится она с природной — ключевой для данного этноса — базой, на которой и зиждется его производство. Технологи-

ческая грань — это, по сути, заповедная зона для археологии. Вторая грань проясняет нам *социальную структуру* того этноса, который и порождает конкретную культуру. Передний план здесь занимает уже базирующаяся на письменных источниках историческая дисциплина, хотя и данные археологии играют также весьма значительную роль.

Наконец, грань третья — *психологическая*. Она отражает уже духовно-мировоззренческий склад этноса, порождающего конкретную культуру. Основными разделами грани служат попытки определения и оценки того, что представляет собой мир, в котором обретается данный этнос, и каково место, значение и роль самого этноса в окружающем его мире. Все три перечисленные грани — как будто резко различные по своей сути — оказыва-



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

e-mail: evgenij.chernykh@gmail.com

ются всегда тесно взаимосвязанными и взаимозависимыми.

Настоящую статью автор задумал как продолжение дискуссии по обширной теме «Культуры Ното: узловые сюжеты миллионолетней истории». Многие аспекты двух первых граней культур различных эпох уже достаточно подробно были представлены в «Природе»*. Ныне подошла очередь грани третьей и, по всей вероятности, наиболее сложной для дешифровки, ведь как в истории, так и особенно в археологии психологическим аспектам культур уделялось внимание крайне малое (если вообще уделялось).

© Черных Е.Н., 2019 DDI:10.7868/S0032874X19050065

^{*} Блок из пяти статей, посвященных этим проблемам, под общим заглавием «Культуры Homo: узловые сюжеты миллионолетней истории» был опубликован в №3-7 за 2018 г.

Проблемы, которые автор намеревается здесь затронуть, можно назвать коллективной психологией. Поэтому изначально предоставим слово тем исследователям, которые обращались к этим вопросам ранее и мнения которых кажутся в целом справедливыми. Имеются в виду известные российские ученые — историк Арон Яковлевич Гуревич, чьи труды по истории Средневековья хорошо известны во многих зарубежных странах, а также видный российский психолог Виктор Федорович Петренко.

В книге «Категории средневековой культуры» Гуревич пишет: ...мир культуры образует в данном обществе в данную историческую эпоху некую глобальность, — это как бы тот воздух, которым дышат все члены общества, та невидимая всеобъемлющая среда, в которую они погружены. Поэтому любой поступок, ими совершаемый, любое побуждение и мысль, возникавшая в их головах, неизбежно получали свою окраску в этой всепроникающей среде. Следовательно, чтобы правильно понять поведение этих людей, экономическое, религиозное, политическое, их творчество, их семейную жизнь, быт, нужно знать основные свойства этого «эфира» культуры. Рассматриваемое в отрыве от культурного контекста, их поведение едва ли может быть истолковано правильно — ему порой дают ложные объяснения, и дело оборачивается модернизацией истории. <...> Естественно, мы видим культуру далекой эпохи не такой, какой она сама себя сознавала, и, хотя ныне очень трудно восстановить тот ее образ, который рисовали себе люди — носители этой культуры, у современного исследователя имеется определенное преимущество перед ними: он видит то, чего они были не в состоянии увидеть. Их позиция самонаблюдения была внутри данной культурной сферы — наша позиция есть позиция заинтересованных сторонних наблюдателей. <...> При этом существенно иметь в виду, что ситуация, в которой находится современный историк и которую можно определить как ситуацию всемирной истории, сложилась лишь в Новое время: историки минувших эпох принадлежали к локальным цивилизациям, в той или иной степени изолированным одна от другой и в пространственном, и во временном отношениях, слабо знавшим друг друга и сосредоточенным на самих себе. Ныне историк поставлен перед всемирно-исторической перспективой, в которой его умственному взору предстоят все культуры минувших 9nox [1, c.5–28].

Эти мысли продолжает и развивает Петренко: В исторической антропологии историк основывается на собственных представлениях о той или иной эпохе и, будучи проникнутым ее духом и ее менталитетом... стремится отрефлексировать ее категориальный строй, обращаясь к собственному

историческому сознанию. Респондент и исследователь оказываются представлены в одном лице своеобразном очевидце не виденных, но воссозданных в воображении событий. Как совместить достоинства обоих подходов к исследованию менталитета: большую отстраненность и отсюда, возможно, большую объективность психосемантического подхода, обращенного к сознанию массы обывателей, и историческую компетентность и интерпретационную виртуозность историка, обращенного к собственным представлениям об изучаемой эпохе? [2, c.14].

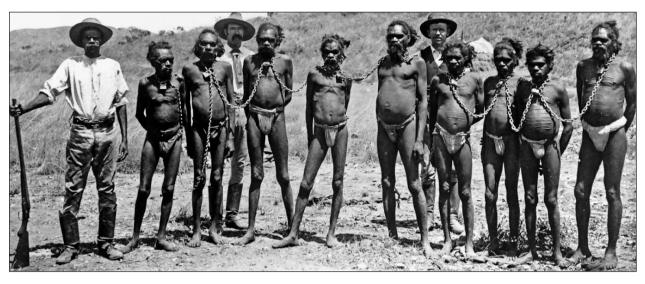
Этот вопрос, завершающий тезис психолога, позволяет теперь обратиться уже к тем вопросам, что относятся к наиболее существенным для проблематики статьи.

Миры привычный и непривычный

Эпоха Нового времени ознаменовалась истинным открытием всей нашей планеты. Свершалось оно шаг за шагом, но достаточно стремительно. Требовалось немалое время, чтобы осознать истинные размеры, облик и характер внезапно возникшего мира, а ведь без его понимания трудно было представлять даже обыкновенное бытие евразийских культур. И касалось это не только тех анклавов, что лежали за пределами исходной для всех открытий Евразии, но даже и самого гигантского материка. При этом аборигены всех новых и необъятных пространств как бы оставались в стороне, однако роль разнообразных взаимодействий европейских мореходов с туземцами оказывалась при великом и жестоком переделе мира весьма значимой.

Различия между европейцами и коренными жителями выглядели почти всегда предельно контрастными, и выражалось это не только в облике (цвете кожи, одеянии - если туземцы вообще носили одежду), но и в технологической дремучести аборигенов. Пламенные приверженцы христианства главную причину этих поразительных различий видели в отрешенности туземцев от истин их высокого учения и потому лишенных милости Всевышнего. При этом никогда и никому даже из числа европейских образованных мореходов в те годы не могла прийти мысль, что именно предки туземцев были первооткрывателями этих материков и островов за многие тысячелетия до появления здесь европейских кораблей. Безусловным считалось, что местные жители всегда были исконными обитателями земель со времени сотворения человека.

Спустя многие тысячелетия вторичное открытие за пределами Евразии трех анклавов — Америки, Южной Африки и Австралии — дали мощный импульс последнему межматериковому переселе-



Рабы — коренные австралийцы.





Корабль, забитый африканскими рабами.

нию (как добровольному, так и принудительному) самых разнообразных этнических групп, причем не только европейских, но и туземных. На планете все это довольно быстро привело к переменам как в лингвосоциокультурных раскладах, так и в генотипических дисперсиях. Переселенцы могли вступать в биологические контакты с аборигенами, но, может быть, чаще преобладали различные формы геноцида.

Наиболее ярким следствием подобного рода контактов и этнических передвижений стало, конечно же, рабство и работорговля. В определенном отношении работорговля могла служить и служила на самом деле весомой конкуренцией неистового в те поры гона за драгоценными металлами. Еще в 1452 г., на заре первой фазы открытий, сам римский папа Николай V наказывал португальским христианам ...вторгнуться, разыс-

кать, захватить, победить и покорить всех сарацин и язычников вообще и других врагов Христа, где бы они ни были... обладать ими и сводить... людей к вечному рабству и применять и устраивать себе и своим преемникам царства... княжества, владения... и превратить все в... использование и прибыль [3].

Призыв к освоению нового, ранее неведомого мира и установку апостольской церковью на вечное — для «почти нелюдей» — рабство восприняли многие, и результаты отклика не замедлили сказаться в скором появлении бесчисленных масс рабов. Так формировалась и шири-

лась база глобальных, общепланетарных метаморфоз эпохи Нового времени.

Homo sapiens в африканской колыбели человечества: необъяснимый парадокс

Любопытным следствием глобальных сдвигов на планете оказалась изоляция всех четырех анклавов и связанных с ними культур *H.sapiens*, ведь именно они вынесли на себе все тяготы первопроходцев. Природа тем самым невольно поставила перед разрабатывающими эту проблематику науками — археологией, антропологией, этнологией — своеобразные вопросы-загадки. Культуры разных анклавов существовали изолированно другот друга в течение по меньшей мере 11–12 тыс. лет без каких-либо явных и значимых взаимных контактов. А Австралия была изолирована много

дольше — 40–50 тыс. лет. И потому интерес к результатам столь протяженной разобщенности представляется чрезвычайным.

Изоляцию сокрушили европейские *пионеры великих открытий*, сумевшие в XV–XVII вв. преодолеть многие десятки тысяч километров неведомой океанской шири. Но немедленно следует вопрос: что за аборигены предстали перед мореходами на открытых ими землях? Судя по всему, в среде изумленных европейских мореплавателей нередко звучал тогда вопрос: так люди это или же нелюди? Но если люди, то отчего они так непохожи на привычных нам?*

Обратимся прежде всего к той картине, что предстала перед европейскими второпроходцами в колыбели человечества, т.е. в Южной и Восточной Африке или же в ее так называемой субсахарной половине. Здесь не может не удивить контраст, отражающий воистину полярный характер сопоставляемых признаков, причем признаки эти относятся к числу важнейших в любой культуре, т.е. к антропологическим, а также технологическим. С позиции антропологии здесь в первую очередь на себя обращают внимание популяции пигмеев, населявших лесные зоны Африканского анклава. Наряду с иными, с антропологической позиции весьма отличными от них популяциями, например, с бушменами, пигмеи были абсолютно не знакомы со способами жизнеобеспечения экономики производящего типа: у них полностью доминировало собирательство и охота. Им противостояли кланы/культуры, знакомые даже с металлургией (производство металла на базе ве́домых им весьма архаичных методов здесь можно было наблюдать вплоть до XX в.).

Поскольку мы избрали путь сопоставлений ранее изолированных друг от друга культур на всем огромном пространстве планеты, то сравнение с евразийскими картинами кажется необходимым. В каком-то отношении при сопоставлении африканской колыбели с анклавом Евразии нельзя не заметить определенные параллели с сибирскими регионами в период перехода от эпохи бронзы к веку железа (на рубеже 2-го и 1-го тысячелетий до н.э.). Преимущественно в Восточной Сибири картина культур также отличалась изрядной пестротой, но контрасты выглядели там не столь броско. Остававшиеся в рамках присваивающей эконо-

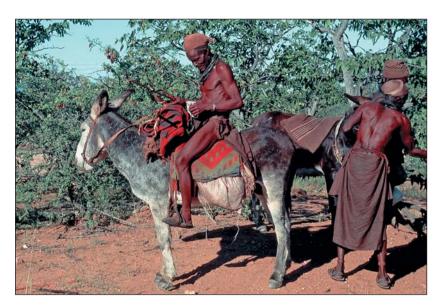


Европейский исследователь с семейством пигмеев в Центральной Африке.

мики с доминирующими охотой и рыболовством евразийские народы расселялись в северных областях материка, в лесотундре и тундре, тогда как в Южной Африке они встречались в основном в джунглях и пустынях. Обитатели севера Сибири также отличались от степняков своими антропологическими признаками, но опять-таки в Сибири различия были не столь значимы в сравнении с феноменом африканских народов.

Одним из самых ярких парадоксов мировой истории предстает труднообъяснимая и удивительная параллель: южноафриканская колыбель человечества в течении более 2 млн лет была источником различных видов Ното. Именно африканские мигранты обеспечили культурный прогресс самого крупного на планете Евразийского анклава. И вдруг перед нами вырастает, пожалуй, намного более выразительный феномен: после второоткрытия эта колыбель внезапно приобретает роль главного поставщика рабов в «мир белых людей». Невольники отправляются преимущественно уже в другой анклав — сравнительно недавно открытую и освоенную европейцами Северную Америку. Первая партия черных рабов прибыла на этот континент в 1619 г. А к началу войны (1861-1865) между бо-

^{*} В рамках статьи вряд ли возможно подробно и детально рассказать обо всех характеристиках культур и социальных формирований трех анклавов. По всей вероятности, будет достаточно представить читателям ряд основных и по преимуществу русскоязычных публикаций, на которые опирался автор при выработке собственных представлений о культурах аборигенов Южной и Восточной Африки [4–12], Америки [13–19] и Австралии [20–22].



Оседлые народы скотоводов и земледельцев Южной Африки.



Выплавка железа у народов Центральной Африки. Фото 1940 г.



Памятник рабам на о.Занзибар.

рющимся против рабства Севером и отстаивавшим свое «незыблемое право на рабовладение» Югом значительная часть населения южных штатов (13%, или около 4 млн человек) была представлена темнокожими подневольными обитателями*.

Примечательно также, что даже в Европе вплоть до 30-х годов прошлого столетия, спустя семь десятков лет после окончания в Северной Америке Гражданской войны, широкой публике демонстрировали негритянских невольников за оградой — в качестве чужеродных и диковинных животных.

Так популяции исходной колыбели всего человечества оказались подневольно втянутыми в новое Великое переселение народов, и это вполне достойно относить к знаменательным парадоксам и метаморфозам мировой истории.

Homo sapiens на Американском континенте

Загадочные контрасты культур встретят нас также и в Американском анклаве, причем, пожалуй, в форме даже более выразительной, нежели в субсаха́рной Африке. Однако изначально вспомним о наиболее ярких и развитых социальных формированиях этого материка. Речь пойдет о Центральной Америке, и прежде всего о хронологически следующими друг за другом или даже частично совместимыми по возрасту цивилизациями (теотиуакан, майя и ацтеки). Их памятники теснились на узком перешейке между Северным и Южным субконтинентами, а также между Атлантическим и Тихим океанами. Цивилизации эти знамениты и хрестоматийно известны в мире, прежде всего благодаря громадам сложных и неповторимых по конструкции каменных пирамидальных сооружений.

^{*} www.civil-war.net/pages/1860 census.html



Центральноамериканский город-государство Теотиуакан (III-V вв.). Фотография сделана с пирамиды храма Луны, вдали слева видна пирамида храма Солнца.

Знаменитый испанский миссионер, а позднее епископ Диего да Ланда (1524-1579) писал в своей книге «Сообщение о делах в Юкатане» (1566), что там ...много зданий большой красоты; это наиболее замечательная вещь из открытых в Индиях. Все они из очень хорошо вытесанного камня, хотя в этой стране нет никакого металла, которым можно было бы тесать. Эти здания очень похожи одно на другое и являются храмами [19]. В этих весьма своеобразных и мало похожих на евразийские храмах нередко свершались кровавые обряды, в том числе казни с вырезанием сердец. Носители культур Центральной Америки обладали письменностью, а также удивительным по корректности солнечным календарем, выполнявшим также функции различных пророчеств и предсказаний, причем не только для знатных персон, но и для крупных социальных формирований.

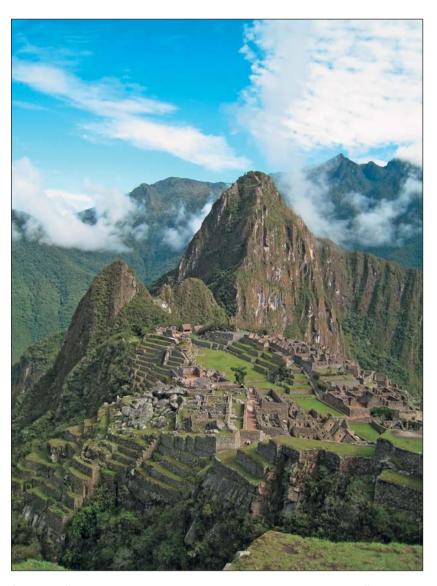
Южнее, в основном в Колумбии, Перу и на севере Чили, были распространены памятники различных культур цивилизации инков, зачастую плотно прижатые Андами к тихоокеанскому побережью. Среди них поражают



Храм Великого Ягуара (Центральная Америка, г.Тикаль, цивилизация майя).



Пирамида Кукулькана в Чичен-Ица (Центральная Америка, цивилизация майя).



Сакральный город Мачу-Пикчу (Перу, цивилизация инков), основанный примерно в 1440 г. на высоте около 2450 м над ур.м.



Каменные сооружения города Мачу-Пикчу.

города, например знаменитый Мачу Пикчу, который служил, как полагают многие, высокогорной царской резиденцией, возведенной около 1440-1450 гг. правителем инков Пачакутеком. К тому же эти культуры весьма знамениты и своими погребальными памятниками знатных персон, могилы которых буквально забиты множеством самых разнообразных, порой фантастического облика предметов, среди которых самое пристальное внимание привлекают, конечно, золотые. По богатству могилам инков не уступают захоронения культур кимбайя в Колумбии и сипан на севере Перу.

И если опять-таки сопоставлять эти весьма развитые культуры Американского анклава с Евразийскими культурами, то сразу же напрашивается очевидная параллель с Древним Египтом, с его каменными пирамидами, с богатыми захоронениями фараонов. Различия касаются, разумеется, хронологической позиции: пирамиды Теотиуакана сооружались примерно тремя тысячелетиями позднее египетских. Тем не менее возникает вопрос: как все же объяснить это столь отдаленное во времени и пространстве сходство?

Теперь о других контрастах. Они становятся очевидными, если двигаться, например, от аборигенов Аляски и эскимосов, от проливов между Америкой и Гренландией в направлении ареала ацтеков, к перешейку между субконтинентами и далее, на крайний юг, к популяциям, расселившимся на суровых и неуютных островах Огненной Земли близ Магелланова пролива.

Чарлз Дарвин и аборигены Огненной Земли и Австралии

Когда испанские конкистадоры столкнулись с высокими образцами культур инков или ацтеков, их, скорее всего, вряд ли одолевали сомнения, что перед ними

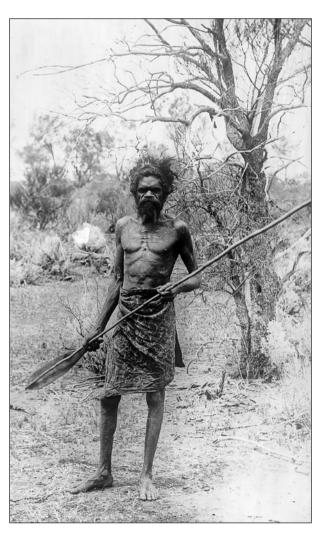
в общем-то люди нормальные. Правда, с точки зрения победителей, коренные обитатели Нового Света страдали крайне прискорбным изъяном — они были далеки от христианского учения, и к этим высоким истинам туземцев следовало подвести, хотя бы даже насильно.

Однако намного более непонятными выглядели периферийные аборигены Огненной Земли или же Австралии, относительно которых и задавались вопросом: это все-таки люди или нет? Так, судя по всему, могли говорить и говорили рядовые участники трансокеанских плаваний. И в этой ситуации существенно более интересной для нас была, конечно же, реакция Дарвина. В свои молодые годы — а ему было тогда всего 22–23 — он принимал участие в растянувшемся почти на пять лет (1831–1836) кругосветном путешествии на корабле «Бигль» и подробно описал его в своих дневниках [23]. Впрочем, признание его великих заслуг перед наукой особо не задержалось.

В 1833-1834 гг. близ Магелланова пролива Дарвин сумел познакомиться с обитателями Огненной Земли: Вид огнеземельцев, сидящих на диком заброшенном берегу, произвел на меня неизгладимое впечатление. Перед глазами предстал образ — вот так же, когда-то давно, сидели наши предки. Эти люди были совершенно наги, тела разукрашены, спутанные волосы свисали ниже плеч, рты раскрылись от изумления, а в глазах затаилась угроза... Я мог произойти как от той смелой обезьянки... или того старого бабуина... так и от дикаря, который испытывает удовольствие, мучая врагов, и приносит в жертву кровь животных. Он без малейших угрызений совести убивает младенцев, относится к женщинам, словно к рабам, он не знает, что такое правила приличия и полностью зависит от нелепых суеверий.

В Австралии впечатления Дарвина оказались существенно более глубокими: Я убежден, что на краю Южной Америки человек стоит на более низкой ступени развития, нежели в каком-нибудь другом месте на земле. Островитяне двух рас, населяющих южную часть Тихого океана, сравнительно цивилизованны. Эскимос в своей подземной хижине пользуется некоторыми удобствами жизни, а в своем челноке, когда он полностью снаряжен, проявляет много ловкости. Некоторые племена Южной Америки, бродящие в поисках кореньев и живущие уединенно в диких и безводных равнинах, достаточно жалки. Австралиец по простоте своих способов существования всего ближе к огнеземельцу, однако он может похвастать своим бумерангом, копьем и дротиком, своим способом лазить на деревья, выслеживать животных и охотиться. Несмотря на то что австралиец, быть может, стоит выше по приобретенным навыкам, это никоим образом не означает, что он точно так же выше и по умственным способностям; в самом деле, судя по моим наблюдениям за огнеземельцами на борту корабля и по тому, что я читал об австралийцах, я склонен думать, что дело обстоит как раз наоборот [23].

Стоит заметить, что австралийские аборигены также служили товаром в работорговле, которую вели европейские колонизаторы. Вспомним и еще одно весьма важное обстоятельство: именно в ходе кругосветного плавания и сопутствовавших наблюдений у Дарвина происходила выработка базовых основ его знаменитой глобально-эволюционной теории. Изначально его взгляды были выражены в опубликованной в 1859 г. книге «Происхождение видов», которая довольно скоро привлекла внимание многих ученых из разных стран. Книга, кстати, отражала также полное отвержение великим исследователем христианских непреложных канонов о возникновении на Земле всего сущего. Трансформация его мировоззрения свершилась очень быстро — ведь мысли Дарвина полностью подчинялись исходным догмам еще во время его первого появления на борту «Бигля», и об этом он говорил вполне откровенно.



Австралийский абориген (фотография начала XX в.).

В автобиографии Дарвин подробно разбирает все происходившие с ним перемены, а финальный сюжет отречения от традиционных религиозных взглядов выражен им на удивление жестко: Я лишь с трудом могу пожелать, чтобы кто-то разглядел в христианстве истину; ведь в [сакральных христианских] текстах сказано, что если люди не веруют — а это мой отец, мой брат и почти все мои лучшие друзья — то они подвергнутся вечному наказанию. Отвратительная вера (damnable doctrine) [24, c.87].

Каноны шестоднева

Любое открытие всегда нам что-то проясняет по крайней мере должно прояснять. Однако при этом незамедлительно в головах людей вызревает цепочка неожиданных вопросов: «Что это такое? Как это следует понимать? Может быть, это совершенно не то и не так?». И найти удовлетворительный ответ на подобные вопросы бывает порой весьма непросто. Правда, такие сомнения и трудности в осознании относятся по преимуществу отнюдь не к технологическим постижениям, где прорывы осваивают, как правило, не очень многочисленные группы профессионалов. Ситуация меняется, если открытия или же то, что принимают за открытия, касаются гораздо более обширных сфер, прежде всего мировоззрения. Господствующие в том или ином социуме догмы рядовой человек впитывает с детства, и они кажутся ему бесспорными, непреложными. И внезапно ему начинают внушать, что все это не так, а иначе... Вот, скажем, тысячелетиями люди были уверены и никогда не сомневались, что наша Земля плоская. И вдруг...

В любом случае такого разряда открытия никогда не воспринимают сразу. И процессы их восприятия протекают чаще всего крайне мучительно. И здесь потребными оказываются не сотни, но даже тысячи лет, пока люди шаг за шагом постепенно не начинают свыкаться с новыми понятиями. Одним из наиболее ярких и болезненных сюжетов в подобной загадочной серии можно считать так называемый *шестоднев*.

Для приверженцев иудаизма и христианства шестоднев служит, безусловно, каноном исходным, объясняющим происхождение всего сущего, того мира, в котором мы пребываем и доныне. И все окружавшее нас сущее, включая *Ното* (он же Адам), было сотворено богом в шесть дней, с чего и началась история человечества. Ведь в некое чрезвычайно отдаленное от нас время это звучало для людей верующих как величайшее открытие. И никаких вопросов задавать не полагалось, все было предельно ясным, отчего любые вопросы и сомнения приравнивались непременно и немед-

ленно к ереси богохульной. Приверженцы иудаизма подобные жесткие условия должны были соблюдать, кажется, не менее трех, а христиане около двух последних тысячелетий. Но вот шаг за шагом стали подступать иные времена, когда вдруг заговорили о сотнях тысяч, а затем даже и о миллионах лет от момента зарождения Ното. К тому же все эти разговоры не ограничивались простыми словами, сюда добавляли различного рода доказательства, а с ними уже было крайне трудно спорить. И поклонникам этой пары авраамических религий спор не очень удавался (заметим, что в исламе шестоднев представлен несколько иначе). Возникший конфуз отразился на множестве сочинений религиозных иерархов, пытавшихся как-то объяснить и сгладить несогласия. Однако очень быстро - может, даже стремительно - различия в версии шестоднева и иных научных построений достигли величин поистине космических. И все это нужно было как-то трактовать, но результат выглядел совсем без блеска, что-то не получалось...

Обратите внимание: с момента старта открытий, т.е. от ранних десятилетий и столетий Нового времени, прошло не менее пяти сотен лет, и возможно ли думать, что носители тех культур, где господство авраамических религий кажется бесспорным, убеждены отныне в ложности канонов шестоднева? Увы! Дискуссии продолжаются... При этом их наиболее мучительные каналы сопряжены, пожалуй, с исходной историей человека.

Наука и вера: что сильнее?

Если сравнивать образы родоначальников Ното в представлениях науки и авраамических вероисповеданий, то фигура Адама предстает, безусловно, гораздо более привлекательной на фоне архантропов палеоантропологических реконструкций. Адам был божественным творением. И сказал Бог: сотворим человека по образу Нашему и по подобию Нашему (Бытие, 1:26). Архантроп же плохо отвечал и образу, и подобию Всевышнего. И потому никак не походил на то, что было сотворено в последний день шестоднева, перед тем как ...совершил Бог к седьмому дню дела Свои... и почил в день седьмый от всех дел Своих (Бытие, 2:2). Правда, позднее родоначальники Ното — Адам с Евой сильно проштрафились, отчего и лишились рая... Вполне возможно, что все подобного рода соображения и послужили одной из важнейших деталей в беспрерывных дискуссиях между наукой и верой, отчего наука и не была в состоянии одолеть веру. Сюда можно было присовокупить также, что мореходы-второоткрыватели сталкивались на неведомых континентах даже не с архантропами, но с представителями *H.sapiens*, т.е. уже с людьми

разумными (даже если мореходы за таковых аборигенов не признавали).

И вот тут у читателей может возникнуть серия коварных вопросов. Например, если полагаться на науку, то временной разрыв от архантропа до *H.sapiens*, или даже, как теперь говорят, до *H.sapiens sapiens*, равен 2–2.5 млн лет. Да и антропологический облик архантропов кажется для нас весьма чужеродным, хоть мы и связаны одной неразрывной нитью. Не выглядят ли все эти научные построения весьма странными?

Действительно, хронологический разрыв между архантропом и нами кажется огромным. Но постараемся оценить его с иных позиций. Так, протяженность антропогена на фоне возраста нашей планеты — около 2.5 млн лет из 4.5 млрд лет соответственно. При геологическом или даже геоархеологическом подходе вполне очевидно, что антропоген схож с микроскопической по толщине пленкой на земной поверхности. Но для нас важнее иное — феноменальная скорость кардинальных перемен во всей конституции биологического вида Ното. Это резко бросается в глаза при его сопоставлении с другими млекопитающими. Некоторые виды человеку удалось приручить и одомашнить — собаку, корову, лошадь, овцу, северного оленя, слона... Однако «чарам» человека поддались далеко не все, многие так и остались в разряде его недругов. И каковой же в таком случае будет наша оценка перемен как в физическом, так и в «умственном» развитии домашних и диких животных? Притом оценку мы выставим не за 2.5 млн лет антропогена, а за гораздо большее время. Почти уверен, что оценка будет нулевой или же близкой нулю. И это при том, что мы нередко впадаем в восхищение от тех собак, что, скажем, тонко улавливают желания своих хозяев. Безусловно, род Ното среди млекопитающих уникален и неповторим. И кажется, что фантастическая скорость фундаментальных перемен в его конституции буквально «пожирает» те кажущиеся бесконечными тысячелетия от архантропа до H.sapiens и даже до H.sapiens sapiens...

Здесь у автора невольно напрашивается желание подсказки тем, кто пытается сблизить веру с наукой, уменьшить разрыв между ними, не отвергая при этом аргументов противоборствующих сторон. Дело ведь можно объяснить достаточно просто: Всевышний благословил вид *Ното*, позволив ему выглядеть отлично от его млекопитающих сородичей. Почему? Вот это не спрашивайте: задумки и желания Всевышнего всегда остаются для нас непостижимыми...

Мы возвращаемся к вопросу, которым озаглавили данный раздел: так что же сильнее — наука или вера? Разумеется, вера: ведь наука существует и живет в постоянных сомнениях и проверках, а вера — никогда!

Последний и весьма болезненный вопрос

Вся наша статья буквально насыщена самыми разнообразными вопросами. Они оказались очень непростыми, и было крайне сложно отыскать на них удовлетворительные ответы. Но вот вслед за уже сформулированными всплывает еще пара взаимосвязанных сюжетов, которые, пожалуй, либо также останутся труднообъяснимыми, либо будут объяснены таким образом, что вновь породят блок очередных и опять же непростых вопросов.

Итак, начнем с первого: как все же объяснить, что именно в эпоху Нового времени происходит столь впечатляющая вспышка — возникновение рабства и рабовладения? Эта вспышка охватила буквально весь земной шар. В работорговле активное участие принимали англичане, которые уже тогда справедливо гордились своим прогрессивным настроем вкупе с прошлым, ведь Великая хартия вольностей (знаменитая Magna Carta) была принята в Англии еще в 1215 г. Однако спустя четыре с небольшим сотни лет набитые невольниками корабли отплывали из Африки к новым британским колониям в Америку...

Но вот второй вопрос: о синхронном рабстве в России. Крепостное право в его жестоком варианте — это также безусловное рабство, хотя и в некой разновидности. В сравнении с Европой у нас все выглядело крайне непонятно и скверно. Там хотя бы можно было говорить о совершенно непохожих на «истинных» людей нелюдях, о существах с темной или черной кожей, о нехристях, не ведавших нормального языка... А в России рабами становились представители родного этноса — люди, говорящие по-русски, с белой кожей, к тому же крещеные... Как все это понять? Происходило что-то необъяснимое и весьма уродливое. Тема эта для России действительно архиболезненная.

О крепостном праве в России писали многие и много. Существующая по этой проблеме литература прямо-таки необозрима. Она насчитывает сотни больших и малых работ, в которых исследованы различные ее аспекты... Известно, что в русской дворянско-буржуазной исторической науке при наличии множества оттенков по вопросу закрепощения крестьян довольно четко обозначились две основные концепции, или теории, — указная и безуказная. <...>

В конце 1858 г. в славянофильском журнале «Русская беседа» появилась статья М.П.Погодина под названием «Должно ли считать Бориса Годунова основателем крепостного права?». Она нарушила то единодушие, которое существовало среди профессиональных историков по вопросу происхождения крепостного права в России. Погодин решительно выступил против указной теории, завоевавшей к тому времени очень прочные позиции и разделявшейся подавляющим большинством уче-



Сбор недоимок. Художник А.А.Красносельский. 1869 г.

ных и общественных деятелей. Он пытался доказать, что никакого закона об отмене Юрьева дня никогда не существовало, что крепостное право было создано помимо участия государственной власти, ходом самой жизни. В названной статье автор писал: «Нет возможности поймать моменты водворения у нас рабства... Рабство закралось к нам исподтишка: виноват не Борис Годунов, не Иоанн Грозный, не Петр Великий, а больше всего народный характер, кроткий, смирный и терпеливый до крайностей...» [25, с.20].

Вполне вероятно, что Крестьянская война 1773-1775 гг. под водительством Емельяна Пугачева сыграла свою роль в смене представлений у элиты о великом крепостном российском сословии —

до Пугачевщины. Вот как по годам шаг за шагом следовало в России ужесточение норм крепостничества: в 1497 г. ввели ограничения права перехода от одного помещика к другому (Юрьев день), в 1581 г. такое право отменили («заповедные лета»), в 1597 г. помещики получили право на розыск и возвращение беглого крестьянина в течение пяти лет («урочные лета»), в 1607 г. этот срок увеличился до 15 лет, а в 1649 г. сыск стал бессрочным. Податная реформа 1718–1724 гг. окончательно прикрепила крестьян к земле. В 1746 г. вышел сенатский указ «О непокупке купцам и прочим разночинцам, состоящим в подушном окладе, людей и крестьян». В 1747 г. помещики получили право продавать своих крепостных в рекруты любому лицу, в 1760 г. – ссылать в Сибирь, в 1765 г. – от-

правлять на каторжные работы. В 1767 г. крестьянам запретили подавать челобитные на своих помещиков лично императрице или императору. Но в конечном итоге 19 февраля 1861 г. вышел Манифест Александра II об отмене крепостного права.

и в конечном итоге России удалось вступить в 1861 год. Кажется примечательным, что в тот же год на другом континенте между рабовладельцами Юга и демократами Севера развязалась жестокая война против практики рабства, за единство граждан без

Судя по всему, можно думать, что в споре между указниками и безуказниками по-своему правы и те и другие. Первые могут ссылаться и ссылаются на длинный перечень властных распоряжений, нараставший в течение едва ли не трех сотен лет вплоть

учета цвета кожи.

А приверженцы безуказников смогут совершить впечатляющий прыжок вперед - примерно на семь десятилетий и сослаться на то, как уже после революции 1917 г. в недрах Советского Союза жители деревни были лишены права нормального гражданства. В 1932 г. в стране ввели паспортную систему, но колхозникам паспорта просто не выдавали. Отлучиться из колхоза можно было лишь по справке, выдаваемой председателем, с указанием цели и срока



Торг. Сцена из крепостного быта. Из недавнего прошлого. Художник Н.В.Неврев. 1866 г.



Чтение манифеста (Освобождение крестьян). Художник Б.М.Кустодиев. 1907 г.

отлучки (но не более 30 суток). Так что в некотором смысле они были даже «более крепостными», чем при царизме. Уехать в город и жить там без паспорта люди не могли: такие «беспаспортные» персоны подвергались штрафу и «удалению распоряжением органов милиции». Повторное нарушение влекло за собой уже уголовную ответственность...

Только в 1974 г. началась поэтапная и законная отмена «крепостного права» в СССР. Полная паспортизация началась 1 января 1976 г. и закончи-

лась 31 декабря 1981 г. За шесть лет в сельской местности было выдано 50 млн паспортов*. И все это в основном безропотно сносилось сельскими жителями, колхозниками**.

Окончание в следующем номере

Литература/References

- 1. *Гуревич А.Я.* Категории средневековой культуры. М., 1984. [*Gurevich A.Ya.* Categories of medieval culture. Moscow, 1984. (In Russ.).]
- 2. *Петренко В.Ф.* Психосемантика ментальности (вместо введения). Евразийская ментальность. Ред. В.Ф.Петренко, И.Н.Карицкий. М., 2012. [*Petrenko V.F.* Psychosemantics of mentality (instead of introduction). Eurasian mentality. V.F.Petrenko, I.N.Karitsky (eds). Moscow, 2012. (In Russ.).]
- 3. Romanus Pontifex. European Treaties bearing on the History of the United States and its Dependencies to 1648. Washington, 1917: 20–26.
- 4. Народы Африки. Очерки общей этнографии. Ред. С.П.Толстов, М.Г.Левин, Н.Н.Чебоксаров. М., 1957; 257–337. [The peoples of Africa. Essays on general ethnography. S.P.Tolstov, M.G.Levin, N.N.Cheboksarov (eds.). Moscow, 1957; 257–337. (In Russ.).]

^{*} http://demoscope.ru/weekly/2002/093/arxiv01.php

^{**} Я достаточно хорошо знаком с этими десятилетиями по собственному детству и юношеству: тогда несколько моих теток и старших двоюродных братьев и сестер числились в колхозниках, паспортов не имели, и их редкие появления в семьях родственников в Москве запоминались всегда очень крепко.

- 5. Маке Ж. Цивилизации Африки южнее Сахары. М., 1974. [Macke J. Civilization of Sub-Saharan Africa. Moscow, 1974. (In Russ.).]
- 6. Кларк Дж.Д. Доисторическая Африка. М., 1977. [Clark J.D. Prehistoric Africa. Moscow, 1977. (In Russ.).]
- 7. Железный век Африки. Ред. Л.Е.Куббель, Г.С.Киселев. М., 1982. [Iron Age of Africa. L.E.Kubbel, G.S.Kiselev (eds.). Moscow, 1982. (In Russ.).]
- 8. Африка: возникновение отсталости и пути развития. Ред. Ю.М.Кобищанов, Л.Е.Куббель, И.В.Следзевский. М., 1974. [Africa: the emergence of backwardness and development paths. Yu.M.Kobishanov, L.Ye.Kubbel, I.V.Sledzevsky (eds). Moscow, 1974. (In Russ.).]
- 9. *Дэвидсон Б*. Африканцы. Введение в историю культуры. М., 1975. [*Davidson B*. Africans. Introduction to the history of culture. Moscow, 1975. (In Russ.).]
- 10. *Кобищанов Ю.М.* Африканские цивилизации: становление и эволюция. Африка. Культурное наследие и современность. Ред. Р.Н.Исмагилов. М., 1985; 69–131. [*Kobishanov Yu.M.* African civilizations: formation and evolution. Africa. Cultural heritage and modernity. R.N.Ismagilov (ed.). Moscow, 1985; 69–131. (In Russ.).]
- 11. *Пугач З.Л.* Культура народов верховьев Нила (по материалам путешествий В.В.Юнкера). М., 1985. [*Pugach Z.L.* The culture of the peoples of the Upper Nile (according to the materials of the journeys of V.V.Juncker). Moscow, 1985. (In Russ.).]
- 12. *Оливер Р.*, *Фэган Б.* Рождение бантуязычной Африки. Из истории африканского средневековья (статьи британских ученых). М., 1986; 77–147. [*Oliver R.*, *Fagan B*. The birth of Bantu-speaking Africa. From the history of the African Middle Ages (articles by British scientists). Moscow, 1986; 77–147. (In Russ.).]
- 13. *Гуляев В.И.* Древние майя: Загадки погибшей цивилизации. М., 1983. [*Gulyaev V.I.* Ancient Maya: Mysteries of the lost civilization. Moscow, 1983. (In Russ.).]
- 14. Гуляев В.И. Древние цивилизации Америки. М., 2008. [Gulyaev V.I. Ancient civilizations of America. Moscow, 2008. (In Russ.).]
- 15. *Берёзкин Ю.Е.* Мочика: Цивилизация индейцев Северного побережья Перу в I–VII вв. Л., 1983. [*Berezkin Yu.E.* Mochika: Civilization of the Indians of the Northern Coast of Peru in the I–VII centuries. Leningrad, 1983. (In Russ.).]
- 16. Берёзкин Ю.Е. Империя инков. М., 2014. [Berezkin Yu.E. Inca Empire. Moscow, 2014. (In Russ.).]
- 17. Smith M.E. The Aztex. Oxford, 2012.
- 18. Proyecto Arqueologico Huacas del Sol y de la Luna (www.arqueologiadelperu.com.ar/laluna.htm).
- 19. Диэго де Ланда Сообщение о делах в Юкатане М.; Л., 1955. [Diego de Landa Report on affairs in the Yucatan. Moscow; Leningrad, 1955. (In Russ.).]
- 20. *Кабо В.Р.* Происхождение и ранняя история аборигенов Австралии. М., 1969. [*Cabo V.R.* The origin and early history of the Australian Aborigines. M., 1969. (In Russ.).]
- 21. Butler K.J. Witnessing Australian stories: History, testimony, and memory in contemporary culture. New York, 2017.
- 22. Glendinnen I. True Stories (www.abc.net.au/radionational/programs/boyerlectures/true-stories/3341010).
- 23. Дарвин Ч.Р. Путешествие вокруг света на корабле «Бигль». М., 2013. [Darwin C.R. Travel around the world on the ship «Beagle». Moscow, 2013. (In Russ.).]
- 24. The autobiography of Charles Darwin 1809–1882. With the original omissions restored. Edited and with appendix and notes by his grand-daughter Nora Barlow. L., 1958.
- 25. *Кара-Мурза С.Г., Шевченко М.М., Чаянов А.В.* Крепостная Россия. Мудрость народа или произвол власти? М., 2016. [*Kara-Murza S.G., Shevchenko M.M., Chayanov A.V.* Russian Serf. The wisdom of the people or the tyranny of power? Moscow, 2016. (In Russ.).]

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

E.N.Chernykh

Institute of Archaeology, RAS (Moscow, Russia)

Homo Cultures are the model or the way of existence of every ethnos in the Earth. The cultural structure is characterized by three main and constant demonstration aspects — technological, social, and psychological. This paper continues the discussion presented in the journal "Priroda" (2018. Nº3–7) on the global theme "Homo Cultures: the Nodal Questions of the Million-Year History", where social formations of the entire Quaternary period (at least 2.5 million years) were considered to some extent. The main and sufficiently detailed attention in the last discussion was given to the first two aspects of human cultures — technological and social. In this paper the author focused on the third one, probably the most difficult to decipher: after all, extremely little, if any, attention was paid to psychological aspects of cultures both in history and especially in archeology. The subjects concerned mainly different aspects of collective psychology.

Keywords: *Homo* Cultures, Modern era, European colonization of Earth, slavery.

К 150-летию романа Жюля Верна

«Двадцать тысяч лье под водой»

С.В.Смолицкий

Институт океанологии имени П.П.Ширшова РАН (Москва, Россия) e-mail: smolitskiy@inbox.ru

20 марта 1869 г. во французском журнале «Magasin d'éducation et de récréation» появились первые главы романа Жюля Верна «Двадцать тысяч лье под водой», а 20 июня 1870 г. вышел номер с заключительными строками этого произведения. Так в мир пришла книга, читаемая и любимая уже шестым поколением благодарных читателей. Но что в популярном романе правда и что — вымысел? Каким был путь реальной подводной техники до появления фантастического судна капитана Немо и какую эволюцию она прошла от «Наутилуса» до наших дней? Эти вопросы давно занимали С.В.Смолицкого, инженера, водолаза, гидронавта, автора книги «По следам "Наутилуса"», которая готовится к изданию в Санкт-Петербурге. Мы публикуем избранные главы из этой книги с небольшими редакционными изменениями.

Ключевые слова: роман Жюля Верна «Двадцать тысяч лье под водой», подводная лодка.

умаю, не ошибусь, если скажу, что очень многие из моих коллег пришли в профессию, связанную с подводными исследованиями, не в последнюю очередь потому, что в отрочестве попали под обаяние великого романа Жюля Верна «Двадцать тысяч лье под водой».

Мой первый более или менее осмысленный ответ на вопрос «Кем ты хочешь стать, когда вырастешь?» был: «Морским биологом». Впоследствии (не без влияния персонажа другого романа Жюля Верна — Сайруса Смита) я пленился профессией инженера. Понимал, что тот тип универсала от техники, который описан в «Таинственном острове», нынче никому не нужен, что современный инженер — куда более узкий специалист, но профессия профессией, а мечты мечтами. Помечтать ведь можно и о несбыточном... Тем более что Януш Корчак, писатель из числа тоже очень любимых мною, так прямо и советовал: «Дети! Дерзайте, мечтайте о славных делах! Что-нибудь да сбудется!».

Сбылось в итоге куда больше того, о чем смел мечтать в детские и юношеские годы. Я погружался под воду в водолазном снаряжении, проектировал и строил исследовательские подводные аппараты, испытывал их, ходил с этой техникой в научные экспедиции, побывал в океанских глубинах, видел затонувшие корабли, диковинных животных и вообще много такого, о чем Жюль Верн не догадывался. Кроме того, в этих экспедициях мне неоднократно приходилось прямо посреди океана решать на практике инженерные задачки из самых



Жюль Верн (1828-1905).

разных, порой неожиданных областей. Так что, можно сказать, в жизни мне довелось почувствовать себя немножко и капитаном Немо, и инженером Сайрусом Смитом.

Время от времени перечитывая Жюля Верна, опять и опять наталкиваясь на обильно рассыпанные там технические подробности, я всегда хотел



С.В.Смолицкий у глубоководного аппарата «Мир» на научно-исследовательском судне «Академик Мстислав Келдыш». Автор статьи — участник многих научных экспедиций, в том числе, на Северный полюс, оз.Байкал, к «Титанику», на черные курильщики и другие интересные объекты.

докопаться до правды: как же на самом деле шло развитие подводной техники? Найденными мной ответами я хочу с вами поделиться.

Из истории подводных лодок — предшественниц «Наутилуса»

Первый действующий образец подводной лодки построен для английского флота голландским механиком Корнелисом ван Дреббелем (1572–1633) и продемонстрирован в 1620 г. Лодка была сдела-

(F) REBBEL

Подводная лодка ван Дреббеля, музейная реплика.

на из дерева, усиленного железными полосами, и снаружи обтянута промасленной кожей. Она вмещала около 15 человек: 12 гребцов, работавших веслами, и трех пассажиров. С таким экипажем «подводная галера» и совершила первое демонстрационное плавание по Темзе в присутствии короля Якова I Английского и многочисленной публики. Держась на глубине 4-5 м, лодка проплыла по течению от Вестминстера до Гринвича (около 3.7 км) со средней скоростью три узла. Восторженный современник упоминает о прозрачных «окнах», служивших «для рассмотрения предметов на дне или посреди моря»: они позволяли «все видеть без свечи и читать Библию или любую другую книry». Ван Дреббель построил три лодки и совершил множество плаваний по Темзе, однако использовать его изобретение для нужд флота не захотели [1-3].

В России первую подводную лодку пытался построить изобретатель-самоучка Ефим Никонов при Петре І. Челобитная, поданная им царю в 1718 г., осталась без ответа. На второе прошение Петр обратил внимание спустя год, призвал к себе автора и после личной беседы повелел строить уменьшенную рабочую модель лодки. В отличие от англичан, испытывавших аппарат ван Дреббеля, русский самодержец предпочел не давать предприятию широкой огласки и приказал Никонову вести работы, «таясь от чужого глазу». В марте 1721 г.

действующая модель, управляемая самим изобретателем, была испытана на Галерном дворе* с погружением в невские воды.

Царь присутствовал при пробном плавании и остался им доволен. Никонов получил приказ строить «потаенное огненное судно большого корпуса». Однако после смерти Петра, в 1725 г., у изобретателя начались неприятности. Последние испытания «Морели» (так называлась лодка) прошли в 1727 г. и не увенчались успехом. Дальнейшие рабо-

^{*} Галерный двор — существовавшее в 18-м столетии судостроительное предприятие Санкт-Петербурга.

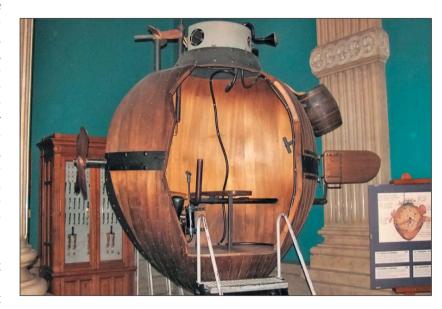
ты были прекращены, а автора приказали «...за те его недействительные строения и за издержку не малой на то суммы определить в адмиралтейские работники и для того отправить его в астраханское адмиралтейство... под караулом» [5].

Первая попытка боевого применения подводной лодки состоялась в ходе войны за независимость США и окончилась неудачей. Американский школьный учитель Дэвид Бушнелл в 1775 г. построил «Черепаху» — деревянную одноместную лодку, предназначенную для совершения диверсий против судов, стоящих на якоре или у причала. Подведя ее к вражескому кораблю, подводник должен был закрепить на нем мину с часовым механизмом, после чего скрытно уйти. 7 сентября 1776 г. сержанту Эзре Ли удалось, управляя «Черепахой», незаметно подойти к британскому флагману «Орел», однако закрепить мину не получилось: она всплыла и взорвалась на безопасном для корабля расстоянии. «Черепаха» благополучно вернулась с задания, но во втором боевом походе была потоплена орудийным огнем английских кораблей вместе с буксировавшим ее судном [7].

В XIX в. прогресс техники развивался невиданными доселе темпами — это касалось и строительства подводных лодок в разных странах мира. Так, в России под руководством талантливого военного инженера Карла Андреевича Шильдера (1785-1854) была построена первая в мире цельнометаллическая подводная лодка. В августе 1834 г. ее испытали на Неве в присутствии Николая І. Вооружена она была четырехдюймовыми зажигательными ракетами, запускавшимися из-под воды, - предтечами нынешних «Булавы» или «Полариса». Во время испытаний такими ракетами, стартовавшими из подводного положения, удалось поджечь служившие целя-



Подводная лодка Е.Никонова, макет.



Черепаха» Д.Бушнелла, музейная реплика.



Подводная лодка К.А.Шильдера, макет.

ми парусные шаланды. Надо сказать, что идеи Шильдера и разработчика ракет подпоручика П.П.Ковалевского намного опередили техническую мысль того времени: следующие попытки осуществить запуск боевых ракет с подводной лодки были предприняты в Германии лишь через 100 лет — в 1942 г. [4, 6].

Субмарины, сконструированные современниками Жюля Верна

Спустя без малого 100 лет после первой неудачной попытки в подводной войне в Америке был одержан и первый успех, только уже в ходе Гражданской войны между Севером и Югом. Это случилось 17 февраля 1864 г.: подводная лодка южан «Ханли», вооруженная миной на длинном шесте, потопила корвет северян «Хаусатоник», блокировавший выход из Чарлстонской бухты. Лодку назвали в память о ее создателе инженере Хорасе Ханли (1823–1863), погибшем во время одного из испытательных погружений. Она была сконтруирована из парового котла (по другим данным, ее корпус представлял собой оригинальную конструкцию), экипаж состоял из семи человек: пехотный лейтенант Диксон осуществлял командование и управление, а шестеро матросов крутили руками расположенный внутри коленчатый вал, соединенный с гребным винтом. После атаки «Ханли» удалось уйти из-под обстрела и даже подать световой сигнал на берег, однако вернуться к причалу она не смогла и затонула в 915 м от «Хаусатоника». Причина гибели лодки с экипажем так и осталась неразгаданной, даже после того как в 2000 г. группа энтузиастов смогла поднять ее со дна бухты. Останки моряков торжественно захоронили на Чарлстонском кладбище. Лодка прошла процедуру консервации и в настоящее время обследуется специалистами.

Так или иначе, первая подводная лодка, осуществившая результативную атаку, стала и первой боевой потерей в подводной войне [8].

В 60-е годы XIX в. на подводные лодки начали устанавливать паровые двигатели, заменяя ими мускульный привод. Построенная испанским инженером Нарсисом Монтуриолем-и-Эстарриолем (1819-1885) в 1864 г. «Иктинео» стала первой паровой подводной лодкой. Еще одной важной ее особенностью была впервые использованная конструктором двухкорпусная схема, которая до сих пор применяется на боевых подводных лодках и в большинстве исследовательских подводных аппаратов. Смысл этой схемы в том, что экипаж, приборы и часть оборудования находятся внутри прочного корпуса с нормальным атмосферным давлением, а прочее оборудование — балластные цистерны, шахты с ракетами и др. — размещается за его пределами, в воде, и для придания лодке обтекаемости и необходимых мореходных качеств заключается в наружный легкий корпус [9].

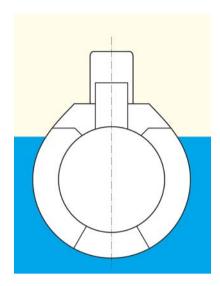
Понятно, что в замкнутом пространстве подводных лодок того времени, имевших ограниченный запас воздуха, крайне нерационально применение для движения под водой парового двигателя, ко-

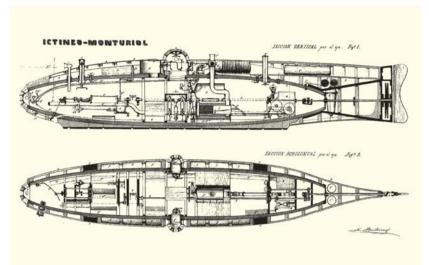
торый поглощает очень много кислорода. В конце XIX в. взоры конструкторов субмарин естественно обратились на электрический привод. Одним из первопроходцев этого направления стал француз Клод Губэ (1838–1903), построивший в 1885 и 1886 гг. две лодки, водоизмещением 1.5 т и 5 т соответственно, с электродвигателями, питавшимися от аккумуляторов. Их главными недостатками были нехватка мощности электропривода, как результат малая скорость и, по существу, неуправляемость в подводном положении. Более удачной оказалась лодка «Жимнот» («Угорь») конструкции соотечественников Губэ — Дюпюи де Лома (1816-1885) и Густава Зеде (1825-1891). Лодка была построена в 1888 г. При водоизмещении 31 т и двигателе мощностью 50 л.с. она развивала подводную





Лодка «Ханли», музейная реплика (вверху) и схема ее строения.





скорость пять узлов (семь в надводном положении) при дальности плавания под водой 45 миль (65 миль на поверхности) [10].

Общим недостатком всех лодок с электрическим приводом оказался малый запас хода. Так, на «Жимноте» аккумуляторная батарея массой 9.5 т съедала треть водоизмещения, но не позволяла лодке действовать на уда-

лении более 30 миль от базы, куда нужно было возвращаться для зарядки батареи. Проблему пытались преодолеть разными способами. Лодку буксировали за кораблем обеспечения в зону боевых действий, с него же и заряжали аккумуляторы. Таким образом, зона применения нового оружия сильно расширялась, но терялось его главное преимущество — скрытность. Следующим шагом в направлении решения этой задачи было создание лодок с двойной силовой установкой: по поверхности они шли под паровой машиной, а придя в район боевых действий, переходили на электрический привод для совершения атаки из подводного положения. Такие субмарины уже позволяли внезапно нападать на врага вдали от базы. Но они все же еще не были полноценными автономными боевыми единицами: на переходе к району боевых действий тихоходные и слабовооруженные, они представляли собой легкую добычу для кораблей противника. Словом, все упиралось в емкость батарей и невозможность возобновления их заряда в автономном плавании. Понятно, что эффективность подводных лодок можно было существенно увеличить, если бы удалось решить вопрос автономной подзарядки аккумуляторов.

Это удалось сделать, воспользовавшись свойством обратимости электрических машин. Дело в том, что устройство электродвигателей и генераторов идентично. Если мы подводим к электри-



Схема двухкорпусной лодки (слева вверху) и лодка «Иктинео», схема и макет.

ческой машине напряжение, то она работает в режиме двигателя, превращая электрическую энергию в механическую. Но если у той же машины принудительно вращать вал, то на ее клеммах возникнет напряжение. Машина будет работать в режиме генератора, превращая механическую энергию в электрическую.

Подобная схема впервые была применена в конструкции французского «Нарвала», построенного по проекту Макса Лобефа (1864-1939) и представленного на конкурс в 1897 г. Паровая машина этой лодки мощностью 250 л.с. не только обеспечивала надводный ход со скоростью 10 узлов, но и, самое главное, она одновременно вращала электрический двигатель подводного хода, переведенный в генераторный режим. Таким образом, при надводном плавании «Нарвала» обеспечивался автономный заряд аккумуляторов субмарины. Она стала самостоятельной боевой единицей, которая могла уходить далеко от базы (запас ее надводного хода составлял 400 миль) чтобы, перейдя в подводное положение, скрытно атаковать корабли противника, причем неоднократно в продолжение одного похода. Если прибавить к этому четыре торпедных аппарата, которыми она была вооружена, то можно сказать, что до классической схемы боевой подводной лодки оставался один шаг.

Надо заметить, что первым эту идею — применить гребной двигатель в качестве генератора для



Лодка «Нарвал», макет.

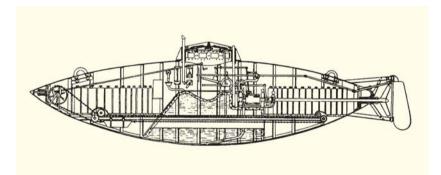
зарядки аккумуляторов, вращая его от двигателя надводного хода, — высказал Степан (Стефан) Карлович Джевецкий (1843–1938), поляк на русской службе, талантливый изобретатель и энтузиаст подводного дела. В конце 70-х годов ХІХ в. он построил на собственные средства одноместную подводную лодку с педальным приводом. Ее испытания проводились на Серебряном озере в Гатчине, причем управлял лодкой сам изобретатель. Когда на том же озере совершали водную прогулку в шлюпке император Александр ІІІ с супругой, Джевецкий, подойдя под водой к царской шлюпке, всплыл у самого ее борта и, открыв люк, подарил

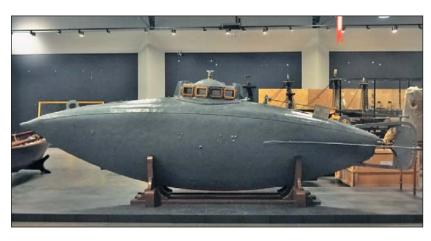
Марии Федоровне цветы. Растроганный царь приказал построить 50 таких лодок, что и было исполнено. Извилистыми путями идет иной раз технический прогресс!

Подводные лодки перестают быть экзотикой

Самым слабым местом пароэлектрических подводных лодок оставалась паровая машина — громоздкая, с низкой удельной мощностью и грозившим взорваться паровым котлом. Начиная с середины 1870-х годов американский изобретатель Джон Холланд (1840–1914) сделал несколько по-

пыток заменить паровую машину все более укреплявшим свои позиции в технике двигателем внутреннего сгорания. В итоге к 1899 г. он создал образец, оказавшийся весьма удачным. Лодка имела подводное водоизмещение 74 т, бензиновый двигатель надводного хода и электрический — подводного, мощностью по 50 л.с. каждый. Заряд аккумуляторов производился по уже отработанной схеме — работой электродвигателя в генераторном режиме с приводом от бензинового двигателя. Удачной конструкцией заинтересовались за пределами Америки, в итоге субмарину в усовершенствованном виде выпускали серийно и продали в ряд стран. В России лодки этого типа назывались «Сом». При полном водоизмещении в 105 т, с бензиновым двигателем мощностью 160 и электрическим -70 л.с., они развивали скорость 8.5 узлов на поверхности и 6 узлов под водой.





Подводная лодка Джевецкого, схема (вверху) и музейная реплика.

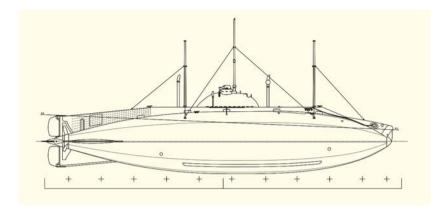
При этом дальность их плавания составляла уже 430 миль [10, 11].

В 1897 г. первый образец двигателя внутреннего сгорания нового типа построил и испытал Рудольф Дизель (1858–1913). Его отличие от обычного, работающего на бензине, заключается в значительно более высокой степени сжатия, в результате которого рабочее тело в цилиндре нагревается до температуры воспламенения топлива. Это позволяет использовать относительно тяжелые виды топлива — соля-

ровое масло, мазут и даже сырую нефть. Такие горючие материалы по сравнению с бензином значительно менее взрывоопасны, что весьма важно на подводной лодке с ее тесным пространством, где топливные баки близко соседствуют с аккумуляторами, электрическим хозяйством и другими не менее пожароопасными объектами. Кроме того, дизельные двигатели значительно экономичнее бензиновых.

В итоге двигатели этого типа быстро вытеснили паровые и бензиновые силовые установки как у надводных, так и у подводных кораблей. Все боевые подводные лодки, которые строили начиная с 1910-х до середины 1950-х годов, имели комбинированный дизель-электрический привод. Идеальная для своего времени схема была найдена: двухкорпусная лодка с прочным внутренним и легким наружным корпусом, с дизельным ходом на поверхности и электрическим от аккумуляторов при погружении, вооруженная торпедами и пулеметом или легкой скорострельной пушкой для того, чтобы не быть вовсе не защищенной мишенью на поверхности. И хотя многие системы и устройства в последующие полвека подверглись значительным усовершенствованиям, описанная схема не претерпела принципиальных изменений вплоть до появления в конце 50-х годов атомных силовых установок.

Когда Жюль Верн придумал свой «Наутилус», число подводных лодок в мире можно было сосчитать по пальцам, их конструкции были экзотичны и разнообразны. К концу жизни писатель мог воочию убедиться: подводная лодка из области фантазии переместилась в столь прозаические документы, как военные бюджеты большинства развитых стран мира — к началу ХХ в. насчитывалось около 40 субмарин, но уже в 1902 г. на плаву и на заводских стапелях их числилось свыше 250 [10]. Подводное дело для многих людей стало профессией; проектирование, строительство и эксплуатацию подводных лодок начали преподавать в учебных заведениях. Экзотика закончилась, ее место заняла практика.



Подводная лодка «Сом», схема.

Приборное обеспечение субмарины в романе и в жизни

Сударь, — сказал капитан Немо, указывая на приборы, висевшие на стенах каюты, — вот аппаратура, служащая для управления «Наутилусом». Здесь, как и в салоне, она всегда у меня перед глазами и в любой момент дает мне знать, в какой точке океана находится мой подводный корабль, а также указывает его направление. Некоторые приборы вам знакомы. Вот термометр для измерения температуры воздуха на «Наутилусе»; барометр прибор, определяющий атмосферное давление, благодаря этому мы имеем возможность предвидеть изменение погоды; гигрометр — один из приборов для измерения степени влажности в атмосфере; storm-glass сигнализирует о приближении бури; компас указывает путь; секстан позволяет по высоте солнца определить широту; хронометры дают возможность установить долготу.

Еще из приборов «Наутилуса» далее в тексте будут упомянуты манометр — для определения глубины по забортному давлению, электрические часы и электрический лаг.

Набор приборов, как и замечает далее Аронакс, за малым исключением, обычный в обиходе мореплавателей, только вот уместность некоторых из них на подводной лодке вызывает сильные сомнения.

Начнем с измерения скорости. Здесь писатель проявил фантазию: электрических лагов на тот момент еще не существовало, и даже идеи об их возможной реализации были весьма туманны. Однако Жюль Верн предложил вполне осуществимое (и реализованное позже) решение:

А вот и другое применение электричества. Циферблат, который вы видите перед собой, служит указателем скорости «Наутилуса». Проводами он соединяется с винтом лага, и стрелка постоянно дает мне знать, на какой скорости идет судно.

Во времена написания «Двадцати тысяч лье» основным способом измерения скорости движения судна был все еще ручной, он же секторный



Секторный лаг.

лаг. Изобрели его во второй половине XVI в., и за 300 лет конструкция этого прибора практически не изменилась. Принцип использования лага состоял в следующем: за корму сбрасывали окованную доску (сектор), которая оставалась, вертикально плавая, на одном месте, а судно уходило вперед, разматывая с вьюшки (специальной катушки) прикрепленный к сектору лаглинь — тонкую веревку с завязанными через равные промежутки узлами. В тот момент, когда сектор попадал в воду, начинался отсчет времени по песочным часам (обычно полминуты). В это же время считали узлы на лаглине, пропуская его через ладонь. Полминуты — это 1/120 часа, и если завязать узлы через 1/120 морской мили (50.6 фута, или 15.4 м), то сколько узлов ушло за борт в течение 30 секунд, столько миль в час делает судно. Отсюда и пошло название единицы скорости на море — узел.

Метод, что и говорить, довольно громоздкий и неточный, зато привычный. А на море привыкли чтить традиции, так что особых неудобств не испытывали. Тем не менее, ко времени появления флота с механическими двигателями начали изобретать и более совершенные конструкции лагов.

Первыми появились механические вертушки — крыльчатки со счетчиками оборотов. Скорость вращения крыльчатки зависела от скорости набегания встречного потока воды: по количеству оборотов, совершенных за определенное время, и определялась скорость движения судна.

Прибор, который по праву можно было бы назвать электрическим лагом, создали только в середине XX в. Это так называемый индукционный лаг. Его действие основано на открытом Фарадеем в 1831 г. законе электромагнитной индукции, согласно которому в проводнике, движущемся в магнитном поле, возникает электродвижущая сила (ЭДС). Морская вода — проводник, и если разместить под днищем судна мощный электромагнит, то движение воды относительно этого магнита вызовет появление в ней ЭДС, которая породит токи



Вертушечный лаг.

в воде и корпусе судна. Измеряя эти токи, можно определить скорость судна.

Сегодня надводные суда применяют все перечисленные нами виды лагов, за исключением разве что секторного. Кроме того, имея данные спутниковой навигации, нетрудно определить скорость судна относительно Земли с помощью компьютерной обработки изменения координат. Да еще современные вертушки используют не механические счетчики, а более продвинутые — магнитные, оптические, электрические. Применяется и конструкция, описанная Жюлем Верном.

Мог ли капитан Немо составлять прогноз погоды?

Капитан «Наутилуса» оборудовал свою лодку целым комплексом приборов, доступных в конце 19-го столетия. К сожалению, следует признать, что заявленным целям — предвидеть изменения погоды и сигнализировать о приближении бури — они вряд ли смогли бы отвечать.

Начнем с *барометра*. Прогноз погоды с помощью этого прибора производится не столько по



Барометр.

его текущим показаниям, сколько по динамике их изменения. При падении давления следует ожидать ухудшения погоды, при росте — улучшения. Но давления, заметим, именно атмосферного, а отнюдь не внутриотсечного. Какое-либо отношение к погоде и ее изменениям будут иметь показания барометра только при открытом на поверхности люке, когда давление внутри лодки сравняется с наружным. Однако следить за его изменением достаточно долго не позволяет краткость обычного пребывания «Наутилуса» в надводном положении. А после закрытия люка на показания барометра будет оказывать влияние целый ряд факторов (изменение температуры воздуха

в отсеке, соотношение содержания кислорода и углекислого газа и некоторые другие), абсолютно никакого отношения к погоде на поверхности моря не имеющих.

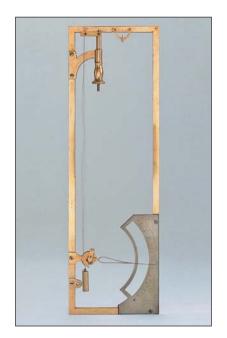
Работа гигрометра основана на способности натурального волоса изменять длину в зависимости от влажности. Только не очень понятно назначение этого прибора на борту подводной лодки. Влажность — показатель важный, влияющий, скажем, на работу контактной электроарматуры или на сохранность книг в библиотеке. Однако в отсутствие системы кондиционирования воздуха капитан Немо не смог бы его скорректировать, даже располагая всей информацией.

А вот на приборе под названием шторм-гласс остановимся подробнее. В XIX в. он был довольно популярен, его описания и инструкции по эксплуатации встречаются в ряде уважаемых литературных источников, таких как словарь «Гранат», «Энциклопедический словарь» Ф.А.Брокгауза и И.А.Ефрона или вышедший в 1885 г. справочник А.Делениуса «30 000 новейших открытий, рецептов и общеполезных практических сведений». Шторм-глассом в своих плаваниях пользовался известный английский адмирал и метеоролог Роберт Фицрой, известный, в частности, тем, что руководил морской экспедицией на корабле «Бигль», во время которой Чарльз Дарвин собирал материалы, позволившие ему создать теорию эволюции. Фицрой, на протяжении многих лет руководивший Метеорологическим департаментом Великобритании, подробно описал работу этого прибора, поэтому многим он знаком как «барометр Фицроя». Название, кстати, весьма неточное, ибо к измерению давления прибор не имеет никакого отношения.





Гигрометр.



Интересен шторм-гласс тем, что принцип его работы так и не получил до сих пор никакого научного объяснения. Да и вряд ли получит: современные методы прогнозирования погоды в подобном приборе не нуждаются. Но в старинных изданиях (да и в ряде современных) людям с ищущим складом ума предлагается самостоятельно сделать штормгласс и попробовать провести с ним метеорологические наблюдения. Способ изготовления прибора несложен: в 33 мл дистиллированной воды растворить 2.5 г калийной селитры и 2.5 г нашатыря. В 40 мл спирта растворить 10 г натуральной камфоры. Медленно перемешать оба раствора на водяной бане. Полученный раствор поместить в стеклянную колбу диаметром 15-30 мм и высотой 150-200 мм. Закрыть колбу герметично притертой пробкой, желательно на силиконовом герметике.



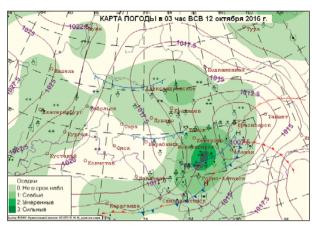
Шторм-гласс с инструкцией.



Барограф.

Ваш прибор готов. Теперь его нужно поставить вблизи окна и начать наблюдения. Если верить многочисленным источникам, жидкость в колбе будет вести себя в зависимости от предстоящей погоды по-разному. При устойчивой солнечной погоде она будет прозрачна, а в ожидании осадков помутнеет. Наличие в жидкости маленьких точек предвещает туман, маленьких звездочек летом — грозу, а зимой — снег. Появление в жидкости крупных хлопьев весной и осенью говорит о приближении облачной погоды, зимой же предвещает снегопад. Иглистые кристаллы обещают заморозки, нити у поверхности — ветер, а быстрое образование крупного кристалла при ясной погоде — скорую грозу [12].

Поскольку раствор герметично закрыт в толстостенном сосуде, возможные колебания давления никакого воздействия на помещенную внутри него жидкость оказывать не могут. Поэтому ее поведение, действительно, довольно загадочно. Некоторые современные ученые высказывали догадку, что причина происходящих метаморфоз — какие-либо из частиц, попадающих в атмосферу в составе космических лучей, однако эту гипотезу никто не проверял. Во всех источниках содержится рекомендация ставить шторм-гласс в проем ок-



Карта погоды.

на, а в некоторых говорится, что вдали от окна прибор переставал работать. По этой причине решительно невозможно сказать заранее, как поведет себя шторм-гласс, будучи помещенным в металлический корпус, да еще и под водой. Так что поверить или нет капитану Немо на слово в том, что этот прибор был небесполезен и действительно сигнализировал о приближении бури, — дело ваше, уважаемый читатель.

«Ну хорошо, — скажете вы, — а что изменилось за полтораста лет в системе прогнозирования погоды?». Отвечу: «И немногое, и все». Иными словами, главным прибором остается барометр. Правда, судовой метеоролог чаще смотрит не на него, а на барограф — прибор, выписывающий на бумажной ленте кривую изменения давления. Надо сказать, что барографами с успехом пользовались уже в середине XIX в. Но изменения погоды в плавании определяют не по приборам (хотя опытный метеоролог обязательно полюбопытствует, что они показывают, и запишет в соответствующий лист). Прогноз составляют по синоптическим картам, которые постоянно передают по радио. Их принимают и распечатывают специальные устройства. Судовой метеоролог или штурман может по ним составлять весьма точные прогнозы погоды. ■

To the 150th Anniversary of Jules Gabriel Verne's Novel "Twenty Thousand Leagues Under the Sea"

S.V.Smolitskii

Shirshov Institute of Oceanology, RAS (Moscow, Russia)

On March 20, 1869, the first chapters of Jules Verne's novel "Twenty Thousand Leagues Under the Sea" appeared in the French magazine "Magasin d'Éducation et de Récréation", and on June 20, 1870, a number with the final lines of this work appeared. So within one year, a book came to the world, the one being read and loved by the sixth generation of grateful readers. But what is real in the popular novel and what is fiction? What was the way of the real underwater technology before the appearance of the fantastic vessel of Captain Nemo and how did it develop from Nautilus to the present day? These questions have long been under particular interest of S.V.Smolitskii, an engineer, a diver, a hydronaut, and the author of the book "On the trail of Nautilus" that is going to be published in St.Petersburg. We publish selected chapters from this book with minor editorial changes.

Keywords: Jules Verne's novel "Twenty Thousand Leagues Under the Sea", submarine.

Ультраструктуры в ископаемых углях

доктор геолого-минералогических наук Л.Я.Кизильштейн

Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия) e-mail: kiz1933@rambler.ru

В результате ионного травления инертинита в образце угля под микроскопом в одной растительной клетке стало возможным наблюдать тончайшие элементы анатомии тканей растений-углеобразователей — ультраструктуры. Инертинит нередко в угольных месторождениях образует слои или даже целые пласты. Их изучение методом ионного травления может привести к новым открытиям в области молекулярной палеонтологии.

Ключевые слова: инертинит, уголь, торф, ионное травление, клетка.

озраст растительной клетки, фото которой сейчас перед читателями, более 300 млн лет (каменноугольный период палеозойской эры). При изучении состава органического вещества в ископаемых углях, предварительно подвергшегося ионному травлению, было отмечено, что один из компонентов — инертинит — сохраняет на протяжении многих миллионов лет тончайшие анатомические структуры слагающих его растительных тканей.

Здесь же речь пойдет об ультраструктурах. Так называют анатомические элементы растений, которые, хоть и имеют размеры в микрометры или доли микрометров, постоянно присутствуют в составе растений и играют существенную роль в их жизнен-

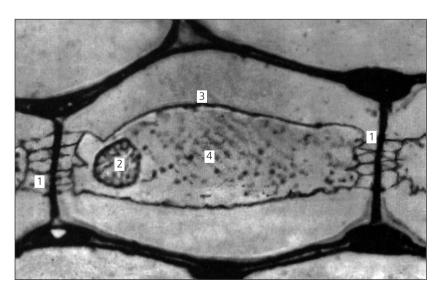
ных процессах [1]. Мне хочется показать удивительную сохранность анатомического строения углеобразующих растительных тканей, которые обнаружились в результате высушивания (потери влаги). На фото одной растительной клетки можно видеть примеры анатомических элементов, относимых к ультраструктурам. Образец угля, в котором присутствует данная клетка, представляет собой антрацит Донецкого бассейна. Клетка находится в составе петрографического компонента - инертинита. По существующим представлениям, этот компонент образовался в результате высушивания или неполного сгорания растительной ткани до того, как она оказалась в торфяном болоте.

Причина массового образования инертинита — пожары на торфяниках. Содержание его в углях может составлять десятки процентов.

В предыдущей статье эффективность метода ионного травления иллюстрировалась на примере тканей растений*, в этой — на примере одной клетки, в которой выделяются следующие ультраструктуры (см. рис.):

— плазмодесмы диаметром в микрометры или доли микрометров — тончайшие сосуды, проходящие через поры клеточной оболочки и соединяющие между собой смежные клетки (1);

* См.: *Кизильштейн Л.Я*. Анатомия древних растений в ископаемых углях // Природа. 2018. №3. С.69–71.



Ультраструктуры, обнаруженные в растительной клетке при травлении интертинита в образце угля: 1 — плазмодесмы, 2 — ядро клетки, 3 — оболочка цитоплазмы, 4 — цитоплазма.

Фото автора

 разные по оптической плотности и, скорее всего, по биохимическому составу включения (2);

БИОГЕОХИМИЯ. ГЕОЛОГИЯ

- оболочка цитоплазмы, которая защищает цитоплазму (см. ниже) от внешних воздействий, придает клетке механическую прочность, регулирует поступление внутрь нее питательных веществ, а также их состав (3);
- цитоплазма органическая коллоидная масса, заполняющая клетку, в которой находятся разнообразные по форме и размеру частицы органеллы; среди них вероятны рибосомы, играющие важную роль в синтезе белка (4).

Можно предложить следующее объяснение возникновению анатомической картины ультраструктур, которые стали доступными для изучения при помощи светового микроскопа после ионного травления образца угля.

Основные биохимические соединения, образующие ткани растений, — целлюлоза и лигнин. При ионном травлении происходит более интенсивное (опережающее) травление (удаление) атомов, имеющих меньший атомный вес.

В составе анатомических элементов нашей клетки преобладают кислород (атомный вес $O \approx 16$) и углерод (атомный вес $C \approx 12$). Их концентрация в разных анатомических структурах клетки различна, что объясняет неодинаковую степень разрушения данных элементов при ионном травлении и возникновение оптических различий между ними. Это же определяет и различия между тканями [2, 3].

Известный биохимик, нобелевский лауреат М.Кальвин, основатель раздела биохимии «молекулярная палеонтология», считал, что предмет ее изучения — молекулярные фрагменты древней жизни в составе ископаемого органического вещества. По его мнению, подобные фрагменты позволяют судить об их биохимических предшественниках. Таким образом, ионное травление, вскрывающее тонкие анатомические детали строения ископаемых растительных тканей, становится источником информации для молекулярной палеонтологии.

Не исключено, что в составе геологических объектов будут обнаружены морфологические элементы, присущие древней жизни, но утраченные в ходе эволюции. В связи с этим инертинит как источник информации о мире древних растений заслуживает внимания не только геологов и палеоботаников, но и специалистов в области эволюционной биологии.

И наконец, сам факт сохранности тонких элементов анатомии растительных тканей в виде инертинита позволяет напомнить о высушивании органического вещества как факторе его практически неограниченной по времени консервации в породах земной коры.

Хотелось бы еще раз обратить внимание на то, что инертинит нередко в угольных месторождениях образует слои или даже целые пласты. Их изучение методом ионного травления может привести к новым открытиям в области молекулярной палеонтологии.■

Литература / Reference

- 1. Фрей-Висслинг А., Мюлеталер К. Ультраструктура растительной клетки. М., 1968. [Frey-Wyssling A., Mühlethaler K. Ultrastructural Plant Cytology. Amsterdam, 1965.]
- 2. *Кизильштейн Л.Я., Шпицглуз А.Л.* Атлас микрокомпонентов и петрогенетических типов антрацитов. Ростов-на-Дону, 1998. [*Kizilstein L.Ya., Shpitsgluz A.L.* Atlas of the Microcomponents and Petrogenetic Types of Anthracite. Rostov-on-Don, 1998. (In Russ.).]
- 3. *Кизилитейн Л.Я., Шпицглуз А.Л.* Анатомический атлас растений-углеобразователей палеозоя. Ростов-на-Дону, 1999. [Kizilstein L.Ya., Shpitsgluz A.L. Anatomical atlas of coal-forming plants of the Paleozoic. Rostov-on-Don, 1998. (In Russ.).]

Ultrastructures in Fossil Coals

L.Ya.Kizilshtein

Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)

The thinnest elements of the tissues of carbon-forming plants, ultrastructures, were observed in a single plant cell as a result of ionic etching of inertinite in a coal sample. Inertinite often forms layers or even entire courses in coal deposits. Their study by ion etching can lead to new discoveries in the field of molecular paleontology.

Keywords: inertinite, coal, peat, ionic etching, cell.

Вулканы-скульпторы

В.Е.Быкасов

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Россия, Петропавловск-Камчатский) e-mail: valery@bykasov.com

Во время полевых работ на вулканах Камчатки мне неоднократно доводилось сталкиваться со своеобразными вулканогенными изваяниями, причем порой настолько выразительными, что их вполне можно сравнивать либо со скульптурами так называемого наивного искусства, либо с творениями авангардистов. К сожалению, у меня не всегда была возможность сфотографировать подобные изваяния; с некоторыми из них мне и хочется познакомить читателей.

Ключевые слова: вулканы, извержения, магма, лавовые потоки, обелиски, экструзии.

бычно активную вулканическую деятельность принято подразделять на три основных типа: эксплозивный вулканизм — извержение газов и рыхлых продуктов (пеплов, шлаков, лапилли и «бомб»), эффузивный — излияние лав, экструзивный — внедрение в приповерхностные слои земной коры с выходом на дневную поверхность магматического расплава. Конечно, в подавляющем числе случаев каждый из этих типов проявляется не в абсолютно чистом виде, а в том или ином сочетании с остальными. Тем не менее классификация удобна тем, что помогает пристальней и тщательней рассмотреть наиболее характерные особенности каждого конкретного типа вулканической деятельности.

Если же говорить о «художественных» проявлениях вулканизма, то наибольший интерес, несомненно, представляет процесс поступления на поверхность магмы (от греч. μαγμα – тесто, густая мазь), которая, в зависимости от состава (основная, средняя, кислая), газонасыщенности и температуры (т.е., в целом, от вязкости), а также от рельефа местности, формирует на дневной поверхности разнообразные по размерам, морфологическому строению и внешнему облику лавовые образования (см. таблицу).

Чаще всего выходы вулканических лав на дневную поверхность осуществляются в виде лавовых потоков [1–3]. Под ними (обобщая суть множества определений этого понятия [4–7]) понимаются генетически и морфологически целостные, пространственно протяженные плоские эффузивные тела различной длины, ширины, площади и мощности, которые сформировались в результате излияния магмы на дневную поверхность.

Один из основных факторов, определяющих характер движения лавовых потоков и их морфологическое строение, — это расход лавы [8], ибо чем больше лавы поступает на поверхность в единицу времени, тем выше (при всех прочих равных условиях) скорость ее течения, тем быстрее формируются сами потоки, тем значительнее их параметрические характеристики (длина, ширина, мощность) и тем, в конечном счете, большие площади заливаются и погребаются лавами.

Немаловажным фактором оказывается и влияние рельефа. Иначе говоря, поскольку лавовые потоки прокладывают себе путь, следуя общему уклону местности [9], характер и режим течения лавы во многом предопределяются углом наклона и расчлененностью подстилающей поверхности. К примеру, при извержении Северного прорыва на

Таблица
Морфогенез лавово-магматических образований на поверхности

Тип извержений	эффузивный	эффузивный	эффузивный	эффузивный	экструзивный
Форма рельефа	потоки и покровы	потоки и покровы	потоки и покровы	потоки и покровы	экструзии, купола и обелиски
Структура поверхности	волнистая	шлаково-обломочная	глыбовая	крупно-глыбовая	монолитно-глыбовая
Характер течения лавы	ламинарный	ламинарно-турбулентный	турбулентный	турбулентно-монолитный	монолитный
Вязкость (пуазы)	103-107	104-109	104-109	104-109	104-112
Температура (°C)	700–1200	800-1150	800-1150	800-1150	900-1100
Горные породы	базальты	андезито-базальты	андезиты	андезито-дациты	липариты
Содержание SiO ₂ (%)	< 52	52-56	57–61	62–65	> 65
Магма	основная	средняя	средняя	средняя	кислая

© Быкасов В.Е., 2019 D0I:10.7868/S0032874X19050090

Толбачинском долу в 1975 г. фронт его первого лавового потока передвигался по местности с уклоном до 5° со скоростью не более 24 м/ч, тогда как при уклонах до 10° и более скорость передвижения этого же потока возрастала до 120-150 м/ч. А в 2012 г. в начальной стадии Толбачинского трещинного извержения на особо крутых участках земной поверхности скорость очень жидкой базальтовой лавы и вовсе достигала 3-5 м/с.

Разного рода крупные западины, на заполнение которых уходит некоторое время, обычно задерживают передвижение лавы. А крупные препятствия в виде холмов или конусов прошлых моногенных прорывов способствуют изменению направления течения лавового потока.

Итак, повторюсь, строение лавовых потоков в первую и главную очередь зависит от вещественного состава (базальты, андезиты, дациты, липариты) самой магмы, от ее температуры и газонасыщенности, а также от фациальных особенностей различных порций истекающей лавы. В целом же по морфогенетическим и литологическим признакам, которые изначально обусловлены вязкостью (текучестью) излившейся на поверхность магмы, лавовые потоки принято подразделять на четыре основных типа: потоки с волнистой, со шлаковообломочной, с глыбовой и с крупноглыбовой поверхностью.

Впрочем, в реальности неоднократно отмечались случаи, когда при излиянии одного и того же лавового потока поверхность его по мере остывания, дегазации и, следовательно, увеличения вязкости приобретала различное строение. Так, например, при образовании в конце 2012 г. первого потока Толбачинского трещинного извержения длиной 17.1 км предельно жидкая волнистая лава постепенно — по мере удаления от центра извержения — сперва превращалась в шлаково-обломочную, затем в крупнообломочную и наконец — в глыбовую лаву.

Обычно лавовые потоки, образуемые наиболее жидкими и текучими разностями базальтовой лавы, формируют в зависимости от вязкости несколько подтипов, объединяемых большинством вулканологов общим термином пахоэхоэ (пахойхой [4]). Характерное их свойство — чрезвычайно большая (что обусловлено высокой температурой и низкой вязкостью) скорость течения лав: неоднократно отмечались скорости движения таких потоков до 40 км/ч (например, на вулкане Этна в Сицилии) и даже до 60 км/ч (на вулкане Мауна-Лоа на Гавайях). Очень высокая (до 2-3 м/с) скорость течения лавы отмечалась и в отдельных лавовых речках Южного прорыва на Толбачинском долу. Вследствие столь высоких скоростей течения лавовым потокам типа пахоэхоэ в целом свойственны большая (до 40-60 км) длина и относительно незначительная (в среднем от 1.5-2 до 4-6 м) мощность. (Хотя в отдельных случаях, например при резком сжатии русла потока, их мощность может возрастать и до 15-20 м.)

Поверхность таких потоков обычно гладкая и/или волнистая, но в некоторых зонах она приобретает канатное (шнурообразное) строение. При этом поверхностная корка, как правило, сильно пористая и трещиноватая, причем трещиноватость заметно возрастает по мере удаления от места излияния лавы, что объясняется дегазацией и остыванием лавы и уменьшением ее объема.

Внутренняя структура лавовых потоков подобного типа характеризуется наличием газовых пузырей, лавовых камер (полостей) и туннелеобразных лавоводов. Движение лавы по лавоводам нередко продолжается и после образования над ними мощной лавовой корки. Часто такие полости и лавоводы, если они не заполняются новыми порциями лавы, превращаются в лавовые пещеры и лавовые туннели длиной во многие десятки и сотни метров.

Впрочем, для нас в данном случае бо́льший интерес представляет другая особенность лав типа пахоэхоэ: образование и фунционирование на их поверхности, в лавовой корке, горнитосов* — небольших отверстий и трещин с фонтанированием и/или излиянием из них жидкой лавы. Это сопровождается формированием над такими жерлами построек в виде небольших конусов и куполов разбрызгивания, а также своеобразных «грибов» и «башен» за счет надстраивания оснований таких построек либо спекшимися брызгами жидкой лавы, либо слипанием отдельных порций остывающей лавы, либо сварными шлаками. Именно в результате образования подобных форм рельефа и появляются лавовые «изваяния».

Например, в результате постепенного накопления над выходом лавы сварного основания (пенька) за счет накопления мелких лавовых брызг и последующего облекания верхней части этого «пенька» крупными порциями более остывшей и потому более вязкой лавы образовался «Бюст Владимира Владимировича Атласова» — первооткрывателя Камчатки, прошедшего в 1697 г. со своим отрядом почти через весь полуостров. Понятно, что прижизненного изображения отважного землепроходца в те времена быть просто не могло. Но вот у лавового горнитоса получился настолько достоверный облик отважного казака, что иного имени для этой лавовой скульптуры придумать, как мне кажется, просто невозможно.

Когда же по мере остывания лавы из горнитоса начинают довольно интенсивно выбрасываться не фонтаны и струи жидкой лавы, а отдельные пор-

^{*} Hornito, исп. — уменьшительное от horno — горн, печь.



«Бюст Атласова».

Здесь и далее фото автора



«Мыслитель». Во всяком случае, лоб он морщит мудро.



Постоянный «Оппонент» «Мыслителя» со столь же «мудрыми» морщинами.

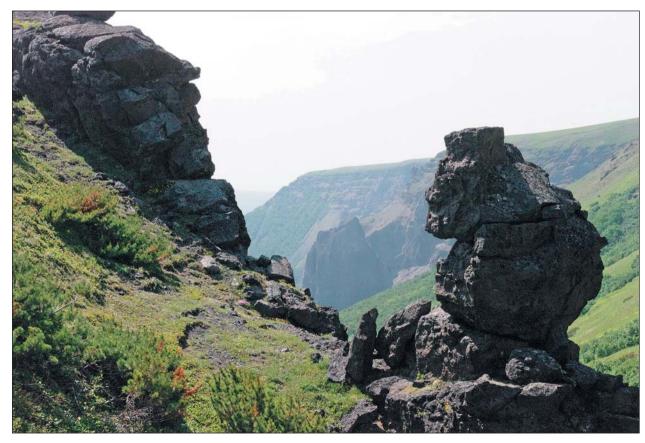
ции и куски (ошметки) лавы и шлаков, над его жерлом начинают формироваться (вследствие спекания) более крупные (до нескольких метров по высоте и ширине) образования. В результате подобного процесса и появилось, например, изваяние «Мыслитель», лоб которого изборожден «мудрыми морщинами». Не менее мудро морщит свой лоб и его «Оппонент». Можно даже сочинить легенду о таких каменных спорщиках. Скажем, спорят они о том, как следует именовать своеоб-

разное лавовое изваяние. Первый говорит, что это конь, а второй утверждает, что это лошадь. И, честно говоря, я не знаю, кто из них прав. (Что же касается происхождения этого «изваяния», то оно связано с внедрением в земную кору крупной базальтовой дайки, которая в результате проявления вторичных (экзогенных) процессов (ледовая и снежная экзарация и эрозионная деятельность временных и постоянных водотоков) оказалась на дневной поверхности. А затем под воздействием сил внутреннего напряжения и последующего морозного вы-

ветривания растрескалась и обрушилась с образованием останца наподобие шахматного коня.)

Дискутировали они так, дискутировали, и, наконец, один из их слушателей не выдержал и ушел куда глаза глядят. И заблудился. А когда очнулся — со всех сторон лава. Вот он и возопил: «Люди... Ау!». И окаменел от ужаса.

Совершенно иное строение и морфологию имеют потоки шлаково-обломочных и глыбовых лав, которые наиболее широко распространены



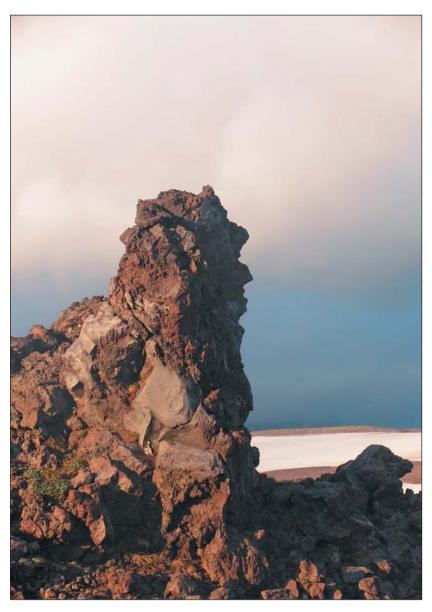
«Шахматный конь».



«Люди... Ау!».



Это творение природы вполне можно принять за бюст Беринга.



«Оцеола — вождь сименолов».

на земной поверхности. Образование их обусловлено тем, что слагающие их базальты, андезитобазальты и андезиты в меньшей степени, чем лавы потоков типа пахоэхоэ, насыщены газами и не столь раскалены [5]. Поэтому такие лавы обладают повышенной вязкостью, а сформированные ими потоки занимают промежуточное положение между потоками типа пахоэхоэ и потоками крупноглыбовой лавы. Впрочем, из-за отсутствия резкой границы и наличия переходов между шлаково-обломочными и крупно-глыбовыми потоками такие лавы нередко объединяются в лавы типа «аа» [4, 10]. Но между ними существуют и заметные различия. Так, потокам шлаково-обломочной лавы свойственен игловатый, шиповидный характер поверхности. При этом и поверхность самой лавовой корки, и обломков лавы покрыта, как правило, блестящей стеклообразной корочкой шлаков. Да и скорости течения такой лавы в общем больше, чем у глыбовой лавы, и колеблются от первых десятков метров до первых километров в час (при средней мощности самих потоков от 2–8 до 15–40 м).

Собственно же глыбовая лава отличается повышенной мошностью (от 6-10 до 50-70 м) образуемых потоков, незначительной (до первых сотен метров в час) скоростью течения и, главное, обломочно-глыбовым характером поверхности. При этом разнообразные по форме и размерам (до 1.0-1.5 м в высоту и в поперечнике) глыбы застывшей лавы образуют на поверхности потока сплошной обломочный покров общей мощностью до 1.5 м и более. Именно среди таковых глыб мне и довелось усмотреть «Бюст Витуса Беринга». Сходство придают «парик» и «мундир» этого изваяния, которые, согласно обычиям XVIII в., были основными внешними атрибутами военных и чиновников и отличали их от обычных «штафирок».

Насколько мне известно, абсолютно достоверного портрета знаменитого капитан-командора не существует. Правда, в 1945 г. в архиве его правнучки Е.А.Трегубовой был обнаружен портрет якобы Беринга. Но именно «якобы», так как позднее появилась

версия, что на портрете на самом деле изображен не сам Витус, а его дядя. Так что однозначно идентифицировать тот портрет в качестве подлинного изображения капитана-командора пока нельзя.

Не добавляют желаемой определенности и пластические реконструкции, исполненные В.Н.Звягинцевым по черепу, извлеченному из могилы Беринга, которая находится на острове его имени. Во-первых, они настолько отличаются от рисованного портрета, что вызывают буквально воинственное неприятие оппонентов. А во-вторых, сама принадлежность черепа знаменитому мореплавателю сомнительна. А потому представленный на фотографии лавовый бюст, будучи нейтральным по своему происхождению, с известной долей фантазии, на которую, кстати, сплошь и рядом опираются художники, можно считать одним из вариантов изображения Беринга.



«Грустный лев».

И совсем уж резко отличается по своим свойствам от волнистой лавы так называемая крупноглыбовая лава, характерная особенность которой — очень медленное (до первых метров в сутки, как, например, на Карымском вулкане) движение образуемых ею потоков даже по крутым склонам. Обычно такая лава, которая представлена наибо-

лее вязкими разностями излившихся пород, образует мощные (от 15–40 до 120–150 м) и короткие (не более 6–8 км) лавовые потоки. Их поверхность сплошь покрыта крупными (в поперечнике до 1.5–2 м и более) глыбами застывшей лавы. При этом из-за остывания самих глыб происходит их интенсивное растрескивание. А последующее



«Ящер юрского периода».

морозное выветривание, сопровождающееся откалыванием и обрушением внешних обломков, приводит к образованию своеобразных скульптур. Кстати, это вполне соответствует полушуточному по форме, но предельно точному по содержанию ответу Микеланджело Буонарроти на вопрос, как он делает свои скульптуры: «Я беру камень и отсекаю все лишнее».

Именно подобное «отсекание» лишнего от одной из крупных глыб и привело к образованию скульптуры «Оцеола — вождь сименолов». Конечно же, может, и не таким его представлял себе сам автор знаменитого романа. Но, согласитесь, чтото от «краснокожего» в этой фигуре все же есть.

Подобным же образом из лавовой глыбы получилась и фигура «Грустного льва» (впрочем, не исключается, что он просто-напросто голодный, или не выспавшийся), а также «Ящера юрского периода». И я даже врагу не пожелаю встретиться с таким монстром в реальности.

На этом я, пожалуй, и остановлюсь, хотя у меня и есть еще некоторая толика снимков подобного рода «скульптур». А сколько я храню фотографий вулканических бомб разного размера, формы

и цвета; феерических ракурсов лавовых изломов; красочных «витражей» термальных площадок и изящно изогнутых нитей тонкой вулканической пыли и водорослей, взвешенных в воде термальных луж и ручейков! Но писал же незабвенный Козьма Прутков: «Никто не обнимет необъятного!». Так что последую завету «мудреца» и перекрою свой «фонтан» красноречия.

Впрочем, вместо заключения добавлю один штришок. Как-то в программе новостей по телевизору мелькнул небольшой материал о продаже на аукционе (то ли «Сотби», то ли «Кристи» — не успел вникнуть, так как слушал вполуха) скульптуры, называющейся «Страдающий (а может, скорбящий?) человек». Я не обратил внимания на фамилию автора, ибо, как говорится, «включился» лишь в самом конце данного новостного сюжета. Та скульптура (как бы склеенная из кусков ноздреватой, с шипами лавы) была продана за баснословную цену. Так что мне остается только выразить искренне сожаление, что камчатские вулканы за свои «творения» ничего (кроме, разве что некоторого интереса со стороны любознательных читателей) не получат. Впрочем, и это уже будет неплохо. ■

Литература / References

- 1. Дзоценидзе Г.С., Мархинин Е.К. Вулканокластические продукты и проблема их эволюции. Проблемы вулканогенно-осадочного литогенеза. М., 1974; 4–12. [Dzotsenidze G.S., Markhinin E.V. Volcanoclastic products and problem of their evolution. Problems of a volcanogenic and sedimentary lithogenesis. Moscow, 1974; 4–12. (In Russ.).]
- 2. Мархинин Е.К. Вулканизм. М., 1985. [Markhinin E.V. Volcanism. Moscow, 1985. (In Russ.).]
- 3. Святловский А.Е. Структурная вулканология. М., 1971. [Svyatlovsky A.E. Structural volcanology. Moscow, 1971. (In Russ.).]
- 4. Влодавец В.И. Справочник по вулканологии. М., 1984. [Vlodavets V.I. Reference book on volcanology. Moscow, 1984. (In Russ.).]
- 5. *Макдоналд Г.* Вулканы. М., 1975. [*MacDonald, G. A.* Volcanoes. Moscow, 1975. (In Russ.).]
- 6. *Малеев Е.Ф.* Критерии диагностики фаций и генетических типов вулканитов. М., 1975. [*Maleev E.F.* Criteria of diagnostics of facias and genetic types of volcanites. Moscow, 1975. (In Russ.).]
- 7. Ритман А. Вулканы и их деятельность. М., 1964. [Rittmann A. Volcanoes and their activity. Moscow, 1964. (In Russ.).]
- 8. Walker G.P. l. Length of lava flows. Philosophical Transactions of the Royal London: Ser.A. 1973; 274: 107-118.
- 9. Wentworth C.K. The physical behavior of basaltic lava flows. The Journal of Geology. 1954; 62: 425–438.
- 10. *Рэдулеску Д.П.* Вулканы сегодня и в геологическом прошлом. М., 1979. [Rdulescu D.P. Vulcanii astzi si in trecutul geologic. Bucuresti, 1976.]

Volcanoes-Sculptors

V.E.Bykasov

Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch of RAS (Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia)

Having wandered around the volcanoes of Kamchatka, I would see distinctive volcanogenic "sculptures". Sometimes so peculiar, that they could be compared with the sculptures of naive art or avant-garde. Some of them I would like to show to my readers.

Keywords: volcanoes, eruption, magma, lava flow, spine (obelisk), extrusive body.

Лизе Мейтнер — «мадам Кюри» немецкой науки

доктор педагогических наук Р.Н.Щербаков

(Таллин, Эстония)

e-mail: robert.scherbakov@rambler.ru

Выдающаяся австрийская ученая Лизе Мейтнер (1878—1968) проводила исследования в области ядерной физики, ядерной химии и радиохимии. На основе опытов О.Гана и Ф.Штрассмана она пришла к выводу о делении ядер урана под действием нейтронов. Этот факт стал убедительным аргументом в пользу присуждения О.Гану Нобелевской премии по химии. А в ее честь был назван 109-й элемент таблицы Менделеева — мейтнерий.

Ключевые слова: радиоактивные материалы, деление ядра урана, Берлинский университет, наука в Германии в 1930-х годах.

Чаши добра и зла — в руках ученых Ч.П.Сноу

льберт Эйнштейн назвал Лизе Мейтнер «наша мадам Кюри», но ставил ее в науке даже выше Мари Склодовской-Кюри. И та и другая посвятили свою жизнь изучению радиоактивности, а также строения и процессов распада ядер урана. Но если успехи в исследованиях принесли Кюри две Нобелевских премии, то Мейтнер в этом отношении повезло меньше.

Расцвет ее недюжинного таланта в физике и радиохимии пришелся на великое время становления квантовой механики и ядерной физики. И прежде всего — на те десятилетия, когда поначалу абстрактные представления об атомных ядрах и довольно непростые исследования их свойств в итоге привели при личном участии Мейтнер к открытию цепных ядерных реакций (первые их применения были в военных целях).

По словам О.Р.Фриша и Дж.А.Уилера, успехи, ошибки и явные неудачи нескольких ученых из различных стран придали своеобразный колорит начальному периоду изучения деления ядер. Удачное сочетание пытливой мысли и счастливого случая превратило эту волнующую идею в реальность [1, с.697]. К тем событиям исследовательница имела самое непосредственное отношение.

Творчество Лизе в целом было в русле развития основных этапов физической науки первой трети XX в.: исследования свойств радиоактивного излучения (α-, β- и γ-лучей), получения трансурановых элементов периодической системы элементов Д.И.Менделеева и, наконец, распада атомных ядер урана под действием нейтронов. В разработку этих направлений ядерной физики она внесла свой весомый вклад.



Л.Мейтнер. Вена, 1906 г. (*Rife P.* Lise Meitner and the Dawn of the Nuclear Age. Boston; Basel; Berlin, 1999).

Вступление в науку

Лизе Мейтнер (Майтнер) родилась 7 ноября 1878 г. в Вене в многодетной еврейской семье адвоката, известного шахматиста Ф.Мейтнера. В то время в австрийских семьях считалось обязательным дать детям образование в музыке, искусстве, языках, а также научить вести домашнее хозяйство, через что отчасти прошла и юная Лизе.

Уже в народной и городской школах и при домашнем обучении она проявила глубокий интерес к наукам о природе, в особенности к физике. Несмотря на уговоры родителей, в 1901 г. Лизе поступила в Венский университет, где под руководством Л.Э.Больцмана и Ф.С.Экснера начала изучать курсы физики, математики и химии.

Позднее она написала: Я была ученицей Больцмана, а Больцман восхищался своей наукой и не видел никаких препятствий к тому, чтобы придать этому восхищению индивидуальное выражение, что, естественно, очень увлекало нас, молодых слушателей [2, с.328]. Выдержав в 1905 г. все экзамены на «отлично», она второй среди женщин, обучавшихся в этом университете, приступила к работе над докторской диссертацией по физике. (Первой была Э.Рихтер, получившая в 1905 г. степень доктора по филологии.) Через год Мейтнер, защитив диссертацию «Теплопроводность неоднородных тел», получила степень доктора по физике. Узнав об опытах Склодовской-Кюри по радиоактивности, она вначале занялась этим вопросом под руководством С.Мейера*, а затем продолжила занятия в Физическом институте при университете. Наблюдая поглощение α- и β-лучей алюминием, медью, серебром, золотом и т.д., Лизе подвела в 1907 г. итоги в своей статье с аналогичным названием.

В том же 1907 г. Лизе отправилась в Берлин, в Институт химии Общества кайзера Вильгельма по развитию науки, где она посещала лекции по теоретической физике М.К.Э.Л.Планка с его с разрешения. Однако, по ее словам, эти лекции, при всей их чрезвычайной ясности, казались несколько безликими, почти скучными. Но очень скоро она поняла, какое это заблуждение и как мало это вяжется с личностью Планка [2, с.328]. Общение с ним в те годы изменило ее впечатления о нем как об ученом и человеке.

К тому моменту она была уже в курсе представлений о радиоактивном излучении. А.А.Беккерель в 1898 г. обнаружил β-лучи (поток быстрых электронов), Э.Резерфорд в 1899 г. — α -лучи (ядра гелия), а П.У.Вийяр в 1900 г. — γ -лучи (бо-

* Стефан Мейер (1872-1949) — австрийский физик, член Австрийской академии наук, профессор Венского университета. Основные работы связаны с изучением радиоактивности и ядерной физики.



Главное здание Венского университета, в котором училась Мейтнер.

лее короткие, чем рентгеновские). Началось изучение их свойств, способности проникать в ядра атомов; были обнаружены новые радиоактивные элементы. С этим на первых порах будет связана научная деятельность Мейтнер.

В Берлине она знакомится с О.Ганом, радиохимиком и физиком, который к тому моменту, усовершенствовав свои знания у Р.У.Рамзая в Англии и у Э.Резерфорда в Канаде, провел ряд исследований по радиоактивности. В 1905 г. он открыл радиоторий, а в 1906 г. — радиоактиний. Когда 27-летний Ган появился в Берлинском университете, он уже был состоявшимся исследователем со своей устоявшейся манерой постановки экспериментов.



Здание Института химии Общества кайзера Вильгельма по развитию науки, в котором с 1912 по 1938 г. вместе работали Мейтнер и Ган.

Фото П.Каллена

В специально отведенной мастерской — бывшей «столярке» — Мейтнер вместе с ним продолжила начатые в Вене исследования по радиоактивности. Но все пять лет работы ее права в университете оставались ограниченными, о чем Лизе написала позже: Когда... я приехала в Германию, там еще не был разрешен законом допуск женщин к обучению, и многие доценты и профессора не допускали девушек на лекции или в лаборатории [2, с.329].

Впрочем, со временем все уладилось. Ее талант исследователя убедил окружающих снять с нее все запреты, позволив ей прочно занять свое место в немецкой науке тех лет. Знания Мейтнер по физике и Гана по химии давали возможность им вполне успешно работать 30 лет. Она занималась физической, а он — химической стороной исследуемых ими проблем. В целом же доли их участия в общей работе были примерно одинаковыми.

В Институте химии силами Гана и Мейтнер изучались ряды радиоактивных элементов и баланс энергии при β-распадах. В то время немецкая физика во главе с М.Планком, А.Эйнштейном, М.фон Лауэ, Дж.Франком, Г.Р.Герцем, В.Г.Нернстом, П.Прингсгеймом, Р.В.Полем и другими учеными славилась своими успешными исследованиями, обогащаясь в дискуссиях с новыми молодыми талантами. Активно работал еженедельный физический семинар, который посещала и Мейтнер.

Бурное развитие ядерной физики в мире стимулировало широкий обмен добытой в опытах информацией, что побуждало ученых разных стран чаще, чем ранее, посещать зарубежные научные центры. От этого выигрывали как уже состоявшие-



Ган и Мейтнер в лаборатории Института химии Общества кайзера Вильгельма по развитию науки. 1913 г. (Архив Смитсоновского института, США).

ся исследователи, так и начинающие. Их знакомство с лабораториями, возможность услышать от зарубежных коллег оценку своих гипотез приводили, как правило, к рождению новых научных идей.

В 1912 г. Ган и Мейтнер со своим оборудованием смогли перебраться в Институт химии в Далеме (пригороде Берлина), где Ган стал руководителем отделения по изучению радиоактивных веществ. Вскоре коллеги разделились: Ган возглавил отдел радиохимии, а Мейтнер — отдел радиофизики. Вначале она работала бесплатно, но позднее стала получать зарплату, хотя и меньшую, чем Ган. С того же года берлинский Институт химии стал центром физики атомного ядра, а успехи Мейтнер признали специалисты в этой области. Плодотворно общаясь с коллегами и будущими нобелевскими лауреатами, Мейтнер активно впитывала в себя последние открытия и методы своей науки, совершенствовала свои мышление и методы. Это позволило ей сказать свое веское слово в ядерной физике ХХ в.

Рентгенолог и исследователь

С началом Первой мировой войны эйфория от атомных исследований заметно угасла. Мейтнер, как и Кюри, прошла курсы рентгенологии и анатомии, добровольно отправилась на фронт рентгенологом, затем долгое время была медсестрой-рентгенологом в госпиталях австро-венгерской армии.

Ган вместе с другими немецкими учеными занимался подготовкой газовых атак, поскольку был убежден в том, что Германия нуждается в них и что с позиций морали они оправданы. Очень скоро оба исследователя возвратились в институт для продолжения своих прежних занятий — экспериментов по изучению взаимодействия радиоактивности с вешеством.

Между тем авторитет Мейтнер как исследователя неизменно рос. К тому времени совместно с Ганом, Франком и другими она опубликовала около 40 работ, с 1914 г. возглавила радиоактивный отдел в Институте химии, в 1919-м получила звание профессора, а в 1922 г. — разрешение на преподавание физики в университете. Ее первая лекция называлась «Значение радиоактивности для космических процессов» (в печати название изменили, и лучи ошибочно назвали косметическими).

В 1918 г. О.Ган и Л.Мейтнер (и независимо от них Ф.Содди и Дж.Кранстон) обнаружили в урановой смолке долгоживущий изотоп протактиния, названного так, поскольку он предшествовал актинию в периодической системе химических элементов. В 1923 г. Л.Мейтнер открыла безызлучательный переход, названный эффектом Оже в честь французского ученого П.В.Оже, независимо обнаружившего его в 1925 г. В 1926 г. она уже внештатный профессор — первая женщина в Германии, весьма успешная в науке.

Как опытный исследователь радиоактивности, она вполне ясно представляла себе, что γ-излучение практически не связано с превращением эле-

ментов. Оно возникает в случае, когда, согласно квантовой теории, образуется возбужденное ядро атома, которое с испусканием γ -кванта переходит в начальное состояние. При этом Мейтнер на опытах доказала, что γ -излучение проявляет себя лишь только после радиоактивного превращения.

Что же касается квантовой теории Н.Бора в целом, то ее понимание (столь важное для атомных и ядерных процессов, интересовавших Лизе) ученым все еще давалось с трудом. После его лекции в Берлине в 1920 г. Мейтнер призналась: Когда Джеймс Франк, Густав Герц и я вышли после лекции, мы были подавлены. Нас не покидало чувство, что мы почти ничего не поняли [3, с.77].

1926 г. принес ей и приятное в научном отношении удовлетворение — ее избрали членом-корреспондентом Гёттингенской академии наук. В ее стенах она стала первой женщиной-физиком столь высокого звания.

Тогда же благодаря кропотливым работам английского физика Ч.Д.Эллиса*, Л.Мейтнер и других ученых было доказано, что большая часть ү-излучения происходит из ядра. Были измерены длины волн некоторых из ү-лучей и таким образом получены определенные знания относительно некоторых видов колебаний составных частей ядра. При этом квантовая энергия таких ү-лучей оказывается очень высокой: в ряде случаев она соответствует по крайней мере 3 млн эВ.

В юбилейной речи на чествовании Института Франклина в США в 1924 г. Резерфорд посчитал необходимым отметить: Частота... γ -лучей, возбуждаемых радием, была непосредственно измерена... по методу отражения от кристалла; однако же трудно... определить этим методом частоты сильно проникающих лучей. К счастью, для этой цели был разработан новый мощный метод, главным образом работами Эллиса и г-жи Мейтнер [4, с.36].

Следует подчеркнуть, что в те годы немецкие лаборатории, в том числе и лаборатория Мейтнер, были широко известны в мире как своими выдающимися теоретиками и экспериментаторами, так и оснащением их со всей возможной тогда немецкой пунктуальностью новейшей опытной аппаратурой. Поэтому Германию стремились посетить ученые разных стран (например, у Л.Мейтнер проходил стажировку по ядерным методикам Ф.Д.Разетти — ученик Э.Ферми, также приезжали многие ученые из Советского Союза).

В 1926 г. в Берлине находился С.И.Вавилов, который сообщал своему сотруднику Л.В.Лёвшину:

^{*} Чарльз Друммонд Эллис (1895–1980) — английский физик. Научные работы посвящены атомной физике, радиоактивности, фотоэффекту. Совместно с У.А.Вустером выполнил (1927) измерения средней энергии электронов в β-распаде (опыты Эллиса—Вустера). Член Лондонского королевского общества.

Был в трех домиках... В одном директором Ган, «директорша» Мейтнер нас и водила. Делает она вещи очень серьезные, и необычайно обстоятельно и аккуратно [5, с.366]. В 1933 г. на Сольвеевском конгрессе с Лизе встречался А.Ф.Иоффе, отметивший, что Резерфорд и его сотрудники вместе с Ферми, мадам Кюри, Ирен Кюри и Лизой Мейтнер были в центре сессии, посвященной ядерной физике [6, с.45].

В 1927 г. Н.В.Риль* под руководством Л.Мейтнер защитил диссертацию на тему «Использование счетчиков Мюллера—Гейгера для спектроскопии бета-излучения».

В 1934 г. А.И.Алиханов (тогда еще молодой, а впоследствии крупный советский ученый) посетил Германию. Вот что он написал об этом визите: Наибольший интерес для меня представляла лаборатория проф. Л.Мейтнер, которую я обследовал очень внимательно. Кроме осмотра лаборатории я имел длительную беседу с Л.Мейтнер по вопросам о тех противоречиях, которые имеются в наших результатах [7, с.219].

Открытие нейтрона и атомное ядро

После открытия в 1932 г. в Кембридже Дж. Чедвиком нейтрона возник вопрос об обнаружении трансурановых элементов. С этого момента началось соревнование между сотрудниками Э.Резерфорда (Англия), супругов И. и Ф.Жолио-Кюри (Франция), Э.Ферми (Италия) и Л.Мейтнер с О.Ганом и Ф.В.Штрассманом (Германия).

Подавляющее большинство исследователейфизиков и химиков на тот момент полагали, что скорее всего это будет абстрактное, далекое от практической пользы исследование, хотя, возможно, и обещающее им Нобелевскую премию. Впрочем, мало кто из них предполагал тогда, что эти работы в недалеком будущем приведут к созданию ядерного оружия и атомной энергетики.

Приобретенный Мейтнер ранг крупного ученого позволял ей читать лекции по атомной физике и физике радия в Германии, где она пользовалась уважением у Франка, Герца, Прингсгейма и др., и за границей — в Копенгагене, Лондоне, Цюрихе, Риме и Ленинграде. Коллеги признавали ее заслуги в исследованиях β- и γ-лучей, ценили за преданность науке и убежденность в значимости работы при ее, по словам Гана, почти детской скромности [2, с.332].

Авторитет Мейтнер был высок и среди талантливой молодежи. В 1932–1937 гг. ее ассистентом

стал физик-теоретик М.Л.Х.Дельбрюк — ученик Н.Бора и М.Борна. Вначале он активно изучал ү-лучи, но затем под влиянием российского биолога Н.В.Тимофеева-Ресовского увлекся биологией, в частности природой генетических мутаций и структурой гена. За свои работы Дельбрюк в 1969 г. был удостоен Нобелевской премии по физиологии или медицине.

Исследование α-, β- и γ-лучей требовало постановки все новых экспериментов и их обсуждения. Работы нуждались в освобождении от допущенных ранее неточных измерений, в исправлении и уточнении добытых результатов. Необходимо было выдвигать гипотезы, в том числе и такие, что по своему содержанию подчас были далеки от объективного толкования атомных явлений. И наконец, нужно было придти к единым взглядам на природу этих излучений и возможность их применения при исследовании атомного ядра.

Проблема ядерных сил оказалось столь увлекательной, что еще мало сделавшая в этой области группа Ферми, опережая события, в 1931 г. провела в Риме первый международный форум, посвященный ядерным силам и космическим лучам. Его посчитали обязательным посетить большинство ведущих теоретиков и экспериментаторов мира: Н.Бор, В.В.Г.Боте, Х.В.Гейгер, В.К.Гейзенберг, А.И.В.Зоммерфельд, М.Кюри, В.Э.Паули и в том числе Л.Мейтнер.

Опыты Л.Мейтнер и В.Ортмана, сотрудника В.Нернста, показали, что полная энергия β-лучей меньше разности энергий исходного и конечного ядер, а часть испускаемой ядром энергии при β-распаде исчезает. Объяснение дал Паули на основе гипотезы о наличии нейтральных частиц — тяжелой, т.е. нейтрона, и легкой, названной по предложению Ферми нейтрино* (т.е. малым нейтроном). Эта проблемы обсуждались в Мюнстере в 1932 г. Существование нейтрона и нейтрино Паули обосновал ранее в письме «Дорогие радиоактивные дамы и господа», отправленном 4 декабря 1930 г. физикам в Тюбингене. По его мнению, с точки зрения эксперимента... новые частицы были вполне возможными [8, с.109.].

В 1933 г. Мейтнер приняла участие в VII Сольвеевском конгрессе по проблеме «Структура и свойства атомного ядра». На нем обсуждались эксперименты Дж.Д.Кокрофта и Э.Т.С.Уолтона по получению быстрых α-частиц облучением ядер лития протонами, данные Э.Резерфорда и М.Л.Э.Олифанта о бомбардировке лития протонами и дейтронами, открытие нейтрона Дж.Чедвиком и искусственной радиоактивности Ф. и И.Жолио-Кюри. На кон-

^{*} Николаус (Николай Васильевич) Риль (1901—1990) — немецкий, а с 1945 по 1955 г. советский физик и радиохимик, один из многих участников советского атомного проекта, Герой Социалистического труда (1949), лауреат Сталинской премии первой степени, впоследствии западногерманский физик.

^{*} Экспериментально нейтрино было обнаружено американскими учеными Ф.Райнесом и Кл.Л.Коуэном в 1956 г. В 1995 г. Райнес был удостоен Нобелевской премии (Коуэн умер в 1974 г.).



Международный бунзеновский форум по радиоактивности. Стоят: Мейтнер (3-я слева) и Ган (в центре). Мюнстер, 1932 г. (Архив Министерства энергетики США).

Фото Ф.А.Панета

грессе были три женщины — М.Кюри, И.Жолио-Кюри и Л.Мейтнер.

В 1934 г. И.Ноддак (немецкая женщина физико-химик, открывшая в 1928 г. совместно с мужем элемент рений) выдвинула предположение о делении ядер тяжелых элементов при их облучении нейтронами. Но она не дала ни экспериментального, ни теоретического доказательства. Это привело тогда к игнорированию ее гипотезы ведущими физиками. Тем не менее она трижды (1933, 1935, 1937) была номинирована на Нобелевскую премию по химии.

В 1934 г. Мейтнер вместе с Ганом посетили в Ленинграде конференцию, посвященную 100-летнему юбилею Д.И.Менделеева, и семинар по ядерной физике при Физико-техническом институте. Д.Д.Иваненко писал: Запомнилось большое впечатление, которое произвела активность, своеобразная резкость Мейтнер при обсуждении ряда актуальных проблем, в том числе теории β-распада Ферми, нашей с И.Е.Таммом полевой теории ядерных сил и т.д. Как известно, некоторые физики прямо-таки боялись полемизировать на семинарах с «фрау профессор» [9, с.101].

В тексте доклада «Атомное ядро и периодическая система элементов», опубликованного в «Naturwissenschaften» (1934) и в «Успехах физических наук» (1935), Мейтнер написала: Элементарными частицами ядра могут быть только протоны и нейтроны. Это не противоречит тому, что имеются такие превращения, в которых атомное ядро переходит в какое-то новое ядро с испусканием положительного или отрицательного электрона. В настоящее время, однако, принимается, что электроны не могут находиться внутри ядра [10, с.9].

В заключение она отметила: Ферми и его сотрудники недавно сообщили о своих опытах, в которых при обстреле урана нейтронами наблюдалось появление радиоактивного элемента с порядковым номером 93 или 94. Вполне возможно, что и в этой области периодическая система имеет продолжение. Остается прибавить только, что гениальным предвидением Менделеева рамки периодической системы так широко предусмотрены, что каждое новое открытие... еще более укрепляет ее [10, с.12].

В своей последней книге «Новая алхимия» (1937) Резерфорд, суммируя успехи ученых в превращении элементов, напомнил о важности решения следующей задачи: Даже самые тяжелые элементы — уран и торий — преобразуются при бомбардировке медленными нейтронами и в каждом случае порождают ряд новых радиоактивных веществ, но точная интерпретация этих превращений находится еще в процессе обсуждения [11, с.465]. И хотя в том же 1937 году ученого не стало, сама задача осталась, и были исследователи, которым предстояло ее решить.

Изгнание из новой Германии

После включения 12 марта 1938 г. Австрии в состав фашистской Германии и роста в ней арийских настроений 60-летняя Мейтнер из-за своего еврейского происхождения была вынуждена покинуть Германию, где первые запреты на ее деятельность уже не заставили себя ждать.

Очевидно, она осознавала для себя потери в научном плане, тем более что и сам Ган, высоко ценивший ее как ученого и личность, вынужден был заявить о ее увольнении из института. И лишь благодаря Бору ей была предоставлена работа в должности научного сотрудника у К.М.Г.Сигбана на физическом факультете Нобелевского института Королевской шведской академии наук. Сигбан, однако, мало заботился об обеспечении приборами вверенной Мейтнер лаборатории и о ее зарплате.

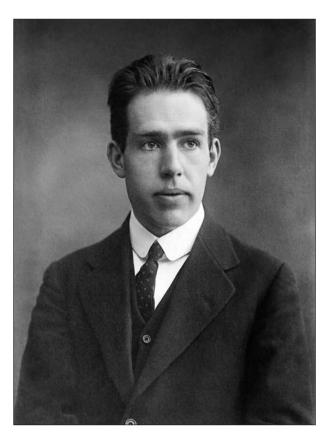
Впрочем, покинуть Германию пришлось многим. За короткое время Берлинский университет потерял более 200 выдающихся ученых еврейского происхождения — таких как Эйнштейн, Борн, Лауэ, Франк, Шредингер, Прингсгейм и др. Это привело к упадку крупнейшей на тот момент, задававшей тон в мировых исследованиях немецкой науки. Последствия болезненно ощущались десятилетиями и после Второй мировой войны.

С того момента Ган и Мейтнер работали раздельно. Лишь однажды они тайно встретились в Копенгагене, чтобы обсудить эксперименты Гана и Штрассмана (работавшего с Ганом с 1929 г.). Потом они обменивались лишь письмами. В те времена в лаборатории Гана были проведены эксперименты по облучению урана и тория нейтронами, показавшие, что один из продуктов реакции — барий. Об этом они тут же сообщили Мейтнер и ее племяннику, английскому физику-экспериментатору Фришу*.

В конце 1938 г. Ферми получил Нобелевскую премию за открытие искусственной радиоактивности и теорию замедления нейтронов. Встретились супруги Ферми и с Мейтнер. Л.Ферми с чисто женской наблюдательностью отметила, что это была усталая, замученная женщина с окаменевшим напряженным лицом, как у всех беженцев [12, с.206]. Впрочем, на ее интеллекте ученого, как показали события, это не сказалось.

Обнаружение распада атомных ядер

Действительно, вскоре после этого уникальные аналитические способности Мейтнер вновь про-



Н.Бор. 1910 г. (Библиотека конгресса США).

явили себя в полной силе. 21 декабря 1838 г. на новое сообщение Гана о проведенных им с Штрассманом успешных экспериментах по облучению и последующему распаду ядер урана она ответила: Ваши результаты с радием ошеломляют. Процесс, идущий на медленных нейтронах и приводящий к барию! <...> Признать такой необычный распад, кажется мне, пока очень трудно, но мы пережили в ядерной физике столько неожиданностей, что уже ни о чем нельзя сказать прямо: это невозможно [9, с.93].

Ган, обеспокоенный сложностью в объяснении эксперимента и осознававший возможности мышления своей бывшей сотрудницы, эмоционально и с надеждой ответил: Как было бы хорошо и полезно, если бы мы, как прежде, могли сейчас работать вместе [9, с.93]. В ходе своего анализа Л.Мейтнер обратилась к теории Г.А.Гамова, поддержанной Н.Бором, согласно которой силы, удерживающие части ядра атома, схожи с силой поверхностного натяжения, удерживающей каплю жидкости как единое целое [13].

В поисках объяснения эксперимента Гана и Штрассмана Мейтнер (обычно нуждавшаяся в подготовленном для дискуссии собеседнике) воспользовалась появлением своего племянника Фриша. К тому моменту тот, окончив Венский университет, уже поработал в Берлине у О.Гана (и следовательно, был в курсе исследований его группы), в Гамбурге — у О.Штерна, в Лондоне —

^{*} Отто Роберт Фриш — английский ученый, член Лондонского королевского общества. Занялся физикой под влиянием своей тети Лизе Мейтнер и со временем стал экспериментатором в области молекулярных пучков и ядерной физики. Активный участник создания атомной бомбы в Лос-Аламосе (США).



Мейтнер в лаборатории. Берлин, 1938 г.

у П.М.С.Блэкетта и, наконец, в Копенгагене — у Н.Бора. Появился он как раз тогда, когда Мейтнер прибыла к Бору, а затем отправилась на проживание в Стокгольм.

По воспоминаниям Фриша, приехавшего к тете на Рождество, к концу их прогулки они уже могли сформулировать некоторые выводы: ядро не раскалывалось, и от него не отлетали куски, а это был процесс, скорее напоминавший капельную модель ядра Бора; подобно капле, ядро могло удлиняться и делиться. <...> Лизе Мейтнер занималась определением энергии, выделяющейся при каждом распаде из-за дефекта массы. Она ясно представляла себе кривую дефекта масс. Оказалось, что за счет электростатического отталкивания элементы деления приобрели бы энергию около 200 МэВ, а это как раз соответствовало энергии, связанной с дефектом массы [1, с.706].

Фриш писал: Я едва успел сообщить Бору о нашей идее в тот самый момент, когда он [Н.Бор. — Р.Щ.] уже садился на пароход, отправляющийся в США. Я помню, как он хлопнул себя по лбу, едва я начал говорить, и воскликнул: «О, какие мы были дураки! Мы должны были заметить это раньше» [1, с.706]. После этого Мейтнер и Фриш в заметке «Расщепление урана нейтронами — новый тип ядерной реакции» от 11 февраля 1939 г. высказали предположение, что после захвата нейтрона ядра урана и тория делятся на две примерно равные части.

По совету Г.Плачека*, в то время работавшего в Институте теоретической физики Н.Бора в Копенгагене, О.Фриш в начале 1939 г. предпринял опыт-

ную проверку гипотезы Л.Мейтнер. Фриш приспособил ионизационную камеру, с помощью которой можно было без труда экспериментально наблюдать большие импульсы, возникающие от ионизации, производимой осколками деления [1, с.706].

Фриш подчеркнул роль Мейтнер в теоретическом обосновании опытов немецких физикохимиков: Я не хочу приписать себе особые умственные способности или же оригинальность мышления. Мне просто посчастливилось быть вместе с Лизе Мейтнер, когда она получила сообщение об открытии Гана и Штрассмана [1, с.706].

Решающий эксперимент, проведенный Фришем, состоялся 13 января. К тому времени работа Мейтнер и Фриша «Распад урана под действием нейтронов: новый тип ядерной реакции» была написана и направлена в печать. Заметка Фриша «Физическое доказательство деления тяжелых ядер при их бомбардировке нейтронами», опубликованная уже 18 февраля, подтвердила вывод двух ученых. Аналогичные опыты провел и Ф.Жолио-Кюри.

Из переписки Мейтнер и Гана следует, что он не поверил бы в расщепление ядра, если бы Мейтнер не сумела убедить его в этом. На основе своих расчетов она пришла к выводу о возможности ситуации, когда ядра урана будут распадаться на ядра бария и криптона с выделением нескольких нейтронов и большого количества энергии. Ранее Бор отмечал, что при бомбардировке атомов урана энергии выделяется гораздо больше, чем по теории нераспадающейся оболочки. Мейтнер же провела свои расчеты с учетом, что оболочки могут распадаться.

Вскоре в том же 1939 г. Бор в ответ на беседы с Фришем (который в то время работал в Копенгагене) опубликовал короткую заметку «Расщепление тяжелых ядер», где написал, что Мейтнер и Фриш интерпретируют замечательные результаты Гана и Штрассмана как указание на существование нового типа расщепления тяжелых ядер, заключающегося в делении ядра на две части с приблизительно равными массами и зарядами, сопровождающемся выделением огромной энергии [14, с.289].

Выступления в Принстоне (США) Дж.А.Уилера и Н.Бора, статья Я.И.Френкеля** с количественными расчетами возможного выделения значитель-

^{*} Георг Плачек (1905–1955) — американский физик-теоретик чешского происхождения. Его работы относятся к молекулярной и нейтронной физике. Участвовал в Манхэттенском проекте, работал в Лос-Аламосской национальной лаборатории.

^{**} В статье «Механизм деления ядер» Бор и Уилер учли вклад профессора Френкеля из Ленинграда в анализ различных аспектов понимания проблемы деления ядра под действием нейтронов [14, с.308].

ной энергии при расщеплении ядер урана вызвали сенсацию среди ученых, побудив их немедленно провести необходимые эксперименты. Применение этих знаний для создания оружия невероятной силы могло оказаться опасным в Германии, но благодаря усилиям Л.Силарда, Э.Теллера и Ю.П.Вигнера именно в США был создан Манхэттенский проект, породивший атомную бомбу.

Мейтнер, анализируя информацию о распаде ядер, пришла к выводу, что неизвестное вещество с периодом распада 2.3 сут — это элемент с порядковым номером 93. Если бы не военные события, связанные с захватом Дании, она бы смогла в начале апреля 1940 г. доказать это на циклотроне Института Н.Бора и тем самым закончить работу по поиску трансурановых элементов, начатую с Ганом. По словам Дж.Бэгготта, из всех разочарований, которые ей довелось пережить в последнее время, это было самым обидным [15, с.102].

В 1944 г. Гану была присуждена Нобелевская премия по химии за открытие ядерного распада. Получил он ее, вернувшись из плена в 1946 г. В то же время Лизе Мейтнер стала жертвой избирательной памяти и зависти со стороны своего научного соперника. Она, несомненно, заслуживала либо разделить премию по химии с Ганом, либо получить премию по физике. Но не получила ничего [15, с.434], хотя именно ее работа с Фришем стала решающим вкладом в обоснованное объяснение процесса расщепления урана.

После атомной бомбардировки Хиросимы английские газеты наводнили слухи, что Мейтнер бы-

ла еврейской матерью атомной бомбы, в то время как в приложении к меморандуму плененных немецких физиков из Германии (О.Гана, В.Гейзенберга, К.Ф.фон Вайцзеккера и др.) отмечалось, что профессор Мейтнер уже за полгода до открытия (расщепления ядра) покинула Берлин и не была причастна к самому открытию [16, с.181]. На самом деле она никак не была связана с Манхэттенским проектом, в рамках которого проводились работы по изготовлению атомного оружия.

Мейтнер жила одиноко, а как ученый получала скромную зарплату. И хотя она продолжала заниматься наукой, но вдали от последних событий в ядерной физике ее выводы остались невостребованными.

После войны Мейтнер приняла решение не возвращаться в Германию. В 1947–1960 гг. она,



Мейтнер читает лекцию в Католическом университете. Вашингтон, 1946 г. (Архив Смитсониевского института, США).



Л.Мейтнер (справа) с актрисой К.Корнелл и физиком А.Х.Комптоном. 6 июня 1946 г., когда Мейтнер и Корнелл получили награды от Национальной конференции христиан и евреев (Архив Смитсоновского института, США).

профессор Королевского технологического университета в Стокгольме, работала над первым шведским реактором. Она удостоилась почетных степеней университетов США и Европы, медалей и премий; приняла участие в работе VIII Сольвеевского конгресса в 1948 г. по элементарным частицам.

Подведение итогов

За свою жизнь Лизе не нашла времени, сил, а может быть и возможности выйти замуж и создать семью, поскольку всецело была погружена в мир науки с ее тайнами и противоречиями, с той повседневной работой, что приносила ей счастливые минуты от разгадки очередной загадки в понимании микромира.

Кажущиеся поначалу безобидными эксперименты Гана и Штрассмана и вдохнувшие в них жизнь выводы Мейтнер и Фриша, теоретические работы Бора, Уилера и Френкеля, придавшие их расчетам и опытам обоснование, запуск атомного реактора Ферми, создание атомной бомбы под руководством Оппенгеймера и трагедия Хиросимы — таков путь к нарушению равновесия в мире.

Выдающийся вклад Мейтнер в эти события так и не был оценен Нобелевской премией. Возможно, ее утешило то, что в 1966 г. она вместе с Ганом и Штрассманом получила премию Энрико Ферми. В 1946 г. «National Women's Press Club» (США) назвал Мейтнер «Женщиной года», а в 1949 г. она была награждена медалью имени Макса Планка за объяснение ядерных процессов, положивших начало атомной эре с ее атомной энергетикой.



Д.Сиборг вручает Л.Мейтнер диплом премии Энрико Ферми, которую она получила вместе с Ганом и Штрассманом (Архив Министерства энергетики США).

Мейтнер всегда объективно оценивала Ганаученого (желание экспериментировать, острую наблюдательность и дар интуитивно правильно объяснять экспериментальные наблюдения [2, с.319–320]) и человека (его постоянная готовность прийти на помощь... его высокое чувство ответственности, его мужество помогали ему находить правильный путь в тяжелые времена и нужный выход в трудных ситуациях... [2, с.351–352]).

За 60 лет своей творческой деятельности Мейтнер одна или совместно с Ганом, Фришем и др. опубликовала 169 научных работ. Большинство из них посвящены радиоактивности и ядерной физике, отразили ее вклад в их развитие, в открытие распада урана. Но были статьи и общего характера: совместная с Ганом «Атомная энергия и мир» (1954), «Статус женщин в профессиях» (1960) и «Пути и заблуждения ядерной энергии» (1963).

В 1960 г. Мейтнер вышла в отставку и уехала в Кембридж, где жили ее родственники. Там она выступала с лекциями об опасности применения ядерного оружия, о контроле в целом над вооружениями, призывала ученых точнее представлять моральные последствия их открытий. Мейтнер подчеркивала и то, как важно женщинам получать высшее образование и заниматься научными исследованиями, выступала за их равноправное участие в науке.

27 октября 1968 г. (за 10 дней до своего 90-летия) Мейтнер скончалась. По желанию Фриша на ее надгробии появилась надпись: Лизе Мейтнер: физик, который никогда не терял человечности. Своей долгой жизнью, по сравнению с М.Кюри

(всего 37 лет), И. и Ф.Жолио-Кюри (по 58 лет), она была обязана культуре работы с радиоактивным веществом, которая в немецких лабораториях выполнялась неукоснительно строго.

В честь Мейтнер Международный астрономический союз назвал кратер на обратной стороне Луны (1970) и кратер на Венере (1979), астероид №6999 (первоначально обозначенный как 4379 Т-3). Международный союз теоретической и прикладной химии официально принял название «мейтнерий» для химического элемента VIII группы побочной подгруппы 7-го периода Периодической системы элементов с атомным номером 109, который ранее был известен как унниленний (или эка-иридий). Институт ядерных исследований в Берлине с 1959 по 2009 г. носил имя О.Гана и Л.Мейтнер (теперь называется Берлинский центр материалов и энергии имени Г.Л.Ф.Гельмгольца). В Институте физики Берлинского университета имени братьев Гумбольдтов и в Венском техническом университете учреждены премии имени Лизе Мейтнер. Австрийский научный фонд и Межгосударственная ассоциация

последипломного образования учредили исследовательские стипендии имени Лизы Мейтнер, присуждаемые за научные исследования в атомной физике. В 2000 г. Европейское физическое общество учредило премию Лизе Мейтнер. Ученые мира хранят память о женщине — одной из великих ученых XX в. в области атома.

Литература / References

- 1. Фриш О., Уилер Дж. Открытие деления урана. Успехи физических наук. 1968; 96(4): 697–715. [Frish O., Wheeller J. Open of Uranium division. Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences). 1968; 96(4): 697–715. (In Russ).]
- 2. Гернек Ф. Пионеры атомного века. М., 1974. [Herneck F. Bahnbrecher des atomzeitalters. Moscow, 1974. (In Russ.).]
- 3. *Кляус Е.М., Франкфурт У.И., Френк А.М.* Нильс Бор. М., 1977. [*Klaus E.M., Frankfurt U.I., Frenk A.M.* Niels Bohr. Moscow, 1977. (In Russ.).]
- 4. *Резерфорд Э*. Естественное и искусственное разложение элементов. Успехи физических наук. 1925; 5(1−2): 28−44. [*Rutherford E.* Natural and artificial disintegration of the elements. Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences). 1925; 5(1−2): 28−44. (In Russ).]
- 5. Левшин Л.В. Сергей Иванович Вавилов. М., 1977. [Levshin L.V. Sergei Ivanovich Vavilov. Moscow, 1977. (In Russ.).]
- 6. *Иоффе А.Ф.* Встречи с физиками. Мои воспоминания о зарубежных физиках. Л., 1983. [*Ioffe A.F.* Meetings with Physicists. My Remembers about foreign Physicists. Leningrad, 1983. (In Russ.).]
- 7. Академик А.И.Алиханов: Воспоминания, письма, документы. Л., 1989. [Akademik A.I.Alihanov: Remembers, Letters, Documents. Leningrad, 1989. (In Russ.).]
- 8. 50 лет современной ядерной физике: Сборник статей. М., 1982. [50 years of Modern nuclear Physics. Collection of Articles. Moscow, 1982. (In Russ.).]
- 9. *Паули В.* Физические очерки. М., 1975. [*Pauli W. Physical essays. Moscow*, 1975. (In Russ.).]
- 10. *Мейтнер Л.* Атомное ядро и периодическая система элементов. Успехи физических наук. 1935; 15 (1): 1–12. [*Meitner L.* Atomic nucleus and Periodic system of elements. Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences). 1935: 15(1): 1–12. (In Russ.).]
- 11. *Резерфорд* Э. Избранные научные труды. Строение атома и искусственное превращение элементов. М., 1972. [*Rutherford E.* Selected scientific Works. Structure of Atom and artificial transformation of elements. Moscow, 1972. (In Russ.).]
- 12. Ферми Л. Атомы у нас дома. М., 1959. [Fermi L. Atoms in the Family. Moscow, 1959. (In Russ.).]
- 13. *Гамов Г.А.* Очерк развития учения о строении атомного ядра. Теория радиоактивного распада. Успехи физических наук. 1930. 10(4): 531–544. [*Gamov G.A.* Essay of evolution doctrine about structure atomic nucleus. Theory of radioactive decay. Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences); 1930; 10(4): 531–544. (In Russ.).]
- 14. Бор Н. Избранные научные труды. Т.ІІ. М., 1971. [Bohr N. Selected Scientific Works. V.II. Moscow, 1971. (In Russ.).].
- 15. *Бэгготт Дж.* Тайная история атомной бомбы. М., 2011. [*Baggott J.* The first war of Physics: The Secret History of the Atomic Bomb 1939–1949. Moscow, 2011. (In Russ.).]
- 16. *Ширах Р. фон.* Ночь физиков: Гейзенберг, Ган, Вайцзеккер и немецкая бомба. М., 2014. [*Schirach R. von.* Die Nacht der Physiker: Heisenberg, Hahn, Weizs**д**cker und die deutsche Bombe. Moscow, 2014. (In Russ.).]

Lise Meitner — "Madam Kurie" of German Science

R.N.Shcherbakhov Tallinn, Estonia

Lise Meitner (1878–1968) was an eminent Austrian scientist. She conducted investigations in nuclear physics, nuclear chemistry, and radiochemistry. On the basis of O.Hahn and F.Strassmann experiments she drawn inference about nuclear fission of uranium under action of neutrons. This fact became a convincing argument for awarding O.Hahn with Nobel prize in chemistry. Meitnerium — 109 element of Mendeleev table — was named in her honor.

Keywords: radioactive materials, uranium fission, Berlin University, science in Germany in the 1930th years.

Мезозойские чудовища Поволжья

кандидат геолого-минералогических наук В.Н.Комаров

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (Москва, Россия) e-mail: komarovmqri@mail.ru

аждая геологическая эпоха имела свои особенности. Мезозойская эра отличалась ровным теплым климатом. Во многом благодаря этому рептилии потеснили своих ближайших конкурентов — амфибий и звероящеров, заняв все наиболее перспективные экологические ниши, и стали первыми позвоночными, которые массово вернулись с суши обратно в море. Господство рептилий продолжалось около 200 млн лет - с начала триасового периода до конца мелового. Широчайшему палеогеографическому распространению морских рептилий способствовали не только мягкий климат и отсутствие полярных шапок, но и повышение уровня Мирового океана. В течение мезозойской эры отмечались периоды, когда он поднимался на 200 м выше, чем сейчас. Огромные территории, которые все мы привыкли считать сушей (большая часть Европы, почти вся Европейская Россия, многие регионы Северной Америки, Азии и Африки), были погружены под воду.

В числе затопленных участков оказалось и Поволжье. Море занимало этот регион на протяжении большей части мезозойской эры. Уже в триасовом периоде по южной окраине Поволжья проходил берег эпиконтинентального моря, связанного с южным океаном Тетис. В середине юрского периода подъем уровня Мирового океана привел к затоплению всего Поволжья. В районе современной Казани встретились два эпиконтинентальных бассейна, соединившие северный Бореальный океан и южный Тетис. Так возникло Русское море. На востоке оно достигало Уральских гор, на западе ограничивалось Воронежским массивом суши, на севере и юге уходило в океаны. Русское море занимало площадь, примерно равную двум Средиземным морям. Это был не очень глубокий (20-30 м) бассейн с нормальной соленостью. Во второй половине мелового периода связь Русского моря с северным океаном нарушилась. Оно вновь превратилось в обширный залив Тетиса, стало постепенно мелеть и покрываться островами.

Рецензируемая книга погружает читателя в яркую и многокрасочную стихию вымерших рептилий Поволжья, очень органично переплетая повествование о самых важных находках морских чудовищ и экосистемах далекого прошлого с трогательными рассказами о людях, которые обнаружили и прочитали загадочные письмена каменной летописи планеты. Первых авторы называют ле-



А.Е.Нелихов, М.С.Архангельский, А.В.Иванов. Когда Волга была морем. Левиафаны и пилигримы.

М.: Университетская книга, 2018. 140 с.

© Комаров В.Н., 2019 DOI:10.7868/S0032874X19050119

виафанами. Вторых — пилигримами, которые совершали путешествие в прошлое, прорубая себе дорогу геологическими молотками и кирками. Именно им — всем пилигримам — и посвящают авторы свою книгу.

В горных породах, накопившихся на дне Русского моря, сохранилось множество остатков морских рептилий. Они образовали в Поволжье настоящую кладовую, ископаемые кости из которой естествоиспытатели собирали на протяжении 200 лет. Однако посвященные рептилиям немногочисленные публикации состояли из формальных и часто неправильных описаний. Ситуация стала существенным образом меняться 15-20 лет назад. Проведенные ревизии в несколько раз сократили количество известных таксонов. Началось активное осмысление новых находок, а также переизучение образцов, хранившихся в музеях. В результате оказалось, что за последние годы в исследовании морских рептилий России сделано больше, чем за два предыдущих столетия. Стало очевидным, что их представители были такими же мобильными, как современные дельфины и киты, и бороздили все моря и океаны. Поволжье превратилось в один из важнейших в мире регионов для изучения морских рептилий.

В книге подробно рассказывается о наиболее любопытных и ценных для науки ихтиозаврах, плиозаврах, плезиозаврах и мозазаврах. Но этими группами авторы не ограничиваются. Они также приводят данные о морских крокодилах и черепахах, динозаврах, птерозаврах, птицах (гесперорнисах и ихтиорнисах), рыбах и различных головоногих моллюсках. В ансамбле разнообразных персонажей есть даже уникальная находка целого ствола юрского древовидного папоротника.

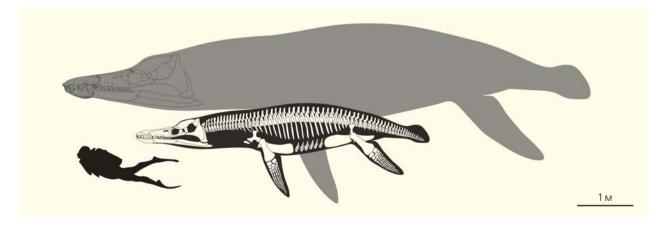
Авторами охарактеризованы самые яркие особенности морфологии и образа жизни вымерших животных, данные об их географическом и стратиграфическом распространении. Сведения о па-



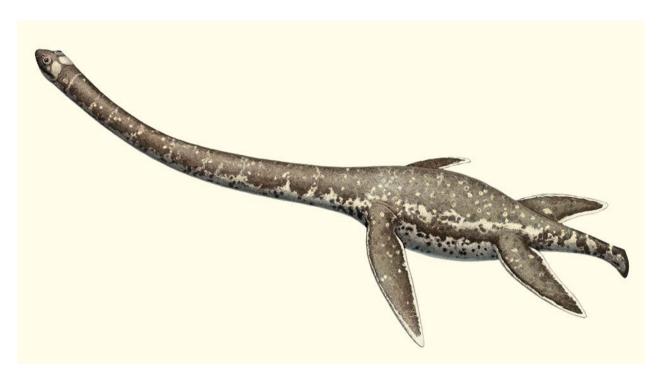
Ундорозавр (Undorosaurus).



Отпечаток кальмара на р.Унже (Костромская обл.). Находка и фото А.Ступайченко



Скелетная реконструкция русского плиозавра, основанная на голотипе (находка в буинской шахте) и «японском» экземпляре на фоне силуэта озинской особи.



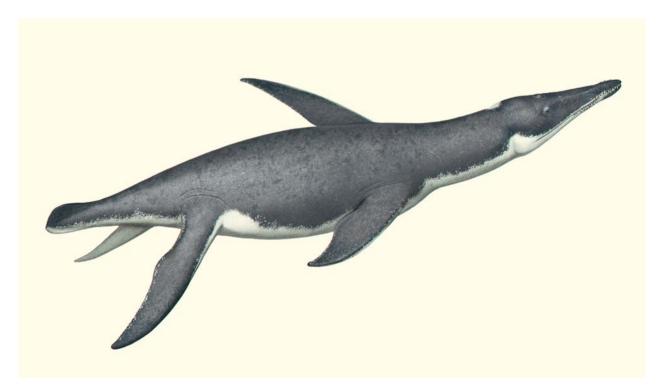
Абиссозавр (Abyssosaurus nataliae).

леогеографической обстановке и ее изменении в течение мезозойской эры воссоздают дух изображаемой эпохи, передают живописный колорит места и времени.

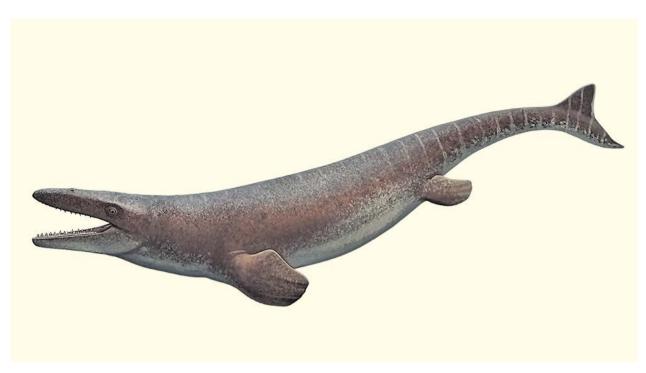
В книге приведены изумительные реконструкции, в которых материализованы причудливые силуэты древних существ. Атмосфера внешней торжественности и ощущение радостного покоя

приобретают глубокий смысл и усиливают внутренний трагизм эпохи, завершившейся полным вымиранием наиболее ярких ее представителей. Отдельно хотелось бы отметить фотографии Д.В.Григорьева, очаровывающие изысканностью образов и композиций.

В работе проанализированы многочисленные малоизвестные исторические сведения, повествую-



Иргизский плиозавр (Pliosaurus irgisensis).

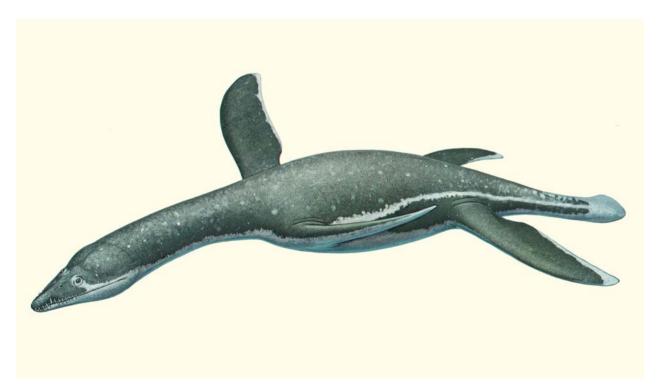


Мозазавр Гофмана (Mosasaurus hoffmanni).

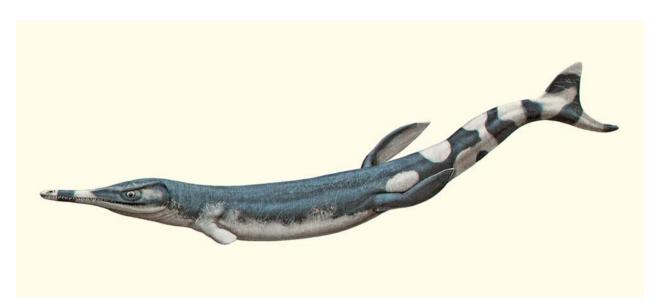
щие о конкретных людях, сделавших находки, — ученых, краеведах, любителях-энтузиастах, коллекционерах, простых рабочих, школьниках. Рассказано о различных, в том числе курьезных случаях, сопровождавших поиски окаменелостей. Все это заставляет задуматься о роли личности и случая в палеонтологических изысканиях. Читатели узнают много любопытного о последова-

тельности поисков окаменелостей, различных типах их сохранности, способах аккуратного сохранения непрочных образцов, различных методах их исследования, о наиболее известных местонахождениях и о проблеме неполноты палеонтологической летописи.

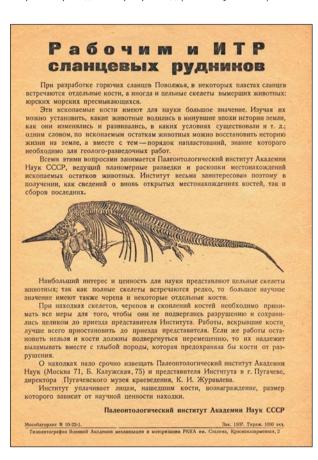
В книге содержатся ссылки на многочисленные (86), в том числе новейшие литературные источни-



Ромалеозавр (Rhomaleosauridae).



Морской крокодил метриоринхид (Metriorhynchidae).



Листовка, выпущенная Палеонтологическим институтом АН СССР для привлечения внимания шахтеров к костям морских рептилий. Из архива А.Е.Нелихова.

ки, которые помогут читателям самостоятельно познакомиться с различными вопросами подробнее.

Хочется отметить затронутую важную проблему, которая связана с тем, что многие находки окаменелостей хранятся у энтузиастов дома. О них мало кому известно, не говоря уже о том, что образцы

не исследованы специалистами. А ведь не исключено (и это подтверждается сведениями, изложенными в рецензируемой книге), что некоторые из них могут оказаться важными для науки, заслуживающими подробного описания и публикации.

В эпилоге авторы отмечают, что первое издание данной книги, вышедшее в 2012 г., было меньше по объему почти в пять раз. Всего за шесть лет удалось узнать о многих новых интересных особенностях образа жизни морских рептилий Поволжья, их морфологии и родословной. Сейчас идет описание плезиозавра лусхана, изучается найденный в Поволжье череп гигантского раннемелового плиозавра, завершается препарирование странного ихтиозавра-карлика из Ульяновской обл., готовится описание морских черепах Саратовской обл. и находок мозазавров — плиоплатекарпов и тилозавров, прежде не известных на территории России. Намечена ревизия рептилий середины мелового периода — загадочных полиптиходонов и последних ихтиозавров. Не вызывает сомнений, что в ближайшее время в регионе будут сделаны новые находки, которые внесут свой вклад в изучение морской фауны мезозоя.

В рецензируемой книге в очередной раз проявилась характерная особенность писательской манеры авторов (которая во многом и служит секретом читательской симпатии) — пристальное внимание к деталям и частностям, к тем микроэлементам действительности, где единичное и неповторимое пересекается с исторически общезначимым.

С любовью целеустремленных знатоков, с привычной требовательностью к слову авторы воссоздали одну из самых ярких и самобытных страниц геологической истории Земли — время, когда в морях господствовали удивительные морские чудовища.

Физиология. Медицина

Е.А.Косенко. ЗАГАДКА АЛОИЗА АЛЬЦГЕЙМЕРА: ПОЧЕМУ В XXI ВЕКЕ БОЛЕЗНЬ АЛЬЦГЕЙМЕРА НЕИЗЛЕЧИМА? М.: Наука, 2019. 319 с.

Первое сообщение о пациентке с ранее неизвестной болезнью было сделано А.Альцгеймером в 1906 г. на конференции врачей в Тюбингене. Болезнь Альцгеймера — неизлечимое, медленно прогрессирующее системное заболевание, при котором повреждаются клетки мозга, кровеносные сосуды и периферические ткани, включая клетки крови (лейкоциты, тромбоциты и эритроциты). Основные клинические проявления заболевания связаны с нарушением когнитивных функций (памяти, речи, восприятия, координации движения и зрительно-пространственной координации), что приводит к распаду интеллекта и психической деятельности в целом, а в итоге - к постепенной потере всех функций организма. Главными гистологическими маркерами болезни признаны амилоидные пептиды, которые в растворимом состоянии могут быть локализованы вокруг нейронов, а в агрегированной форме образуют амилоидные бляшки, которые обычно распределены внеклеточно. Накопление подобных пептидов ведет к появлению нейрофибриллярных клубочков, состоящих из гиперфосфорилированного тау-белка; к гибели клеток мозга; к повреждению сосудов и к деменции. Характерен асимптоматический период, который, несмотря на накопление токсичных амилоидов в мозге больных, может длиться от 5 до 25 лет до появления первых клинических симптомов заболевания. Как правило, подобные признаки наблюдаются у людей старше 65 лет. По статистике, в 98% случаев болезнь возникает спорадически (приобретенная форма), генетическую же форму заболевания имеют лишь 2% больных. По оценке экспертов Всемирной организации здравоохранения, в 2010 г. в мире насчитывалось около 35.6 млн людей, страдающих этим недугом, причем пациенты 60-64 лет составляли всего 1%, тогда как почти половина всех заболевших — люди старше 95 лет.

Книга знакомит читателей с необычной и загадочной историей возникновения болезни Альцгеймера и с тем, как и в каком направлении движутся современные исследования в поисках ответов на загадку, которую задал человечеству более 100 лет назад немецкий врач-психиатр. Особое внимание уделено новым научным данным, которые иногда сознательно отвергаются, поскольку вступают в конфликт с коммерческими интересами производителей лекарств. Для объяснения механизмов, лежащих в основе нейродегенерации при данном заболевании, сформулирована эритроцитарная гипотеза. Согласно ей эритроциты рассматриваются не просто как клетки, переносящие кислород, а как объекты, от эндогенного метаболизма которых зависит адекватная доставка кислорода в ткани, и в частности в мозг. Именно функциональное несоответствие между эритроцитами и биоэнергетикой мозга, по мнению автора, лежит в основе гибели нейронов. Намечены пути решения проблем, связанных с этим заболеванием, которые не успел реализовать Ю.Г.Каминский (умерший в 2017 г.) — руководитель данного направления в отечественной медицинской науке, заведовавший лабораторией математического моделирования и биоинформатики в Институте теоретической и экспериментальной биофизики РАН.



Астрономия. Астрофизика

МНОГОКАНАЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ / Ред.-сост. А.М.Черепащук. Фрязино: Век 2, 2019. 528 с.



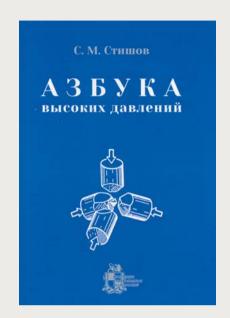
Прогресс в области астрономических исследований тесно связан с развитием методов наблюдения небесных тел. Современная астрономия использует не только электромагнитные волны, идущие из Вселенной, но и космические лучи, нейтринное излучение, а также гравитационные волны. В первой части книги изложены современные методы исследования Вселенной, а во второй кратко описаны новейшие достижения астрономии и астрофизики, которых удалось получить благодаря этим методам. Электромагнитный канал давно стал всеволновым, охватывая диапазон от радиоволн до у-излучения. Космические лучи были открыты в 1912 г. Источником их могут быть звезды, пульсары, ядра галактик; космические лучи высоких энергий формируются при взрывах сверхновых звезд. Связь со всеми этими лучами источников высокоэнергетичных у-квантов позволяет идентифицировать источники космических лучей с астрофизическими объектами и с происходящими в них физическими процессами. Канал нейтринных наблюдений открывает перспективы исследования различных объектов — от солнечных недр до вспышек сверхновых. В 2015 г. на американских лазерных гравитационно-волновых антеннах обсерватории LIGO были открыты сигналы от слияния черных дыр в двойных системах. В 2017 г. к совместным наблюдениям присоединилась итальянская обсерватория VIRGO, что позволило зарегистрировать всплески гравитационных волн от слияния двух нейтронных звезд, а также обнаружить на небе объект, образовавшийся в результате такого слияния, и изучить его свойства в рентгеновском, оптическом и микроволновом диапазонах.

Раздел «Электромагнитные волны» объединяет главы «Оптический диапазон» (авторы А.А.Белинский и С.А.Потанин), «Инфракрасная астрономия» (А.М.Татарников), «Радиодиапазон» (Ю.Ю.Ковалев), «Ультрафиолетовый диапазон» (Б.М.Шустов), «Рентгеновская астрономия» (А.А.Лутовинов, М.П.Павловский) и «Гамма-астрономия» (К.А.Постнов). По одной статье — в разделах «Нейтринный канал» и «Космические лучи» - «Источники и регистрация нейтрино» (С.В.Троицкий) и «Странники Вселенной» (М.И.Панасюк) соответственно. Раздел «Гравитационные волны» содержит статьи «Открытие гравитационных волн» (С.П.Вятчанин), «Природа источников гравитационных волн» (К.А.Постнов), «Локализация источника гравитационных волн» (В.М.Липунов), «Ограничения на физические теории, следующие из открытия ГВ» (С.О.Алексеев) и «Гравитационные сигналы Вселенной» (В.Н.Руденко). Составляющий вторую часть книги раздел «Астрономическая картина мира» формируют главы «Исследования планет (М.Я.Маров), «Солнце – этапы познания» (В.Н.Обридко), «Звезды и звездные населения» (А.С.Расторгуев, А.К.Дамбис, Н.Н.Самусь), «Сверхновые звезды и гамма-всплески» (С.И.Блинников, Д.Ю.Цветков), «Многоликие галактики» (А.В.Засов, О.К.Сильченко), «Черные дыры» (А.М.Черепащук) и «Космология» (М.В.Сажин, О.С.Сажина). Это первая книга о многоканальной астрономии в России и, видимо, одна из первых в мире.

Физика. Кристаллография

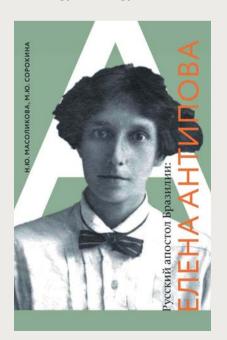
С.М.Стишов. АЗБУКА ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2019. 140 с.

Любое профессиональное сообщество развивает свой язык, включающий словарь терминов и понятий. Книга академика Сергея Михайловича Стишова содержит краткие сведения, объясняющие термины и понятия, которые приняты в среде профессионалов, занимающихся исследованиями в области высоких давлений, будь то физика, геология, химия или техника. Есть в ней и краткие биографические сведения, описывающие деятельность выдающихся ученых (увы, преимущественно иностранных, из отечественных ученых отдельной статьи удостоился лишь Л.Ф.Верещагин), во многом определивших современное состояние науки. Книга организована в форме небольших, но емких статей или заметок, расположенных в алфавитном порядке и проиллюстрированных графическими рисунками и фотографиями. Литературные ссылки даны лишь там, где это необходимо. Издание ориентировано на молодых ученых, аспирантов и студентов, хотя (по мнению автора) и маститые специалисты могут найти в ней полезные сведения. Специально отмечено, что это не справочник, а экспресс-введение в предмет, способное помочь начинающим ученым быстрее освоиться в профессии, но рассчитанное на современного читателя, который дружит с Интернетом и может легко найти недостающую информацию.



История русской эмиграции. Психология

Н.Ю.Масоликова, М.Ю.Сорокина. РУССКИЙ АПОСТОЛ БРАЗИЛИИ: ЕЛЕНА АНТИПОВА, 1892–1974. М.: Дом русского зарубежья имени А.И.Солженицына, 2018. 96 с.



В книге рассказывается о судьбе детского психолога Елены Владимировны Антиповой. Дочь царского генерала и жена писателя В.Я.Ирецкого, высланного из большевистской России в 1922 г. на «философском пароходе», она покинула страну в 1924 г. В эмиграции занималась научными исследованиями в женевском Институте Руссо (частная школа, также известная как Академия Женевы). А с 1929 г. и до конца жизни трудилась в Бразилии, став одним из лидеров психологии как науки и профессии в этой стране. Сочетая исследовательскую работу в психологических лабораториях с применением новых методик непосредственно в образовательных учреждениях, она создала систему психолого-педагогической поддержки одаренных детей и детей с особенностями развития, которая продолжает эффективно работать и в наши дни. Заслуги Елены Владимировны получили высокое государственное признание в Бразилии: она удостоена звания почетного гражданина штата Минас-Жерайс, титула «Мать года», ордена Южного креста и медали «За заслуги в области образования». Много десятилетий активно действует образовательный фонд ее имени (Foundation Helena Antipoff) и Центр истории психологии и документации имени Елены Антиповой при Федеральном университете Минас-Жерайс.

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



5/2019

Соучредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука» Главный редактор: А.Ф.Андреев

Заместитель главного редактора: А.В.Бялко

Ответственный секретарь Литературный редактор

Е.А.Кудряшова Е.Е.Жукова

Заведующая редакцией И.Ф.Александрова

Научные редакторы М.Б.Бурзин

М.Б.Бурзин Перевод содержания Т.С.Клювиткина Т.А.Кузнецова Е.В.Сидорова

Н.В.Ульянова Графика, верстка: О.И.Шутова С.В.Усков Подписной индекс: 70707 Дата выхода в свет: 29.05.2019 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 12

Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука» Адрес: 117997, Москва, ул.Профсоюзная, 90 По вопросам публикации материалов: тел.: (495) 276-77-35 (доб. 4171),

110 вопросам пуоликации материалог 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, 17a

Рекпамя



LINE OF THE THE BOTTON OF THE BOTTON

Конкурс учрежден Издательством «Наука» для привлечения молодых авторов Заявки и работы для участия в Конкурсе принимаются с 9 января по 31 июля 2019 года

К участию в конкурсе принимаются оригинальные, не публиковавшиеся ранее, не участвующие в других конкурсах статьи по трем блокам:

- астрономия, космонавтика, экология, геофизика, геодезия
- энергетика, биоэнергетика
- физика, химия, биология

По итогам Конкурса награждаются три победителя:



Сертификат на издание научной или научно-популярной книги



Сертификат на подготовку оригинал-макета научной или научно-популярной книги



Сертификат на редактирование научной или научно-популярной книги

Подать заявку и узнать подробности о Конкурсе вы можете на сайте

ys.naukapublishers.ru

Рекпама