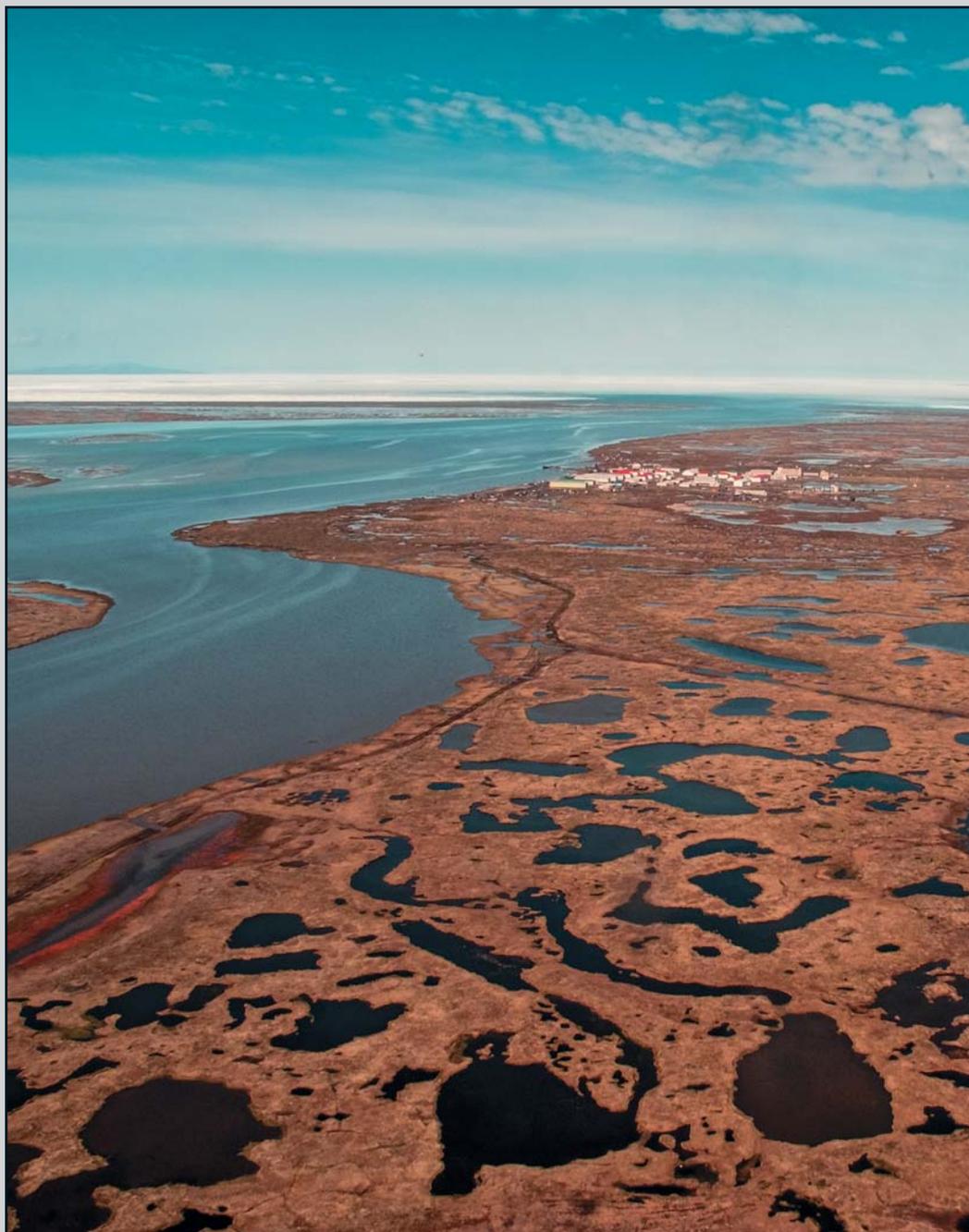


ISSN 0032-874X

# ПРИРОДА

5 16



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

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

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

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Чукотская тундра в окрестностях пос. Рыткучи (конец июня 2013 г.). В изъеденной термокарстом долине р. Чаун, близ ее впадения в Чаунскую губу, в выбросах из нор грызунов можно найти дождевых червей *Eisenia nordenskioldi*.

См. в номере: **Берман Д.И., Шеховцов С.В., Пельтек С.Е.**  
*Видимо-невидимое разнообразие дождевых червей Сибири.*

Фото Д.И.Бермана

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. На рейде Туапсе.

См. в номере: **Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Сойер В.Г.**  
*Нефтяное загрязнение Азовского и Черного морей растет.*

Фото В.Л.Сёмина



«Наука»

**В НОМЕРЕ:****3 Зотов Л.В., Фролова Н.Л., Шам С.К.****Гравитационные аномалии в бассейнах крупных рек России**

Спутниковая система GRACE, действующая на орбите Земли с 2002 г., позволяет изучать гравитационные аномалии и их временные вариации, обусловленные процессами массопереноса в оболочках Земли. На основе анализа гравитационных отклонений, зарегистрированных с помощью спутников GRACE, удалось оценить изменчивость влагозапаса бассейнов 15 крупнейших рек России за последние 13 лет.

**9 Дергалёв А.А.****Инфекционность амилоидов**

В последнее время появилось множество свидетельств того, что граница между прионными и амилоидными конформационными заболеваниями человека несколько иллюзорна. Изучая ненаследуемые амилоиды в дрожжах, можно попытаться ответить на вопрос, существует ли принципиальная разница в строении инфекционных и неинфекционных амилоидных полимеров.

**16 Берман Д.И., Шеховцов С.В., Пельтек С.Е.****Видимо-невидимое разнообразие дождевых червей Сибири**

Считается, что на территории Сибири обитает 16 видов дождевых червей. Однако в результате недавних генетических исследований всего лишь 250 особей из 12 географических точек юга Западной Сибири было обнаружено 27 кластеров, 17 из которых оказались новыми, не имеющими сходства с известными видами.

**29 Никонов А.А.****Мощное цунами. В проливе... Керченском**

Недавно по геологическим и сейсмотектоническим признакам была выделена самостоятельная Керченская очаговая область. А на крымских берегах и в самом Керченском проливе обнаружены такие необычные залегания несовместимых по фациям слюев, которые могло создать только сильное цунами.

**39 Алифанов В.Р., Савельев С.В.****Юрские динозавры Забайкалья**

Находки динозавров в местонахождении Кулинда дополнили ископаемую летопись Центральной Азии. Их изучение позволило предложить новые ответы на такие важные проблемы палеонтологии позднеюрских, как происхождение перьев у динозавров и у птиц, выявление «истинных» динозавров и родство крупных таксонов архозавров.

**49 Черных Е.Н.****Русь, Россия и культуры Степного пояса: путь в Новое время**

Около 1500 г. началась знаменитая эпоха Великих географических открытий. Колонизация земель за пределами так называемого Ядра Евразии происходила в двух основных направлениях — западном и восточном. За две сотни лет мегаструктура континента претерпела значительные перемены. Каковой же при этом оказалась судьба культур Степного пояса?

**Научные сообщения****59 Комаров В.Н.****Узоры на когтях дьявола**

Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Соьер В.Г.

**Нефтяное загрязнение Азовского и Черного морей растёт (64)**

Рихванов Л.П.

**Менделеевит: новые ракурсы исследования (70)****Времена и люди****73 Конашев М.Н.****Советская генетика и Ф.Г.Добржанский****Редакционная почта****81 Колбин В.А.****Книга вышла декоративная, а могла стать и познавательной****83****Новости науки**

Астрокомплекс в Саянах укомплектован новым телескопом (83). Аналитический комплекс для исследования твердых топлив. Козлов А.Н. (84). Почему «поют» землетрясения? (85). Климатические циклы в характеристиках ленточных глин озер Хакасии. Дарьин А.В. (85).

**Рецензии****87 Бородин П.М.****«Некоторая история вопроса» (на кн.: С.Г.Инге-Вечтомов. Ретроспектива генетики: Курс лекций)****90****Новые книги****В конце номера****92 Гродницкий Д.Л., Пономаренко А.Г., Расницын А.П.****Сложные вопросы о функциях и истории организмов**

## CONTENTS:

### 3 **Zotov L.V., Frolova N.L., Shum S.K.** **Gravity Anomalies in the Basins of Major Russian Rivers**

*Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE) twin satellites have been observing global large-scale mass transports of the Earth at monthly sampling since 2002. These mass redistributions are directly related to climate change signals and natural hazards, including sea level rise, hydrological processes, ground water evolution, snow and ice ablation and accumulation, floods/droughts, lithosphere processes, etc. Here we report on the analysis of the GRACE climate record to quantify the hydrologic and climate-induced mass variations for the 15 of the largest Russian river basins over the last 13 years.*

### 9 **Dergalev A.A.** **Infectivity of Amyloids**

*Recently there emerged plenty of evidence that the borderline between prion and amyloid conformational human diseases is somewhat illusory. Studying non-inheritable amyloids in yeasts may help us answer the question if there is a principal difference in the structure of infectious and non-infectious amyloid polymers.*

### 16 **Berman D.I., Shekhovtsov S.V., Peltek S.E.** **Visible and Invisible Diversity of Siberian Earthworms**

*It is believed that only 16 species of earthworms live in Siberia. However, in the recent genetic studies of just 250 individuals from 12 geographic locations in the south of Western Siberia, 27 clusters have been found, 17 of which were new, having no similarity with the known species.*

### 29 **Nikonov A.A.** **Powerful Tsunami. In the Kerch Strait**

*Recently using geological and seismotectonic features a separate Kerch focal area has been identified. And at the Crimean coasts and in the Kerch Strait itself were observed so unusual occurrences of layers incompatible for facies that could be created only by a powerful tsunami.*

### 39 **Alifanov V.R., Savel'ev S.V.** **Jurassic Dinosaurs from Transbaikal Region**

*Findings of dinosaurs in location Kulinda completed the fossil record of Central Asia. Their study has allowed to propose the new answers to such important problems of Vertebrate Paleontology, as the origin of feathers in dinosaurs and birds, identifying «true» dinosaurs and kinship of the higher taxa of archosaurs.*

### 49 **Chernykh E.N.** **Russ, Russia and the Steppe Zone Cultures: the Way to New Times**

*About 1500 the famous epoch of Great geographic discoveries began. Colonization of territories beyond so-called Heartland of Eurasia took place in the two principal directions: western and eastern. In the course of two hundred years the megastructure of the continent had been significantly transformed. What was the fate of the cultures of Steppe Belt in the result?*

## Scientific Communications

### 59 **Komarov V.N.** **The Patterns on the Claws of the Devil**

**Matishov G.G., Stepanyan O.V., Kharkovsky V.M., Soyer V.G.**

### **Oil Pollution of Azov and Black Seas Increases (64)**

**Rickhvanov L.P.**

### **Mendeleevite: New Angles of Studying (70)**

## Times and People

### 73 **Konashv M.N.** **Soviet Genetics and Th.G.Dobrzhansky**

## Letters to Editor

### 81 **Kolbin V.A.** **The Book Turned Out to Be Decorative, But It Could Have Been Educative**

### 83 **Science News**

*Astrocomplex at the Sayan Mountains Got a New Telescope (83). Analytical Complex for Study of Solid Fuels. Kozlov A.N. (84). Why the Earthquakes «Sing»? (85). Climate Cycles in the Properties of the Band Clays of Khakassia Lakes. Dar'in A.V. (85).*

## Book Reviews

### 87 **Borodin P.M.** **«Some History of the Subject» (on book: S.G.Inge-Vechtomov. Retrospective of Genetics: Lecture course)**

### 90 **New Books**

## In the End of the Issue

### 92 **Grodnitsky D.L., Ponomarenko A.G., Rasnitsyn A.P.** **Difficult Questions about Functions and History of Organisms**

# Гравитационные аномалии в бассейнах крупных рек России

Л.В.Зотов, Н.Л.Фролова, С.К.Шам

**Г**равиметрия — наука с давней историей. Методы гравиметрических измерений совершенствовались на протяжении всего XX в. Но даже самые современные наземные наблюдения (например, с использованием сверхпроводящих гравиметров) не дают полного представления о глобальной и региональной динамике изменений гравитационного поля. Лишь космическая эра открыла путь к полномасштабному исследованию временных вариаций гравитационного поля нашей планеты, в том числе на труднодоступных протяженных территориях, и позволила научному сообществу опереться на глобальные данные в дискуссионных вопросах по климату.

## По принципу «ведущий — ведомый»

Технологическим достижением нашей эпохи стали спутники-близнецы GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment — Эксперимент по исследованию гравитационного поля и климата), разработанные Национальным аэрокосмическим агентством США (NASA) и Германским аэрокосмическим центром (DLR) и в марте 2002 г. выведенные на орбиту с северного российского космодрома «Плесецк». Два иден-

© Зотов Л.В., Фролова Н.Л., Шам С.К., 2016



**Леонид Валентинович Зотов**, кандидат физико-математических наук, доцент Московского института электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», старший научный сотрудник Государственного астрономического института имени П.К.Штернберга МГУ имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов — вращение Земли, гравитационное поле, климатические изменения.



**Наталья Леонидовна Фролова**, профессор, доктор географических наук, заведующая кафедрой гидрологии суши географического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Занимается изучением стока рек, дистанционными методами исследования Земли, горной гидрологией.



**С.К.Шам (С.К.Шум)**, профессор отделения геодезии Школы наук о Земле Университета штата Огайо (г.Колумбус, США). Один из авторов отчета IPCC по климату 2007 г. Специалист в области климатических изменений, спутниковой геодезии, геодинамики, исследований системы моря, данных GRACE.

**Ключевые слова:** гравитационное поле, GRACE, космическая гравиметрия, водные ресурсы.

**Key words:** gravitational field, GRACE, space gravimetry, water resources.

тичных спутника летят на расстоянии около 200 км друг за другом по одной и той же полярной орбите с наклоном  $89^\circ$  на высоте примерно 500 км над Землей. При прохождении над гравитационными неоднородностями характер их движения меняется: полет спутников «возмущается» гравитационным полем Земли. Ситуацию можно проиллюстрировать так: первый аппарат (ведущий), попав в аномалию, ускоряется, и это увеличивает расстояние между спутниками. Когда же аномалию проходит второй аппарат (ведомый), то ускоряется уже он, и это уменьшает расстояние между близнецами. Расстояние между спутниками непрерывно измеряется в микроволновом диапазоне, что позволяет с микрометровой точностью отслеживать эти отклонения. Их собственное движение и ориентация регистрируются с помощью высокоточных навигационных инструментов — систем глобального позиционирования GPS, акселерометров и звездных датчиков. Регистрируемое расстояние между спутниками и есть та исходная величина, которая содержит информацию о гравитационном поле. За сутки зонды проходят по своей орбите примерно 15 раз (орбитальный период длится 91 мин). Поскольку за это время невозможно густо покрыть измерениями всю поверхность Земли, система выполняет накопление данных за 30-дневный период.

Данные со спутников поступают на обработку в Германский геофизический центр (GFZ, г.Потсдам) и в США — в Центр космических исследований (CSR, г.Остин) и в Лабораторию реактивного движения (JPL, г.Пасадена). С учетом показаний бортовых GPS, акселерометров, звездных камер и другой аппаратуры получают продукт (данные) первого уровня (L1) [3]. Затем, используя сложный алгоритм решения обратной задачи с регуляризацией [12] и учитывая поправки на изменения атмосферного давления над сушей и океаном, величину твердотельного, океанического, полярного приливов, получают данные второго уровня (L2) [2]. Они представляют собой разложение ежемесячного гравитационного поля по сферическим функциям в виде коэффициентов Стокса, названных по имени английского математика Дж.Г.Стокса (1819–1903) [15, 16]. При вычитании среднего поля из ежемесячных коэффициентов Стокса, получаемых с GRACE, можно наблюдать изменения гравитационного поля от месяца к месяцу с точностью до микрогала ( $1 \text{ Гал} = 0.01 \text{ м/с}^2$ ) и пространственным разрешением около 300 км.

Файлы данных уровня L2 находятся на серверах GFZ, CSR и JPL в открытом доступе. Их можно использовать в геофизических, геологических, океанографических и гидрологических исследованиях, в решении задач по вращению Земли, в геодинамике, сейсмологии и климатологии. Однако необходима фильтрация данных от шумов.

## Чтобы убрать лишнее, разложим на составляющие

Для самой большой страны в мире, России, недостаточно покрытой метеорологическими и гидрологическими сетями наблюдений, данные космической гравиметрии особенно полезны. В Государственном астрономическом институте имени П.К.Штернберга Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова используется новый подход к обработке данных GRACE — многоканальный сингулярный спектральный анализ (МССА), который позволяет устранять меридиональные шумы — страйпы, обусловленные нахождением обоих спутников на полярной орбите и орбитальными резонансами, а также разделять главные компоненты сигнала. По сравнению с другими методами удаления страйпов [5–8, 11] МССА, несмотря на математическую сложность, более гибок, поэтому предпочтение в данном исследовании отдано ему.

Мы использовали многоканальный сингулярный спектральный анализ для обработки гравиметрических данных GRACE Level 2 RL05.1 с января 2003 г. по сентябрь 2015 г. из архива центра обработки JPL. Измерения гравитационного поля со спутника методом МССА разложили по эмпирическим ортогональным функциям, что позволило отфильтровать их и оставить полезный сигнал, связанный с перераспределением вод суши и океана, процессами массопереноса в почве и на больших глубинах. Медленные процессы в литосфере вычли по модели постледникового поднятия Паулосна, 2007 [9]. В результате остались лишь аномалии, т.е. отклонения в гравитационном поле, в основном связанные с климатическими и гидрологическими процессами. Величины аномалий гравитационного поля перевели в эквивалентный уровень воды (ЭУВ), выраженный в сантиметрах (как если бы они были созданы массой плоского слоя воды определенной толщины), и составили карты аномалий гравитационного поля Земли для каждого месяца (рис.1).

## Снегонакопление, половодье, мерзлота...

Воспользовавшись базой данных бассейнов рек STN-30p (Simulated Topological Networks)\*, мы наложили маску на обработанные данные и выделили 15 крупнейших речных бассейнов России (табл.). Осредненные показатели эквивалентного уровня воды для них представлены на рис.2, 3. Тренд по России возрастающий, что в основном определяется перераспределением водных масс в бассейнах сибирских рек (рис.3). Крупные реки европейской части (Волга, Днепр) в последние 13 лет демонстрируют отрицательный тренд. Зи-

\* <http://www.wsag.unh.edu/Stn-30/stn-30.html>

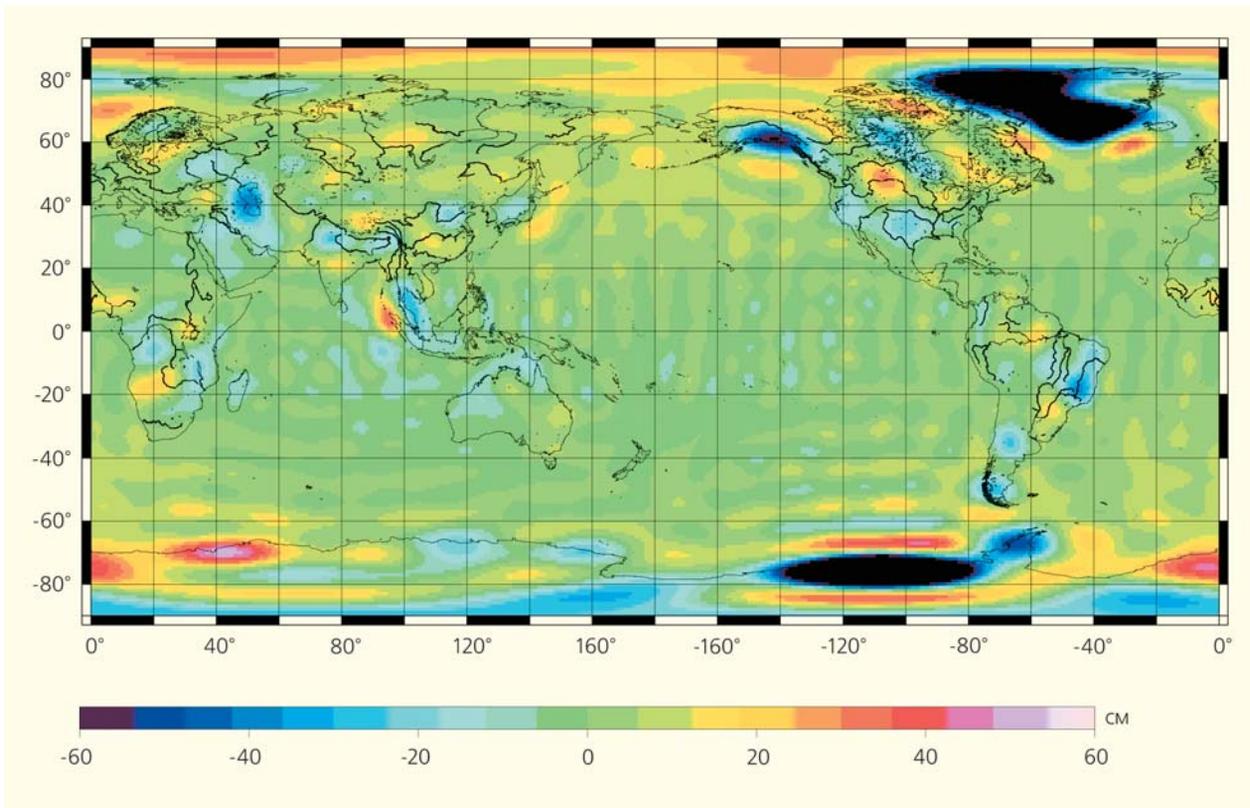


Рис.1. Карта изменений гравитационного поля Земли с 2003 по 2015 гг. по данным GRACE. Шкала ЭУВ (1 см  $\approx$  0.4 мкГал). Красным отмечены положительные аномалии (избыток массы), синим — отрицательные. Хорошо заметно таяние ледников Гренландии, Антарктиды, Аляски, Гималаев. Положительная аномалия на Амазонке и юге Конго связана с изменением количества осадков, пятно возле о.Суматра (Индонезия) — с землетрясением 2004 г., переместившим крупный (~1000 км) блок земной коры. Полосы над экватором океана — остаточные шумы-страйпы.

**Таблица**

**Сводные данные по 15 бассейнам крупнейших рек России**

Название	Длина бассейна, км	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>
<b>Реки арктического бассейна (азиатская часть)</b>		
Обь	5410	2 990 000
Енисей	4102	2 580 000
Лена	4260	2 490 000
Колыма	2129	647 000
Хатанга	1636	364 000
Индигирка	1790	362 000
Анадырь	1150	191 000
Яна	872	238 000
Оленёк	2270	219 000
<b>Реки арктического бассейна (европейская часть)</b>		
Северная Двина	1332	357 000
Печора	1809	322 000
<b>Реки тихоокеанского бассейна</b>		
Амур	4440	1 856 000
<b>Реки атлантического бассейна</b>		
Волга	3530	1 360 000
Днепр	2201	504 000
Дон	1870	421 700

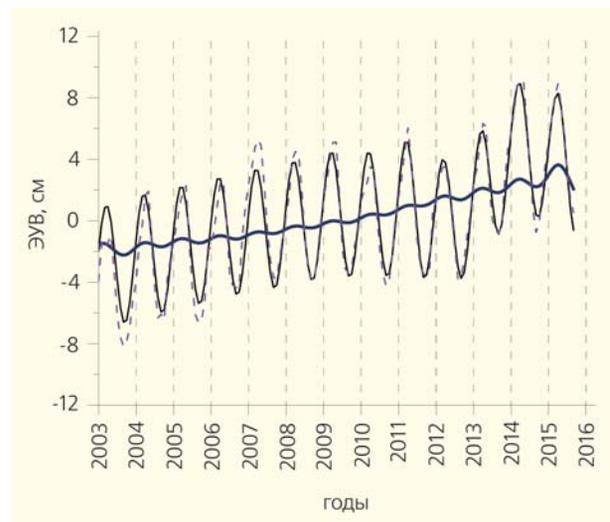


Рис.2. Усредненные показатели аномалий ЭУВ в бассейнах 15 крупнейших рек России: фиолетовая (пунктирная) кривая отражает исходные данные до применения метода МССА, черная — после МССА-сглаживания, синяя — тренд, связанный с перераспределением масс вследствие медленных климатических изменений.

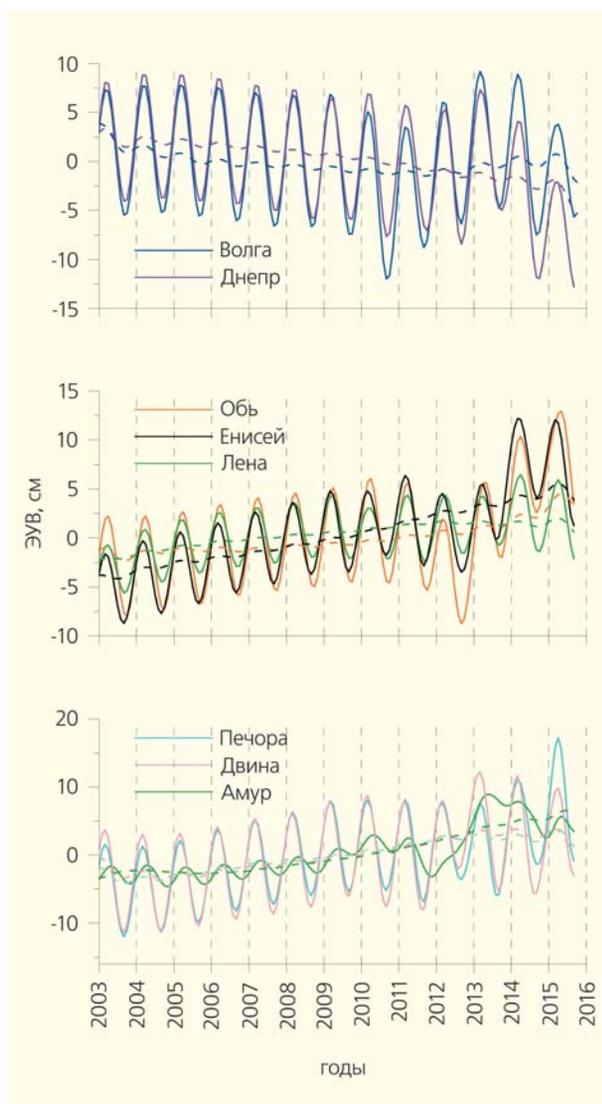


Рис.3. Осредненные гравиметрические данные по аномалиям масс для бассейнов рек европейской части России (вверху), Сибири (в середине), Русского Севера и Дальнего Востока (внизу). Сплошная линия — отфильтрованный МССА суммарный сигнал, пунктирная — тренд. Хорошо заметна аномалия летом 2010 г., связанная с засухой, приведшей к лесным пожарам [1]; также виден аномальный максимум 2013 г. (вверху).

мой при отрицательных температурах, когда большая часть рек нашей страны покрыта льдом, приток подземных вод следует считать постоянным. Следовательно, можно предположить, что увеличение масс, наблюдаемое с GRACE в зимние месяцы, в основном связано со снегонакоплением. Согласно отчету Гидрометцентра России, зимой 2012–2013 гг. количество запасенной в снеге воды было максимальным с 1967 г. Его таяние в апреле–июне вызвало на многих реках Европейской России повышенную волну половодья. В данных GRACE эта аномалия также нашла отражение.

Большую озабоченность в последние годы вызывают засухи и наводнения на крупных озерах, таких как Байкал и Ханка на Дальнем Востоке. Несмотря на относительно малый размер водосборов, все же удастся исследовать их с помощью GRACE. Например, обстановка на оз.Ханка коррелирует с таковой на р.Амур.

Кривая изменения аномалий для Амура (рис.3, внизу) отличается тем, что на фоне небольшой годовой амплитуды в 2012–2013 г. наблюдается быстрый прирост масс. Повышенный влагозапас в бассейне реки в результате весеннего половодья 2013 г. во многом способствовал развитию катастрофических наводнений после выпадения осадков летом и осенью того же года. Предсказывать такие события очень важно, но весьма трудно. Мы делали попытки прогноза кривых рис.3 с использованием нейронной сети [20], однако он не оправдался. Гидрологическая обстановка во многом зависит от метеорологических факторов, которые не поддаются прогнозированию элементарной нейронной сетью или авторегрессией. Особенно затруднено прогнозирование трендов. Тем не менее в работе [10] показано, что привлечение данных GRACE увеличивает предсказуемость половодий на десятки процентов. Исследования в этом направлении идут в Институте водных проблем РАН. Прогнозы влагозапасов могут быть полезны также для оценки урожайности сельскохозяйственных культур.

На графиках рис.3 четко выделяются годовые колебания, амплитуда и фаза которых не одинаковы и определяются сезонным перераспределением водных масс на поверхности, в почвах и др., суммарно регистрируемым GRACE. На кафедре гидрологии географического факультета МГУ эти компоненты с успехом разделяют и сопоставляют с гидрологическими моделями (GLDAS, WGHM, ECOMAG) и данными полевых наблюдений [14, 17, 18].

Полученные после МССА-обработки осредненные гравиметрические данные по аномалиям масс для бассейнов рек Сибири, европейской части России, Русского Севера и Дальнего Востока хорошо согласуются с доступными в Интернете\* расчетами для конкретных бассейнов, сделанными французским Национальным центром космических исследований (CNES) в Тулузе. К слову, CNES использует метод коррекции данных GRACE, основанный на отсеке малых сингулярных чисел для получения собственного продукта уровня L2 GRACE RL03 v1. В нашей стране можно было бы создать собственный центр обработки данных и использовать методику, подобную МССА.

Отметим, что реки европейской территории и Сибири различаются по амплитуде сезонных колебаний масс воды и направленности трендов общих влагозапасов. Если для европейских рек

\* [www.thegraceplotter.com](http://www.thegraceplotter.com)

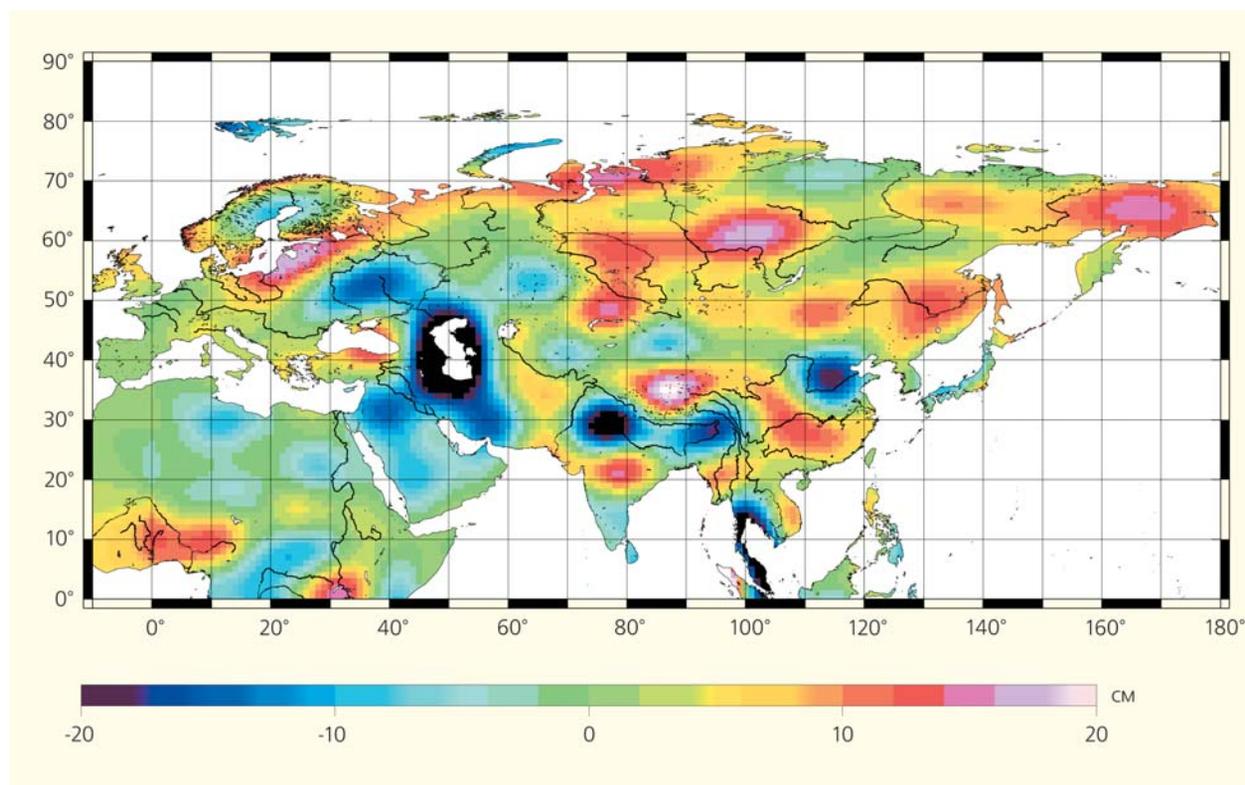


Рис.4. Карта климатологических трендов, отражающая изменения гравитационного поля над Евразией за 13 лет (2003–2015).

(рис.3, сверху) характерны убывающие тренды, то для сибирских (рис.3, в середине) они положительны. Поскольку бассейны рек Сибири велики (табл.), они определяют общие тренды массонакопления на всей территории России. Сток этих рек во многом обуславливает и климат арктического региона. Как известно, Арктика особенно сильно откликается на климатические изменения, поэтому ее изучение, в том числе на основе данных GRACE, чрезвычайно важно.

А теперь обратимся к карте климатологических трендов (рис.4), отражающей изменения гравитационного поля за 13 лет (2003–2015). В Восточной Сибири, у истоков Енисея и Лены, образовалась положительная аномалия, связанная с деградацией вечной мерзлоты и замещением почвенного льда более плотной водой. Таково предположение зарубежных ученых, исследовавших этот регион по данным GRACE [4, 8]. Увеличение суммарной массы в истоках Лены, Тунгуски и Иртыша, заметное на картах GRACE, — безусловно, результат изменений климата. Вдоль берегов Северного Ледовитого океана и на Дальнем Востоке также виден избыток масс. Чтобы понять причины этих изменений, надо провести полевые исследования в этих труднодоступных регионах России. Значительная отрицательная аномалия масс сконцентрирована в районе Каспийского моря. Вероятно, она обусловлена понижением уровня Каспия [13].

Экстремальные аномалии отмечаются и за пределами России. На карте (рис.4) хорошо заметны, например, аномалии в Гималаях, связанные с таянием ледников, и в Восточном Китае, где истощение подземных вод грозит жителям Пекина.

\* \* \*

Спутниковая миссия GRACE стала важным источником получения геофизической информации. На основе ее данных удалось проанализировать многолетние и сезонные изменения характеристик водного баланса крупнейших рек России в условиях меняющегося климата. При этом дистанционная информация хорошо согласуется с данными гидрологических моделей и натурными измерениями величины речного стока для отдельных периодов времени.

Мировое научное сообщество активно использует данные GRACE для изучения последствий глобальных климатических изменений, геофизических процессов в региональном масштабе. Таяние ледников Гренландии и Антарктиды, перераспределение масс океана [19], вносящие вклад в нестационарную (массовую) компоненту глобальных изменений уровня моря, последствия крупнейших землетрясений — все это сказывается на гравитационном поле Земли и допускает количественную оценку по данным GRACE.

Спутники GRACE, рассчитанные на пятилетний срок службы, до сих пор работают на орби-

те. Миссия продлена до 2017 г. К этому времени должна быть запущена следующая подобная — GRACE Follow-On, оснащенная лазерным дальномером и более совершенными приборами, что позволит увеличить точность измерений на два-три порядка. Ее разрабатывают Европейское (ESA), Американское (NASA) и Китайское (CNSA)

космические агентства. России, на территории которой происходит немало интереснейших природных процессов, было бы полезно принять участие в международном проекте. Коллектив авторов, имея опыт применения метода МССА для фильтрации данных GRACE, планирует продолжить исследования. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-05-753).**

## Литература

1. *Barriopedro D., Fischer E., Luterbacher J. et al.* The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe // *Science*. 2011. V.332. №6026. P.220–224. Doi:10.1126/science.1201224.
2. *Bettadpur S.* Level-2 gravity field product user handbook // 2007. [ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/grace/doc/L2-UserHandbook\\_v2.3.pdf](ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/grace/doc/L2-UserHandbook_v2.3.pdf)
3. *Case K., Kruizinga G., Wu S.C.* GRACE level 1b data product user handbook // JPL, 2004. [ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/grace/doc/Handbook\\_1B\\_v1.2.pdf](ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/grace/doc/Handbook_1B_v1.2.pdf)
4. *Frappart F., Papa F., Guntner A. et al.* Interannual variations of the terrestrial water storage in the Lower Ob'Basin from a multisatellite approach. // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2010. V.14. P.2443–2453.
5. *Guo J., Duan X., Shum C.* Non-isotropic filtering and leakage reduction for determining mass changes over land and ocean using GRACE data // *Geophys. J. Int.* 2010. V.181. P.290–302.
6. *Shang K., Guo J., Shum C. et al.* GRACE time-variable gravity field recovery using an improved energy balance approach // *Geophys. J. Int.* 2015. V.203(3). P.1773–1786. Doi:10.1093/gji/ggv392.
7. *Kusche J., Schmidt R., Petrovic S. et al.* Decorrelated GRACE time-variable gravity solutions by GFZ and their validation using a hydrological model // *J. of Geodesy.* 2009. V.83. P.903–913.
8. *Landerer F., Dickey J., Zlotnick V.* Terrestrial water budget of the Eurasian pan-Arctic from GRACE satellite measurements during 2003–2009 // *J. of Geophys. Res. (Atmospheres)*. 2010. V.115. Doi:10.1029/2010JD014584.
9. *Paulson A., Zhong S., Wahr J.* Inference of mantle viscosity from GRACE and relative sea level data // *Geophys. J. Int.* 2007. V.171. P.497–508.
10. *Reager J.T., Thomas B.F., Famiglietti J.S.* River basin flood potential inferred using GRACE gravity observations at several months lead time // *Nature Geosci.* 2014. Doi:10.1038/ngeo2203.
11. *Swenson S., Wahr J.* Post-processing removal of correlated errors in GRACE data // *Geophys. Res. Lett.* 2006. Doi:10.1029/2005GL025285.
12. *Wang Y.F., Yagola A.G., Yang C.C.* Computational methods for applied inverse problems // Beijing, 2012.
13. *Zonn I.S., Glantz M.H., Kostianoy A.G., Kosarev A.N.* The Caspian Sea Encyclopedia. Berlin; L., 2010.
14. *Айбулатов Д., Зотов Л., Фролова Н., Чалов С.* Современные возможности использования методов дистанционного зондирования для получения информации о водных объектах // *Земля из Космоса*. 2015. №S1. С.34–37.
15. *Панелеев В.Л.* Теория фигуры Земли: Курс лекций. Москва, 2000. <http://Infm1.sai.msu.ru/grav/russian/lecture/tfe/index.html>
16. *Сагитов М.У.* Лунная гравиметрия. М., 1979.
17. *Зотов Л., Фролова Н., Григорьев В., Харламов М.* Использование спутниковой системы измерения поля гравитации Земли (GRACE) для оценки водного баланса крупных речных бассейнов // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2015. №4. С.27–33.
18. *Зотов Л., Фролова Н., Телегина А.* Гравитационные изменения в бассейнах крупных рек России // *Альманах современной метеорологии*. 2015. Т.3. С.142–158.
19. *Зотов Л.В., Власова В.М.* Вариации придонного давления по данным GRACE // *Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования (КИМР-2016): Сборник трудов конференции*. Севастополь, 2016.
20. *Зотов Л.В.* Теория фильтрации и обработка временных рядов: Курс лекций. Москва, 2010.

# Инфекционность амилоидов

А.А.Дергалёв

**К**онформационные болезни человека — это нейродегенеративные патологии, связанные с изменением конформации некоторых белков, ее превращением из мономерной растворимой в полимерную фибриллярную. На протяжении многих лет такие заболевания было принято условно делить на два класса: прионные и амилоидные. Однако в последнее время появилось множество свидетельств того, что граница между ними несколько иллюзорна, а прионная концепция применима к большинству патологических амилоидов нервной системы человека. Изучая наследуемые амилоиды в дрожжах *Saccharomyces cerevisiae*, мы можем найти ответ на вопрос, существует ли принципиальная разница в строении инфекционных и неинфекционных амилоидных полимеров.

Начиная разговор о прионах и амилоидах, следует внести ясность в терминологию. Согласно современному традициям употребления этого термина, прионы — это самовоспроизводящиеся белковые изоформы, обладающие свойством инфекционности, т.е. способностью передаваться от клетки к клетке. На самом деле под это определение попадают белковые изоформы разной природы, однако объединяет их одно: все они проявляются как некие черты фенотипа (иногда губительные для клеток, иногда, наоборот, полезные), которые способны распространяться между клет-



**Александр Андреевич Дергалёв**, аспирант и научный сотрудник Института биохимии имени А.Н.Баха в составе Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН. Область научных интересов — молекулярная генетика, амилоидные и полиглутаминовые белки, клеточная биология. Участник конкурса «Био/мол/текст» 2015 г.\*

**Ключевые слова:** прион, амилоид, [PSI].  
**Key words:** prion, amyloid, [PSI].

ками без участия наследственной информации, закодированной с помощью ДНК/РНК.

Амилоиды\*\* — это белковые агрегаты с особым способом укладки молекул, при котором отдельные, амилоидогенные, участки образуют фибриллярные полимеры с кросс-β-структурой, т.е. состоящие из β-слоев, направленных перпендикулярно оси фибриллы (рис.1) [1]. Отличить амилоидные полимеры от других форм белковой агрегации (например, аморфных агрегатов, образующихся при тепловом шоке) можно по нескольким признакам, помимо уже упомянутой структуры:

- амилоиды обладают повышенной прочностью и не растворяются в сильных ионных детергентах (таких, как додецилсульфат натрия) при комнатной температуре;

- амилоидные полимеры катализируют присоединение к себе свободных молекул того же белка и их глубокую структурную перестройку;

\* Со статьей «Прионные и неприонные амилоиды: определяет ли конформация разницу в инфекционности?», участвовавшей в научно-популярном конкурсе «Био/мол/текст»-2015 в номинации «Своя работа», можно ознакомиться на сайте «Биомолекула» (<http://biomolecula.ru/content/1825>), посвященном молекулярным основам современной биологии и практическим применениям научных достижений в медицине и биотехнологии. По договоренности с организаторами конкурса мы публикуем переработанный вариант этой статьи. — *Примеч. ред.*

\*\* Подробнее см.: Кушищев В.В. Прионы и амилоиды: ключевые свойства и роль в природе // Природа. 2014. №3. С.37–43.

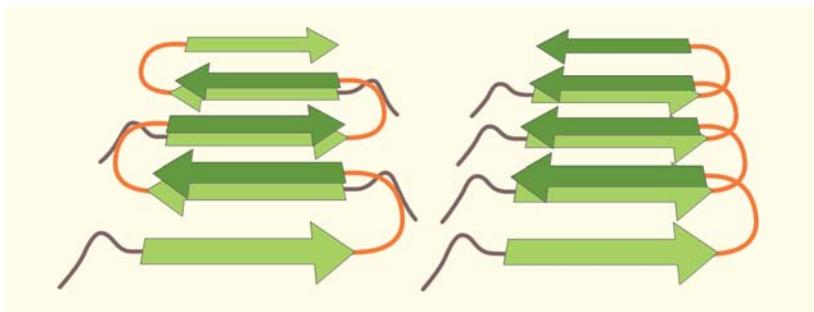
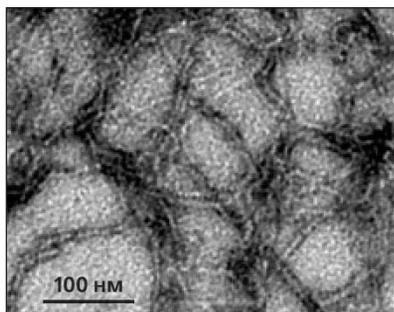


Рис.1. Фибриллы Аβ-амилоида под электронным микроскопом (слева) и схематическое изображение параллельной и антипараллельной кросс-β-структуры амилоидной фибриллы [1].

— амилоиды связываются со специфическим набором красителей, в частности с тιοфлавином и конго красным (последний традиционно используют гистологи для обнаружения амилоидных отложений в тканях больного) (рис.2);

— в отличие от образования актиновых филаментов и микротрубочек, полимеризация белка в амилоидную фибриллу происходит без участия молекул АТФ и ГТФ, поэтому такие фибриллы могут собираться (но не разбираться!) самопроизвольно, причем как в клетке, так и *in vitro*.

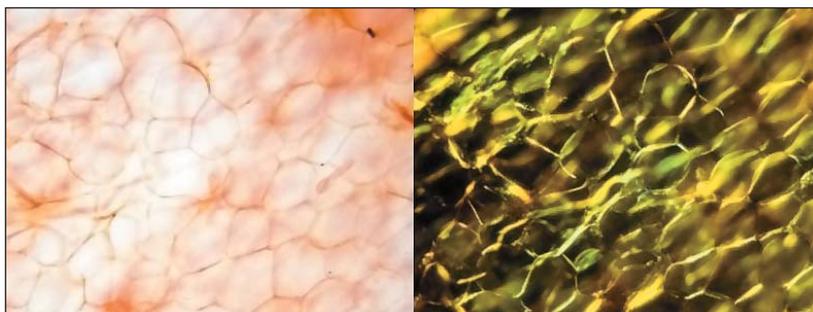


Рис.2. Амилоидные отложения по периферии клеток жировой ткани, наблюдаемые с помощью светового (слева) микроскопа и поляризационного при окрашивании красителем конго красным. Размер одной клетки — около 100 мкм.

<http://pharmaceuticalintelligence.com>

Способность тех или иных участков белка укладываться в амилоид зависит от их аминокислотного состава. Известны случаи, когда мутации в амилоидном домене белка существенно уменьшают его склонность переходить в фибриллярную форму [2].

Большинство известных на данный момент прионов имеют амилоидную природу: амилоидные фибриллы — тот самый инфекционный агент, который переносится от клетки к клетке и определяет их прионный фенотип. Однако известны и другие механизмы самокопирования белковых состояний, с амилоидностью никак не связанные. Например, дрожжевой прион β связан с активацией протеиназы Prb1. Она синтезируется неактивной благодаря блокирующему N-концевому пептиду. Без него, став активной, молекула Prb1 может активировать другие молекулы протеиназы, отщепляя у них этот пептид. Популяция молекул Prb1 может долго оставаться неактивной, но ее «инфицирование» лишь одной молекулой протеиназы без блокирующего пептида запускает цепную реакцию, активируя все молекулы этого белка.

Известные прионные заболевания, болезни Крейтцфельдта—Якоба, куру, коровье бешенство и некоторые другие, вызваны одним и тем же инфекционным агентом — амилоидными полимерами белка PrP. Этот мембранный белок есть у всех

млекопитающих, а также у птиц и у рыб, и в норме он выполняет в клетках не до конца изученные функции (которые иногда не очень грамотно приписывают прионной форме белка, в то время как выполняет их как раз таки неприонная форма). PrP при патологии сворачивается в амилоидную форму, которая вызывает гибель нейронов и может заражать другие клетки (а иногда и другие организмы). Интересно, что PrP способен укладываться в амилоид несколькими способами, образуя фибриллы с различными конформациями, а те, в свою очередь, ложатся в основу разных прионных штаммов, по-разному взаимодействуя с клеточным окружением амилоида. В конечном счете разница между конформациями амилоидов приводит к некоторым различиям в течении вызываемых ими прионных заболеваний.

### Амилоиды нейродегенеративных заболеваний

Помимо болезней, традиционно рассматриваемых как прионные, в число конформационных заболеваний человека входит также множество других патологий нервной системы, развивающихся, как правило, с возрастом, — болезни Паркинсона, Альцгеймера, Хантингтона и др. Их раз-

витие также подразумевает агрегацию собственных белков клетки (Аβ-пептидов, α-синуклеина, хантинтина и др.) в амилоидные фибриллы, которые, в свою очередь, собираются в губительные для клеток вне- и внутриклеточные амилоидные агрегаты. Известно даже, что промежуточная (на пути превращения из растворимого мономера в фибриллу) форма укладки Аβ-пептида, уже содержащая в своей структуре β-тяжи, тоже обладает токсическим действием на клетки [3].

Подобные болезни раньше не рассматривались с точки зрения прионной концепции: считалось, что такие амилоиды образуются в каждой нервной клетке автономно и не могут передаваться горизонтально, т.е. не обладают свойством инфекционности. Однако в последнее время накапливается множество свидетельств типично прионного характера распространения амилоидов внутри нервной ткани больных, а также перекрестного «затравления» полимеризации разных амилоидных белков человека — процесса, когда полимеры одного амилоидного белка, взаимодействуя с растворимой формой другого, запускают его агрегацию в фибриллы. Так, например, амилоидные агрегаты из Аβ-пептида могут «затравлять» полимеризацию тау-белка в нейрофибрилярные пучки [4]. Подобные наблюдения заставляют ученых взглянуть на болезни, всегда считавшиеся прионными, иначе. И сейчас в научной печати появляется все больше работ, в которых обсуждаются прионные (или прионоподобные) свойства амилоидов, вызывающих возрастные нейродегенеративные патологии.

Сейчас соотношение понятий «амилоид» и «прион» меняется (рис.3). И хотя этот процесс иногда происходит больше в терминологической, нежели в экспериментальной, плоскости, особую важность приобретает вопрос: существуют ли какие-то принципиальные различия в молекулярной архитектуре фибрилл инфекционных и неинфекционных амилоидов? Существуют ли конформации, более других подходящие для

горизонтального или вертикального распространения от клетки к клетке, и, наоборот, конформации, которые не в состоянии никого «заразить»? Как разные конформации амилоидов отличаются по восприимчивости к лекарствам? (Да, у некоторых прионных амилоидов, как и у бактерий, обнаружена способность развивать устойчивость к используемым против них лекарствам. Меняя свои свойства, эти амилоиды делают неэффективным лечение заболевания с помощью уже существующих средств и заставляют ученых изобретать новые — такая гонка вооружений в чем-то роднит прионы с другими видами патогенов.) В качестве модельного объекта для поиска ответов на эти вопросы хорошо подходят амилоиды дрожжей.

### Прионы и амилоиды дрожжей

Пекарские дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* уже долгое время служат полезным инструментом не только в пищевой промышленности, но и в руках ученых — биохимиков, молекулярных биологов, генетиков. Высокая степень изученности дрожжей (их генов, белков, физиологических процессов), большая скорость роста, удобство культивирования — все это делает их удобным объектом для моделирования и изучения разнообразных явлений, от эндоцитоза до возникновения многоклеточности. Дрожжи — весьма популярный модельный объект и среди ученых, занимающихся конформационными болезнями [5]. Используя дрожжи, мы можем намного быстрее и проще исследовать молекулярные механизмы нейродегенерации — общие (или по крайней мере схожие) у дрожжей и человека.

Особое обстоятельство, расширяющее наши возможности в изучении амилоидов у дрожжей, — это наличие у них собственных прионов, большинство из которых имеет амилоидную природу. Таким образом, мы можем исследовать не только человеческие амилоиды и прионы, привнесенные в дрожжевую клетку (что, при всей несомненной пользе, все же немного искусственно), но и дрожжевые прионы в их естественной среде обитания. На данный момент известно больше десятка принципиально разных (вовлекающих различные белки) дрожжевых прионов, а некоторые из них к тому же имеют разные штаммовые варианты, т.е. амилоидные конформации одного и того же белка, по-разному себя проявляющие [6].

Важное отличие прионов дрожжей от прионов млекопи-



Рис.3. Изменение соотношения понятий «амилоид» и «прион». В последние годы все большее число амилоидов обретает прионоподобный статус.

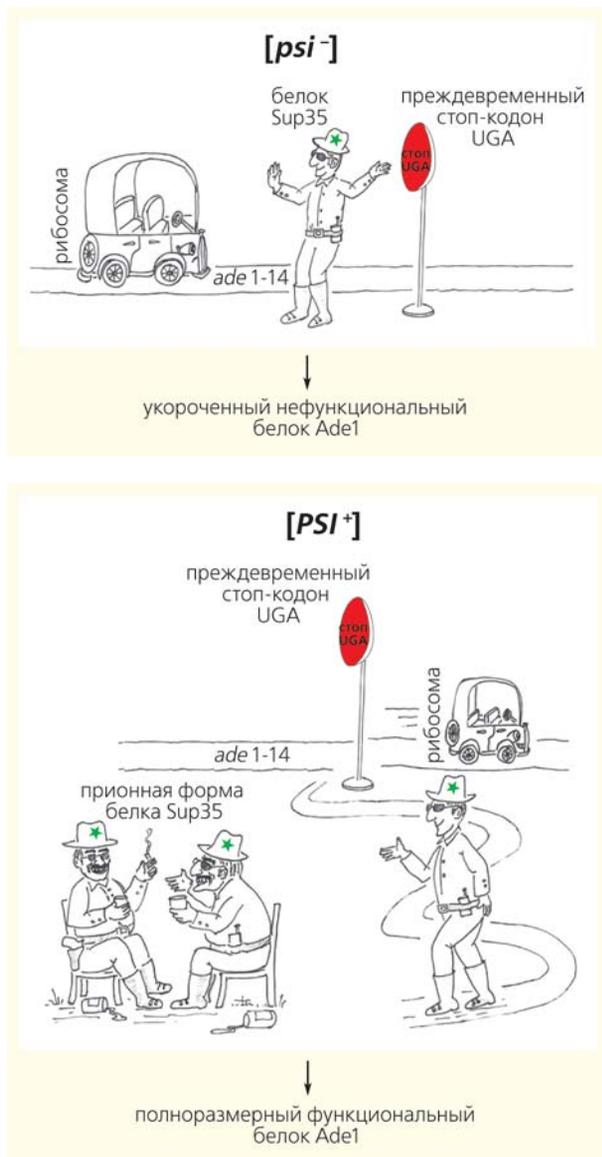


Рис.4. Механизм работы приона  $[PSI^+]$  как полезного для дрожжей признака [6]. Белок Sup35 в норме прерывает трансляцию, останавливая рибосому на стоп-кодонах (вверху). Коррупцированный полицейский, символизирующий прионную форму белка Sup35, перестает выполнять свою работу, позволяя машине-рибосоме проехать на запрещающий знак, преждевременный стоп-кодон, и синтезировать полноразмерный продукт гена Ade1 — фермент пути синтеза аденина. Благодаря этому клетка восстанавливает способность синтезировать аденин, потерянную в результате мутации.

тающих — куда более дружелюбное отношение к организму-хозяину. Если полимеризация белка PrP у млекопитающих приводит к развитию болезни и неотвратимой, пусть и не очень скорой, гибели носителя, то значительная часть дрожжевых прионов не особенно вредит клеткам (разве что несколько замедляет их рост), а в некоторых ситуациях даже выполняет в них жизненно важ-

ные функции. Другое отличие в том, что у прионов млекопитающих инфекционность заключается в «перепрыгивании» от клетки к клетке (горизонтальном распространении), тогда как дрожжевые прионы передаются вертикально — наследуются дочерними клетками при делении, переносясь в них с цитоплазмой. Стабильно передаваясь в линии дрожжевых клеток (как лабораторных, так и — в некоторых случаях — диких) и влияя на их фенотип, дрожжевые прионы представляют собой новую, белковую, форму гена — отступление от одного из правил центральной догмы молекулярной биологии (или дополнение к ней, кому как нравится). Если сравнивать дрожжевой прион с геном, то штаммовые варианты приона подобны аллелям этого гена. Только разница между такими «аллелями» не в последовательности мономеров носителя (в данном случае — белка), а в его пространственной укладке.

Все это позволяет изучать генетические свойства амилоидных полимеров в дрожжах — как они передаются и как их пространственная структура выполняет миссию носителя информации, сообщая новые черты клеточному фенотипу. В свое время ответы на подобные вопросы стали одними из самых фундаментальных открытий в исследованиях «классического» гена. Многие вопросы генетики дрожжевых прионов уже довольно хорошо изучены, но не исключено, что важные открытия еще впереди.

Лаборатория молекулярной генетики Института биохимии им.А.Н.Баха, в которой я работаю, издавна изучала процесс терминации трансляции у дрожжей, а в 1990-х годах, после открытия дрожжевых прионов, занялась и ими. Излюбленный объект лаборатории — прион  $[PSI^+]$ , наследуемый признак, в основе которого лежит амилоидная форма белка Sup35 (дрожжевого фактора терминации трансляции). Дрожжи, несущие в себе прион  $[PSI^+]$ , не особенно от него страдают, зато могут помочь нам в изучении тех прионных болезней, от которых страдаем мы. В клетках с генами, «поломанными» некоторыми типами мутаций,  $[PSI^+]$  помогает восстанавливать их работу (рис.4), в определенных условиях даже превращаясь в жизненно необходимый для дрожжей признак [6].

$[PSI^+]$  — один из наиболее изученных прионов, для него описано много штаммовых вариантов. Их принято условно делить на «сильные», хорошо связывающие мономерную форму Sup35 в амилоид, и «слабые», полимеризующие Sup35 менее эффективно, оставляя в клетке больше растворимой формы этого белка. Известно, что эффективность полимеризации Sup35 зависит от того, насколько хорошо идет фрагментация его фибрилл. Изучая амилоидные фибриллы, полученные из белка Sup35 *in vitro*, ученые обнаружили, что так называемое амилоидное ядро фибриллы — плотно уложенная, богатая  $\beta$ -слоями центральная ее

часть — у «сильных» вариантов имеет меньший размер, чем у «слабых». В результате фибриллы, соответствующие «сильной» конформации, оказываются более ломкими и лучше фрагментируются, образуя большее количество свободных концов для полимеризации и тем самым повышая ее скорость.

Помимо приона  $[PSI^+]$ , белок Sup35 может образовывать также и ненаследуемый амилоид, который впервые описали 10 лет назад в нашей лаборатории [7]. Мы знаем, что этот амилоид массово образуется в клетках при сверхпродукции белка Sup35 и что он не может стабильно поддерживаться в клеточной линии, однако не представляем, в чем заключается его отличие от прионных амилоидов из того же самого белка. Почему одни амилоиды хорошо наследуются, а другие — нет, возникая в каждой дрожжевой клетке автономно? Многие данные наводили на мысль, что ненаследуемый амилоид должен иметь какую-то особую конформацию и, по всей видимости, особенно большой размер амилоидного ядра, что делает этот амилоид еще более слабым полимеризатором растворимого Sup35, чем самый «слабый» штамм приона  $[PSI^+]$ .

### Ненаследуемый амилоид Sup35

Амилоидное ядро устойчиво к действию протеаз, а потому мы можем определить его размер, расщепив протеиназой К все боковые, более «мягкие» части амилоидной фибриллы (рис.5).

Некоторая проблема состояла в том, что амилоиды, выделяемые из дрожжей, прежде не получалось в достаточной мере очистить для такого анализа. Поэтому их приходилось «размножить», используя в качестве затравки для полимеризации *in vitro* высокоочищенного рекомбинантного Sup35, экспрессированного в *Escherichia coli*. Нам удалось усовершенствовать методику выделения амилоидных фибрилл из дрожжевых клеток, что сделало возможным непосредственный анализ их ядер, устойчивых к протеазам. Сравнив размер амилоидных ядер в препаратах с ненаследуемым амилоидом, а также с разными штаммовыми вариантами приона, мы вынуждены были отбросить первоначальную гипотезу (рис.6).

Общая закономерность, касающаяся различий «сильного» и «слабого» вариантов приона, в эксперименте подтвердилась: амилоидное ядро «сильного» варианта меньше. Что же касается ненаследуемого амилоида, то его препарат содержал широкий спектр фрагментов Sup35, устойчивых к протеазам, размером от 3 до 8 кДа — от очень маленьких до весьма больших (но все равно не таких больших, как ожидалось). Все они имели одинаковое начало — N-конец белка Sup35. Таким образом, содержимое этого препарата соответствовало своеобразному «облаку»

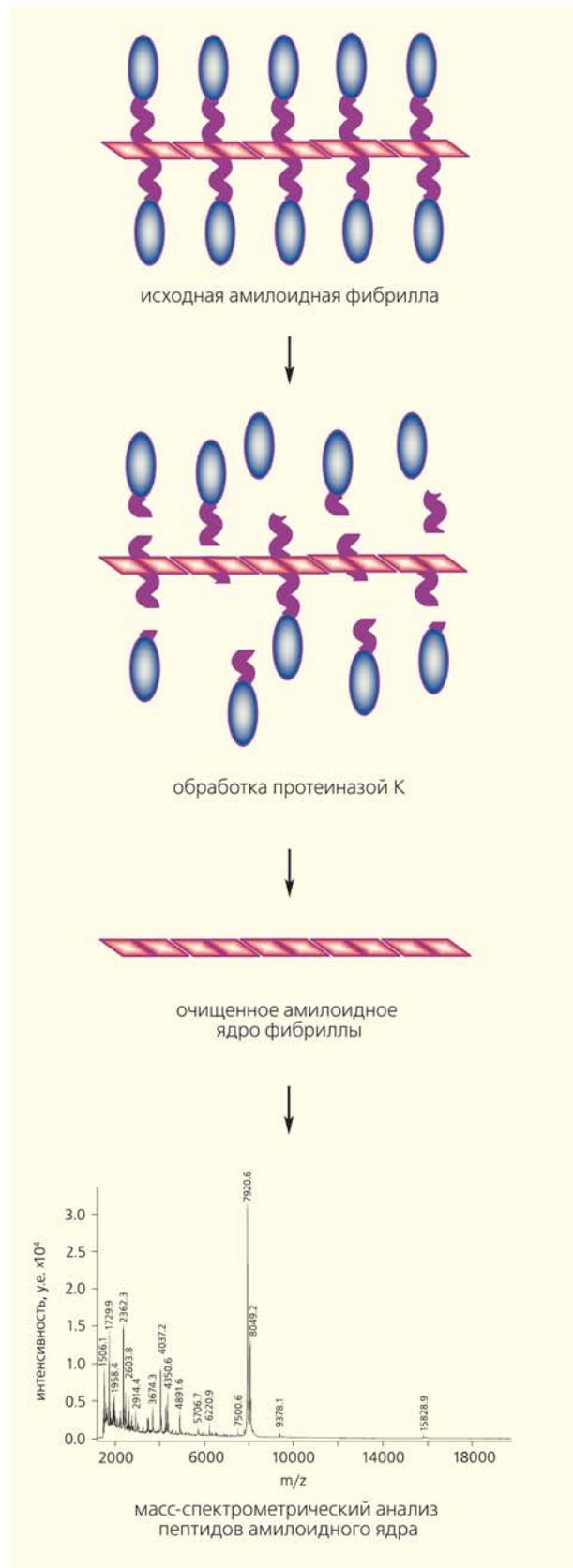


Рис.5. Схема эксперимента по определению размера амилоидного ядра фибриллы.

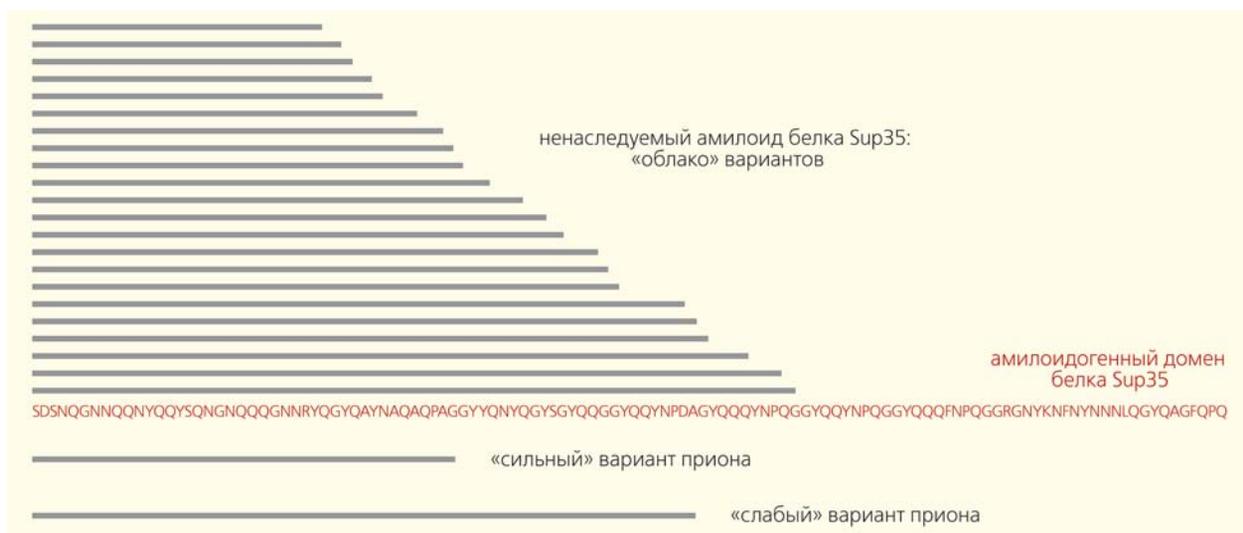


Рис.6. Сравнение размеров амилоидного ядра ненаследуемого амилоида белка Sup35 и вариантов приона [*PSI<sup>+</sup>*]. Линии над последовательностью амилоидогенного домена Sup35 и под ней обозначают размеры участков белка, уложенных в амилоидное ядро.

вариантов — смеси самых разных амилоидных конформаций, фибрилл с различной степенью ломкости, похожих на фибриллы «сильного» и «слабого» приона, а также промежуточных прионных вариантов.

Этот результат сам по себе не позволяет понять, существует ли это «облако» вариантов во всех клетках, из которых был выделен препарат амилоида, или же каждая клетка несет в себе какую-то одну, собственную индивидуальную уклад-

ку, а гетерогенная популяция клеток в сумме дает совокупность укладок.

Последнюю возможность мы отвергли с помощью ряда генетических тестов, которые продемонстрировали лабильность (способность подстраиваться под изменчивые условия окружающей среды) ненаследуемого амилоида в индивидуальных клетках. В частности, мы выращивали дрожжи в условиях дефицита аденина в среде, что подталкивало их уменьшать клеточное количест-

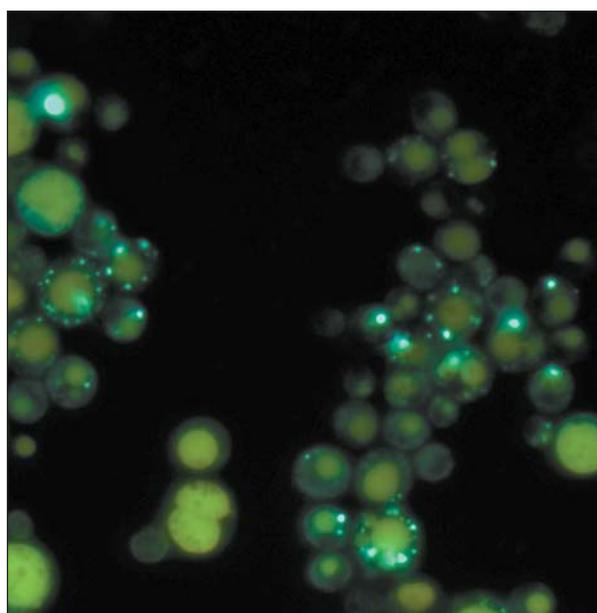
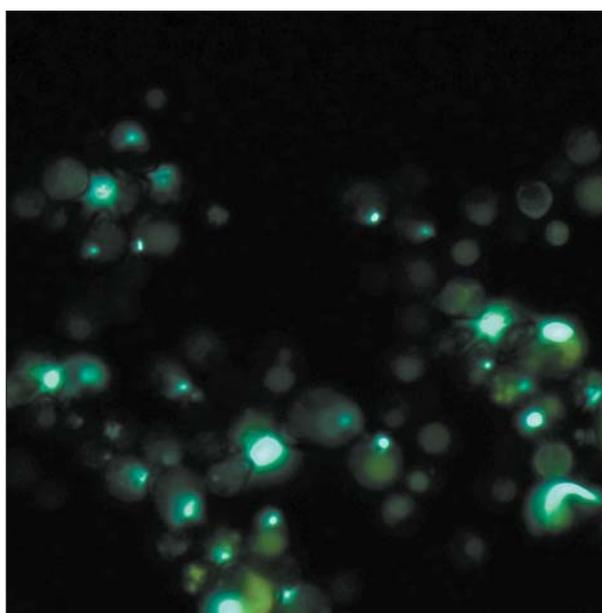


Рис.7. Форма макроскопической агрегации амилоида позволяет отслеживать изменение его свойств под влиянием окружающей среды. В дрожжах, выращенных в среде с нормальным (слева) и минимальным количеством аденина, формы агрегации заметно различаются. Циановым цветом показаны амилоидные агрегаты из белка Sup35-GFP, желто-зеленым — автофлуоресценция клеток.

во мономерной формы Sup35 (связь полимеризации Sup35 с метаболизмом аденина у дрожжей см. на рис.4). Большинство клеток смогли переключиться в состояние, когда Sup35 полимеризуется в амилоид более эффективно. Это можно увидеть, например, по способу сборки фибрилл в макроскопические агрегаты: в нормальных условиях клетки несут в себе один амилоидный «комочек» или «тяж», тогда как при дефиците аденина большинство клеток содержат множество центров агрегации фибрилл (рис.7). В клетках с многочисленными мелкими агрегатами преобладают более ломкие конформации фибрилл, эффективно полимеризующие белок, а в клетках с единичными, более крупными агрегатами — более прочные и инертные фибриллы. Количественное соотношение разных конформаций в «облаке» сместилось в сторону тех из них, которые соответствуют «сильным» вариантам приона. Сама возможность такого смещения в значительной части клеток свидетельствует о присутствии в каждой из них полноценного «облака» конформаций, внутри которого возможна селекция. Кстати, это смещение оказалось еще и обратимым: добавив в среду нормальное количество аденина, селекцию амилоидных конформаций можно повернуть в противоположную сторону.

Таким образом, мы выяснили, что изучаемое нами вещество очень гетерогенно по конформа-

циям составляющих его фибрилл и может изменять свои свойства в зависимости от условий. Помимо картирования амилоидного ядра с помощью протеиназы, безусловно, существуют и другие способы изучать укладку белка в амилоид, однако есть основания полагать, что с ненаследуемым амилоидом они также не покажут четкого отличия от прионов. Если причина неинфекционности нашего амилоида заключается не в однородно большом амилоидном ядре, как мы предполагали, то, возможно, конформация амилоида и вовсе не играет в этом вопросе решающей роли. Основной вклад в неинфекционность амилоида может вносить какой-то иной фактор, и кто знает, не воспользуемся ли мы им в будущем для борьбы с прионными болезнями, делая их менее заразными? Если похожее «облако» вариантов обнаружится и у человеческих амилоидов, не сможем ли мы действовать на него таким образом, чтобы свести на нет то вредоносное влияние, которое амилоидные агрегаты оказывают на клетки мозга? Сможем ли мы найти такие лекарства, которые блокировали бы полимеризацию всех штаммовых вариантов в «облаке», не позволяя отдельным из них проявить резистентность и резко снизить эффективность всего лечения? Открытие, сделанное на одноклеточных и совсем не страдающих от нейродегенерации организмах, может положить начало большим свершениям. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-04-00073), а также Программы по молекулярной и клеточной биологии Российской академии наук.**

## Литература

1. Tycko R., Wickner R.B. Molecular structures of amyloid and prion fibrils: consensus versus controversy // *Acc. Chem. Res.* 2013. V.46. P.1487–1496. Doi:10.1021/ar300282r.
2. Asante E.A., Smidak M., Grimsbaw A. et al. A naturally occurring variant of the human prion protein completely prevents prion disease // *Nature*. 2015. V.522. P.478–481. Doi:10.1038/nature14510.
3. Chimon S., Shaibat M.A., Jones C.R., Calero D.C., Aizezi B., Isbii Y. Evidence of fibril-like  $\beta$ -sheet structures in a neurotoxic amyloid intermediate of Alzheimer's  $\beta$ -amyloid // *Nat. Struct. Mol. Biol.* 2007. V.14. P.1157–1164. Doi:10.1038/nsmb1345.
4. Goedert M. NEURODEGENERATION. Alzheimer's and Parkinson's diseases: The prion concept in relation to assembled A $\beta$ , tau, and  $\alpha$ -synuclein // *Science*. 2015. V.349. P.1255555. Doi:10.1126/science.1255555.
5. Khurana V., Lindquist S. Modelling neurodegeneration in *Saccharomyces cerevisiae*: why cook with baker's yeast? // *Nat. Rev. Neurosci.* 2010. V.11. P.436–449. Doi:10.1038/nrn2809.
6. Liebman S.W., Chernoff Y.O. Prions in yeast // *Genetics*. 2012. V.191. P.1041–1072. Doi:10.1534/genetics.111.137760.
7. Salnikova A.B., Kryndushkin D.S., Smirnov V.N., Kushnirrov V.V., Ter-Avanesyan M.D. Nonsense suppression in yeast cells overproducing Sup35 (eRF3) is caused by its non-heritable amyloids // *J. Biol. Chem.* 2005. V.280. P.8808–8812. Doi:10.1074/jbc.M410150200.

# ***Видимо-невидимое разнообразие дождевых червей Сибири***

Д.И.Берман, С.В.Шеховцов, С.Е.Пельтек

*Весьма сомнительно, чтобы нашлись еще  
другие животные, которые в истории  
земной коры заняли бы столь видное место.*

**Ч. Дарвин**





Плато над косой Атарган.  
Побережье Охотского моря.  
Здесь и далее  
фото Д.И. Бермана



**Даниил Иосифович Берман**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией биоценологии Института биологических проблем Севера ДВО РАН (Магадан). Специалист в области экологии северных организмов и палеоэкологии плейстоцена.



**Сергей Викторович Шеховцов**, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярных биотехнологий Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск). Занимается изучением филогении и филогеографии животных.



**Сергей Евгеньевич Пельтек**, кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе и заведующий отделом молекулярных биотехнологий того же института. Область научных интересов — геномика.

**Ключевые слова:** дождевые черви, Lumbricidae, ДНК-штрихкодирование, *cox1*, цитохромоксидаза 1.

**Key words:** earthworms, Lumbricidae, DNA barcoding, *cox1*, cytochromeoxidase 1.

Дождевые черви, в отличие от многих других длинных и почти круглых животных, вызывают скорее симпатию, нежели прочие эмоции. С легкой руки Дарвина широко известна выдающаяся роль в повышении плодородия почв дождевых червей, «самоотверженно» пропускающих через свое тело раз за разом чуть ли не весь поверхностный слой почвы парков и газонов в течение всего лишь нескольких лет. Ныне никого не удивит рекламой «вермикультур» с предложениями купить дождевых червей для плодовых садов, грядок, компостных ям, для цветочных горшков в дом и т.д. Однако мало кто знает, что степень изученности этих замечательных животных несопоставимо ничтожна по сравнению с их ролью и в природе, и в лаборатории — как модельного объекта для разнообразных исследований. К примеру, на всей не затронутой хозяйственной деятельностью равнинной Сибири, как считается, обитает

© Берман Д.И., Шеховцов С.В., Пельтек С.Е., 2016

всего несколько видов дождевых червей. Они выживают зимой при лютых морозах в самой верхушке почвы, порой не прикрытой снегом. Завезенные сюда даже самые «лучшие» (из питомников) дождевые черви вымерзнут, не сохранив потомства. А местные — капризны в другом отношении: не желают жить на окультуренных землях, казалось бы, в намного лучших условиях.

Действительно ли, что на этой громадной территории — от Урала до Чукотки — разнообразие наших червей так мало?

### Одно лицо на всех

Для непосвященных почти все дождевые черви на одно лицо — их внешний вид разнообразием не отличается. Одни живут в почве под подстилкой и в ней, другие — чуть глубже, третьи — более чем в двухметровых норах, которые сами же устраивают. И жители верхних горизонтов почвы, и норники кормятся в подстилке полуразложившейся или даже нетронутой органикой. Обитатели гумусовых горизонтов заглатывают саму почву, извлекая из нее что могут и насыщая ее микроорганизмами. Впрочем, не будем повторять дарвиновскую схему, старательно и успешно разрабатываемую многими поколениями биологов разных профилей. Заметим лишь, что пищевая специализация не отражается на морфологии яркими чертами, как не сказывается на ней и способ передвижения в плотном субстрате; впрочем, живущие в глубоких норах всегда крупнее обитателей поверхности.



Дождевые черви: крупный черный — *Drawida ghilarovi* и полосатый — *Eisenia fetida*. Хотя *D. ghilarovi* занесен в Красные книги Приморья и Хабаровского края, ему ничто не угрожает — местами на травяных болотах в долине Амура его численность далеко превосходит десятки особей на квадратный метр.

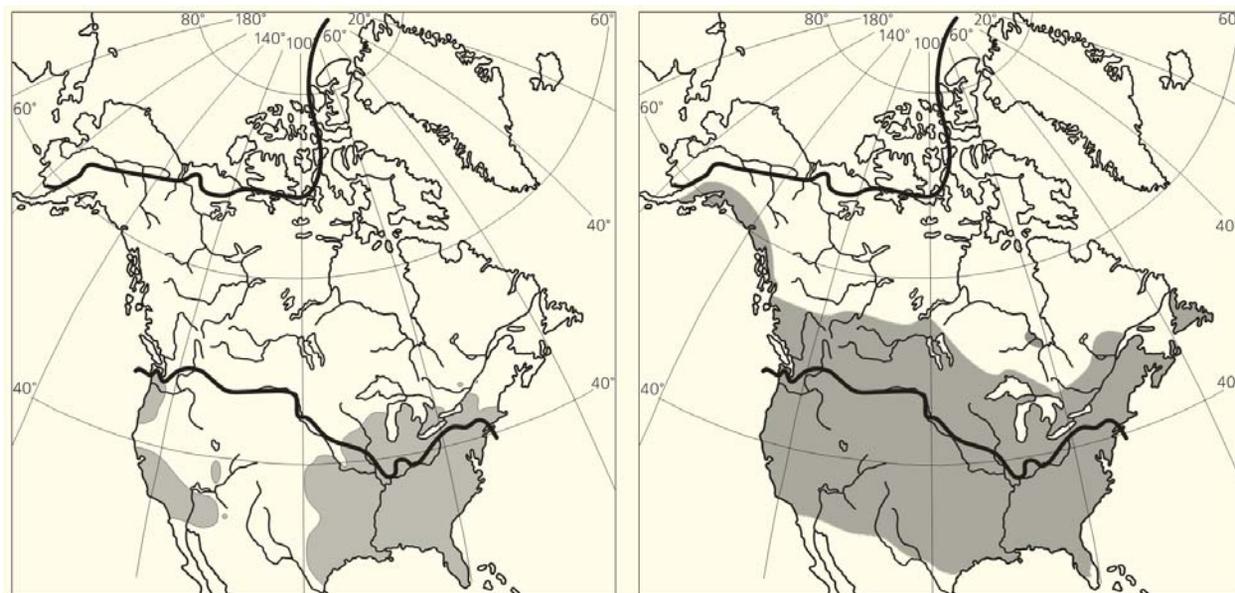
И в верхних, и в нижних горизонтах движение возможно лишь путем раздвигания телом менее или более плотной почвы. Никаких специальных органов для этого у дождевых червей, как и у всех олигохет, нет. У ближайших родственников (прародителей) — многощетинковых червей (*Polychaeta*) — развиты примитивные конечности. Это так называемые параподии — парные выросты туловищных сегментов, располагающиеся по бокам тела метамерно, на каждом сегменте. У дождевых червей в процессе эволюции они утрачены.

Передвижению в толще земли помогают щетинки, расположенные по бокам сегментов. Они столь малы, что невооруженным глазом не разглядеть, однако благодаря им гладкий влажный червь, взятый в руки, ощущается неожиданно шершавым. Щетинки — консервативный, а потому важный для систематики признак, их расположение на сегменте имеет диагностическое значение. Разнообразие окраски также невелико: пигментация дождевых червей обычно варьирует от ее отсутствия до темно-бурого цвета. Существует мнение, что червь приобретает ее в результате поглощения растительных пигментов из опада. Общий тип среды обитания и одинаковый способ передвижения задали единый, достаточно простой план внешнего строения дождевых червей.

В целом же внешними диагностическими признаками для разделения дождевых червей на виды служат положение (на каком сегменте) пояска (на котором формируется яйцевой кокон) и половых отверстий, форма головной лопасти, расположение («сближенность») щетинок, иногда размер и окраска тела. Зачастую эти признаки имеют значительную внутривидовую изменчивость, что, конечно, затрудняет определение, поэтому используются также внутренние анатомические отличия.

### Видовое однообразие

Общее число таксонов дождевых червей, выявляемых по приведенным критериям, невелико. Мировая фауна содержит примерно 3.7 тыс. видов [1], тогда как на территории России известно всего около 50 [2]. Очевидно, что по сравнению с большинством других групп беспозвоночных видовое разнообразие дождевых червей «несправедливо» мало, учитывая приходящуюся на них биомассу в сообществах почвенных животных. Подавляющая их часть — эндемики-горцы (кавказские, уральские, алтайские) или обитатели



Распространение аборигенных (слева) и «экзотических» для Северной Америки (завезенных) дождевых червей ([3] с изменениями). Жирные линии — южная и северная границы ледника во время последнего ледникового максимума.

регионов с особой палеогеографией (например, Приморья). Есть среди них гиганты (свыше метра в длину), правда, не в России. Есть неотразимые по окраске: черные с зеленым или синим перламутровым отливом, встречающиеся только в предгорьях и долинах Сихотэ-Алиня и на Амуре черви *Drawida ghilarovi*, которые относятся к широко распространенному тропическому семейству Moniligastridae. Но и гиганты, и «красавцы» — безусловное исключение среди похожих друг на друга (для неспециалиста) даже эндемичных видов.

Однообразие внешности дождевых червей сказалось на отсутствии русских названий для подавляющей части видов; бытуют лишь жаргонные обозначения у рыбаков (например, «морячки» — для *Eisenia fetida*) и огородников.

На всей же равнинной части России, от западной границы до Дальнего Востока, широко распространены лишь около полутора десятков видов. Большинство из них — космополиты, легко и широко расселяющиеся, в том числе и при непреднамеренном участии человека: начиная с колонизации территории Сибири казаками и крестьянами-переселенцами и по сию пору дождевые черви перевозятся с различными грузами. Хороший пример тому — шесть завезенных видов на окультуренных землях вблизи Магадана. Они живут здесь на удалении более 1000 км от своих ареалов, отгороженные непригодными для обитания большинства дождевых червей листовыми редколесьями. Это *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena octaedra*, *Dendrodrilus rubidus*, *Eisenia nordenskioldi pallida*, *Eisenia fetida*, *Allolobophora parva*. Но от побережья вглубь континента они не проникают; точнее сказать — может быть, их и за-

возят в поселки с овощами время от времени, но они не удерживаются. Так же ведут себя некоторые виды слизней — потребителей всякой зелени, их находят в свежих партиях овощей, но не на огородах.

Другая часть видов червей равнинных территорий Сибири, напротив, «оседлая», причем нередко в такой мере, что полоска непригодной для них почвы становится непреодолимым препятствием; нужны столетия, чтобы сменилась топография ландшафта, появились коридоры для дальнейшего расселения. В географическом масштабе следствие такой «разборчивости» иллюстрирует распространение дождевых червей в Северной Америке, где его связывают с висконсинским оледенением, закончившимся более 10 тыс. лет назад. Будучи истреблены Канадским ледниковым щитом, имевшим мощность до трех километров и занимавшим почти всю Канаду и частично США, черви не вернулись на некогда занимаемые территории. Северная граница их распространения проходит до сих пор в среднем по южной границе ледникового щита [3]. Эта устоявшаяся точка зрения между тем нуждается в доказательстве, поскольку причина может заключаться не только в палеогеографической истории и «домоседстве», но и в современных значениях зимних температур, которые ограничивают распространение червей на север.

Территориальный консерватизм и отсутствие «перемешивания» генофонда подразумевает слабый обмен генами между популяциями, слагающими вид, что ведет в конце концов к накоплению достаточных различий, предотвращающих скрещивание или делающих потомство нежизнеспособным.

собным, т.е. к дивергенции. Иными словами, применительно к дождевым червям (не космополитам!) географический барьер как необходимое условие одного из способов разделения популяций и последующего видообразования может вырождаться во внешне незаметное и трудно выявляемое препятствие.

Естественно ожидать, что в пределах одного вида, выделенного по морфологическим критериям и имеющего значительный ареал, генетические различия могут (или даже — должны) быть высоки.

### ДНК-штрихкодирование

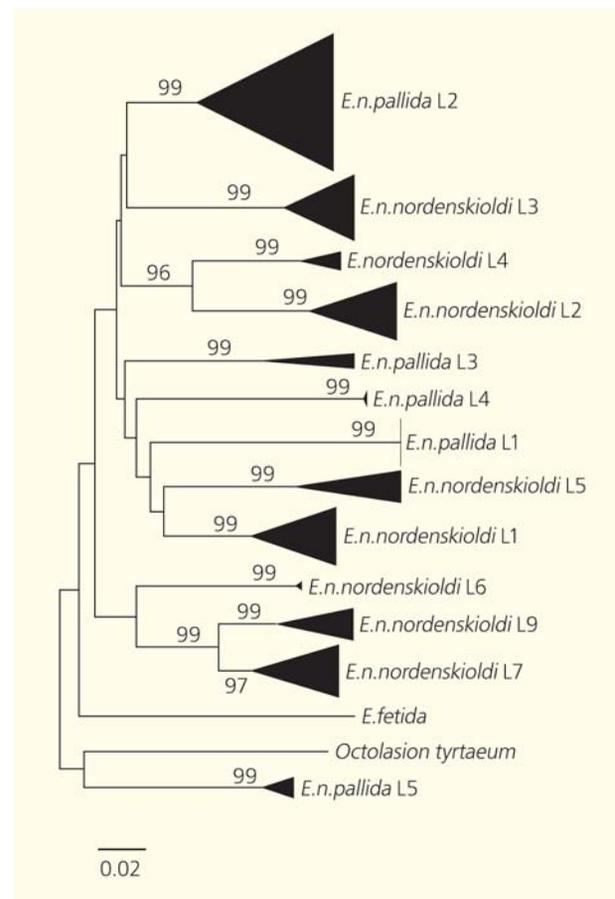
Действительно, изменчивость ДНК большинства видов дождевых червей весьма значительна. Одна из первых работ, проведенных методами ДНК-штрихкодирования [4], выявила в пределах нескольких широко распространенных видов от двух до пяти криптических генетических линий. Они заметно отличались друг от друга: доля парных замен между линиями достигала 22%. Подобная картина обнаружена и в последующих экспериментах, как на отдельных видах, так и на обширных их рядах.

Почти «чистое поле», которому следует уподобить степень изученности генетической изменчивости дождевых червей равнин России, и желание при минимальных затратах получить хотя бы контуры ожидаемой картины определяют применение метода ДНК-штрихкодирования. Его основной принцип — использование коротких фрагментов генома для идентификации видов [5]. Наиболее часто используемая для ДНК-штрихкодирования последовательность у животных — митохондриальный ген цитохромоксидазы 1 (*cox1*). Этот метод очень полезен при исследовании образцов, которые не могут быть достоверно определены традиционными способами, например ювенильных особей, коконов, фрагментов организмов или следов их жизнедеятельности (фекалий, содержимого желудка и т.д.), а также ДНК, выделенной из образцов почвы. Применяется он и для групп с большим числом трудно определяемых видов или для таких, систематика которых плохо разработана. ДНК-штрихкодирование имеет более ограниченный круг задач, чем молекулярная филогения. В частности, они не включают исследование таксономических (родственных) взаимоотношений между видами или уточнение их систематического положения. Тем не менее метод в некоторых случаях позволяет находить новые виды и приблизительно устанавливать их родство. Хотя само по себе ДНК-штрихкодирование не может лежать в основе таксономических исследований, оно позволяет идентифицировать предполагаемые новые виды.

Перспективные образцы уже исследуются с помощью маркеров ядерной ДНК. Пока мы ограни-

чиваемся транскрибируемыми спейсерами рибосомального кластера, которые могут подтвердить или не подтвердить высокий уровень различий, выявленный ДНК-штрихкодированием. Для выяснения же точных родственных взаимоотношений между генетическими линиями или видами потребуется анализ целого набора ядерных генов.

Дождевой червь *Eisenia nordenskioldi* — замечательный пример вида со столь обширным ареалом, что генный обмен (уж во всяком случае между крайними популяциями) за срок со стабильной по палеогеографическим меркам обстановкой



Филогенетическое древо дождевых червей подвида *E.n.nordenskioldi*, построенное по последовательностям гена цитохромоксидазы 1 [6]. Каждый кластер обозначен треугольником, основание которого пропорционально размеру выборки, а высота — размаху нуклеотидной изменчивости. Здесь и далее приведенные филогенетические деревья строились методом минимальной эволюции. Этот дистанционно-матричный метод построения дендрограмм представляет собой модификацию метода связывания ближайших соседей, заключающуюся в создании множества дендрограмм и выборе из их числа одной, с наименьшей суммой длин ветвей. Цифрами обозначено количество статистических вероятностных распределений, которое определено с помощью компьютерного метода многократной генерации псевдовыборок (бутстрепа) на основе имеющейся выборки.

можно полностью исключить. В совсем недавнем прошлом он представлялся как единый, морфологически (кроме пигментации) неделимый вид с двумя подвидами — *E.n.nordenskioldi* и *E.n.pallida*. Подвиды различаются распространением, пигментацией, плоидностью и относятся к разным морфоэкологическим группам. Номинативный подвид — единственный дождевой червь, естественный ареал которого лежит в тундровой, лесной и лесостепной зонах, занимая в их пределах почти всю азиатскую и часть восточноевропейской территории России [7]. Он населяет самые суровые регионы Северной Азии. Описан в 1879 г. и назван в честь выдающегося полярного исследователя. Если бы червь не получил имя А.Норденшельда, ему можно было бы, опираясь на ареал, присвоить титул «арктический», «полярный», «северный» и т.п.

Трудно представить, чтобы такое гигантское пространство занимал один вид, к тому же (как считалось) с более чем скромными возможностями к расселению, а значит — с ограниченным геномным обменом.

Предположение оправдалось в самой большой степени! Молекулярно-генетические исследования выявили весьма сложную, но ожидаемую картину. Как оказалось, номинативный подвид *E.n.nordenskioldi* есть не что иное, как комплекс выделенных девяти (на данный момент!) генетических линий.

Второй подвид, *E.n.pallida*, немногим уступил номинативному: он представляет собой «пучок» из пяти генетических линий того же масштаба, что и в пределах *E.n.nordenskioldi*. И тут правильнее сказать: «пока из пяти». Но о комплексе *E.n.pallida* — специальный подробный разговор в другой раз.

В целом же очевидно, что *E.nordenskioldi* — «сборный» таксон, объединяющий много морфологически неразличимых видов; их как минимум 14 (9 + 5).



Ареалы подвигов дождевых червей *E.n.nordenskioldi* (красные кружки) и *E.n.pallida* (синие кружки) [2, 7–12]. Схема не учитывает всех сведений о находках подвигов и призвана отразить общий характер их распространения. Хотя вид занимает гигантское пространство, он отсутствует в Северной Америке и на других континентах, куда его давно могли завезти с грузами. Черви девятой линии не приживаются на окультуренных землях, а первой и третьей, вероятно, легко расселяются.



Южное побережье Чаунской губы. Подснежные зимние ходы и выбросы из нор полевки-экономки (*Microtus oeconomus*) в осоково-моховых тундрах. Темно-бурая оторфованная почва привлекает червей *E.n.nordenskioldi* быстрым прогревом, а также большим содержанием азота в экскрементах и моче грызунов.

## Ареалы генетических линий

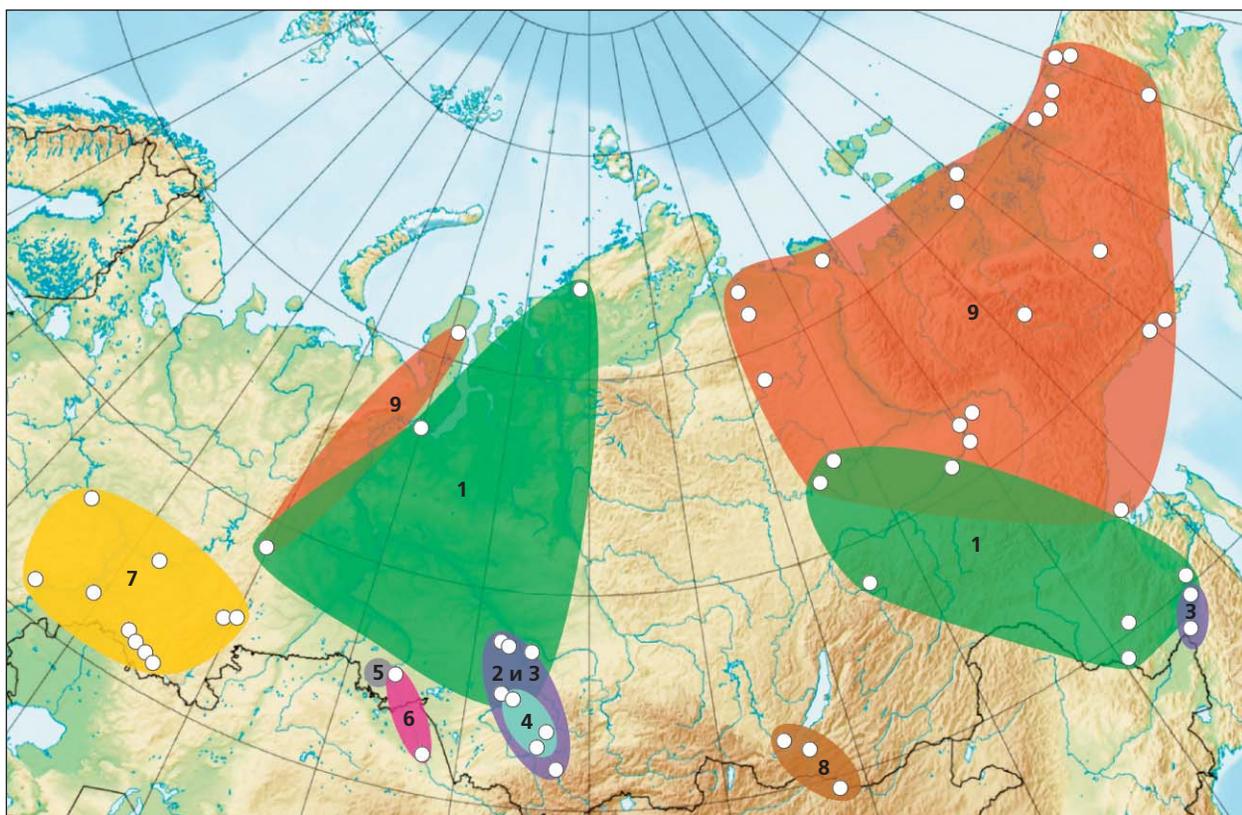
Важнейшая черта обнаруженных линий (номера им присваивались по ходу выявления) номинального подвида *E.nordenskioldi*, в еще большей мере подчеркивающая их индивидуальность, — уникальность абрисов и расположения ареалов. Схема сугубо предварительная, так как работа только началась и быстро собрать спиртовую коллекцию с гигантской территории России реальными силами и в обозримый срок в принципе невозможно. Поясним: музейные коллекции дождевых червей в большинстве своем хранятся в убийце ДНК — формалине, не обесцвечивающем тканей. Так что все надо начинать с нуля... Тут самое место поблагодарить коллег и просто отзывчивых знакомых, бескорыстно помогающих нам. Особая благодарность — коллегам из Института проблем экологии и эволюции имени А.Н.Северцова РАН (Москва) и Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (Якутск), весьма тщательно собравшим коллекции червей, которые сейчас находятся в обработке.

К настоящему времени наиболее полные картины получены по юго-востоку европейской части России и Южному Уралу, отдельным регионам юга Сибири и Дальнему Востоку. Плохо пока обследованы европейская часть России (кроме уже

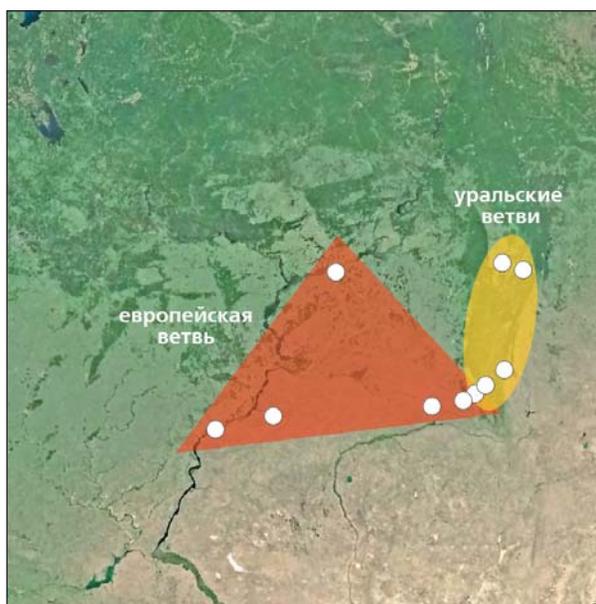
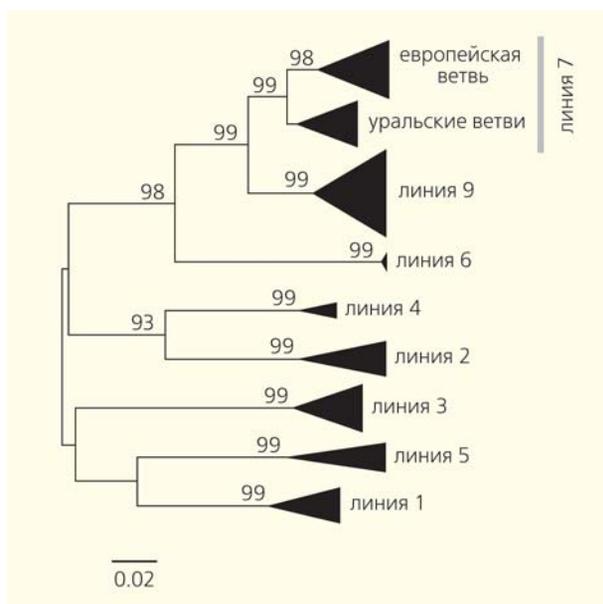
названной территории), большая часть Западной Сибири (кроме ее юга); совершенно нетронуты Восточная Сибирь и другие регионы. Досадно, что руки пока не дошли до средней и северной тайги востока Западной Сибири и Восточной Сибири, поэтому нельзя обсуждать, вероятно, важнейшую для Сибири первую линию *E.nordenskioldi*, которая, судя по всему, населяет большую часть ее территории. Сборы червей из долины Енисея мало что дадут для искомой картины, так как там нет вечной мерзлоты и, вероятно, будут превалировать в основном завезенные виды. Но ряд нетривиальных заключений, обнадеживающих перспективой, сделать уже можно.

**На юго-востоке европейской части России и на Южном Урале**, несмотря на значительное число точек, откуда взяты образцы червей, обнаружены *E.nordenskioldi* исключительно седьмой линией. Замечательно, что к востоку от выявленного ареала черви этого кластера не найдены. Но они могут быть северо-западнее (по дубравам) вплоть до Оки в районе Серпухова, если там, конечно, не обитает какая-либо еще не описанная линия.

Как давно обособились европейско-уральские популяции от сибирских линий вида? При всех недостатках метода молекулярных часов он пока единственно возможный и доступный. Учитывая же, что получаемые в результате времена измеря-



Ареалы выявленных генетических линий дождевых червей подвида *E.nordenskioldi*. Кружочки внутри выделенных цветом областей — места сбора червей, цифры — номера генетических линий.



Место дождевых червей седьмой генетической линии (объяснения в тексте) с юго-запада европейской части России на общем филогенетическом дереве *E.n.nordenskioldi*. На схеме справа видно, что две группы гаплотипов, выделяемые в пределах седьмой линии, имеют различное распространение.

ются многими сотнями тысяч лет, можно оперировать лишь порядками величин, переводя их в качественные оценки типа «до того...», «после того...», имея в виду крупные подразделения геологического времени. Так вот, черви седьмой линии обособились от сибирских линий свыше миллиона лет назад, т.е. в любом случае в плейстоцене.

В пределах этой линии выделяются две группы: первая — европейские популяции и черви из двух точек с западных склонов юга Южного Урала, вторая — остальные уральские гаплотипы. Судя по топологии филогенетического дерева, европейские популяции вида происходят от одной из ветвей второй группы. Возраст европейской группы — не менее 500 тыс. лет, так что *E.n.nordenskioldi* проник в Европу давно и пережил там несколько криохронов. Выявленная ныне область распространения червей седьмой линии лежит за пределами даже Днепровского оледенения (средний плейстоцен, 300–250 тыс. лет назад). Упомянутые выше самые северо-западные находки червя (на Оке), возможно, позволят связать его распространение с более поздним — Московским оледенением (средний плейстоцен, около 170–125 тыс. лет назад).

**На северо-востоке России** выявлена только одна — девятая — линия *E.n.nordenskioldi*. Таким образом повторяется ситуация, описанная на юго-востоке европейской части России и на Южном Урале. Относящиеся к девятой линии гаплотипы обнаружены также на севере Сибири, в Якутии и на юго-востоке Северного Урала (окрестности г.Карпинска), что указывает на широкое распространение червей этой линии в прошлом.

Каждая из тестируемых популяций девятой линии уникальна по генетическому разнообразию, и анализ молекулярных часов свидетельствует, во-первых, об их давней дивергенции, вероятно, в начале плейстоцена, во-вторых — об упомянутой территориальной консервативности («седлости») червей.



Оценки времени дивергенции митохондриальных гаплотипов популяций девятой линии *E.n.nordenskioldi*. Популяции из окрестностей Магадана (пос.Ньюкля, о.Талан) близки между собой, как и популяции бассейна Колымы (окрестности пос.Черский и пос.Сеймчан) и о.Айопечан. Дивергенция в пределах первых произошла 130 тыс. лет назад, вторых — 330 тыс. лет назад, при этом три группы, обнаруженные на данной территории (магаданская, колымско-айопечанская и певекская), разошлись около полумиллиона лет назад.



Под опадом лиственных пород деревьев (слева на фото — осины, справа — чозении) черви подвида *E.n.nordenskioldi* нередки. К примеру, под осинниками их численность может достигать 120 особей на 1 м<sup>2</sup>. В целом в лесной зоне северо-востока Азии этот вид дождевых червей приурочен к относительно теплым почвам с «мягким» гумусом, сформированным под лиственными лесами, лугами, мезофитными участками окраин степных склонов.

Причины невысокой скорости их расселения на северо-востоке Азии конкретны и потому, как кажется, понятны. Вероятно, важнейший фактор, ограничивающий ландшафтное и биотопическое распределение червей *E.n.nordenskioldi* по крайней мере девятой линии, — кислотность почвы (рН < 5). В бассейне верховий Колымы доминирующая горная порода (она же — материнская для почв) — разного типа сланцы, содержащие мало карбонатов, что в конце концов сказывается на низких значениях рН почвы и воды. На северных склонах водный рН в почвах очень низок (до 3.5), под разнотравными парковыми лиственничниками — поднимается до 4.5. Лишь в редких осинниках по окраинам степных участков, на горно-тундровых луговинах, в дриадниках и кое-где еще рН заметно выше, достигает 6. Но все эти группировки представляют собой всегда единичные вкрапления в убогий ландшафт лиственничных редколесий, к тому же они крошечные по площади и, конечно, никак не соединяются между собой. Но именно к ним и приурочены микропопуляции дождевых червей. Неслучайно даже «полевой народ» (геологи, охотники, рыбаки и т.д.), как правило, не знает о существовании дождевых червей в континентальных регионах северо-востока Азии. Сколько длится одинокое житие таких «заимок», сказать трудно (нужна статистическая оценка изменчивости), но ясно, что очень долго.

Расселение, очевидно, может быть и относительно быстрым — за счет переноса животных водотоками. В воде подходящей кислотности черви могут жить неопределенно долго, поэтому перенос их таким путем на большие расстояния вполне возможен. Вероятно, поэтому черви из окрестностей пос.Сеймчан и из устья Колымы, находящегося более чем в 1.5 тыс. км ниже, относятся к одному гаплотипу. Это не означает, что конкретный червь доплывает сверху донизу Колымы. Видимо, путь разбит на дистанции: червей можно найти лишь кое-где на крупных участках ивняков в пойме реки. Но к колымскому кластеру принадлежат и черви с южного побережья Чаунской губы (о.Айопечан), которая не только не связана водными артериями с Колымой, но и находится далеко от нее. С другой стороны, черви из окрестностей Певека, что всего лишь в сотне километров от названного острова, весьма далеки генетически, хотя никаких очевидных преград (кроме низких пологих увалов с горными тундрами) на их пути нет. По приморским равнинным тундрам червь *E.n.nordenskioldi* девятой линии мог расселиться относительно свободно. Благодаря морским (высококарбонатным) отложениям рН почв достигает 7 и таким образом не препятствует существованию червей.

Судя по распространению и возрасту популяций, девятая линия пережила на северо-востоке Азии несколько циклов похолодания—потепления и связанные с ними радикальные ландшафтные

изменения. Сказанное неудивительно, так как животные этой линии обладают чрезвычайно широкой экологической валентностью в отношении температуры и влажности. Они — рекорсмены холодоустойчивости: переносят до  $-35^{\circ}\text{C}$ , а откладываемые ими яйцевые коконы — и того больше, до  $-45^{\circ}\text{C}$ . Даже на полюсе холода, в Оймяконской котловине Якутии, температуры в почве на глубине зимовки червей (10–20 см) не бывают столь низки. Но в ледниковое время такая устойчивость была весьма востребована. Черви девятой линии переносят и сухость, точнее — настоящую засуху: они могут находиться в воздушно-сухой почве более двух месяцев, устраивая из кожных выделений и пылеватых частиц почвы защитную капсулу. Ни какой другой вид дождевых червей столь редким сочетанием способностей не обладает.

Подчеркнем, что речь идет о девятой линии, а обладают ли другие линии *E.n.nordenskioldi* подобными свойствами — большой вопрос, нуждающийся в специальной проработке. Судя по ареалу девятой линии, скорее всего, — нет, не обладают.

Обнаружение червей девятой линии на северо-востоке Азии, несомненно, соответствует пред-

ставлениям геоморфологов и палеогеографов об отсутствии покровных оледенений в регионе. Ледники здесь были лишь горно-долинными, что создало предпосылки для сохранности на огромном пространстве от верховий Яны и Индигирки до Чукотского п-ова реликтов разного происхождения: тундростепных, степных, неморальных, темнохвойно-таежных. Они свидетельствуют о преобладании в течение длительного времени, возможно, с раннего плейстоцена, ландшафтов (тундростепей) с одновременным присутствием степных и тундровых видов животных и растений. О былом сочетании, казалось бы, несочетаемого можно судить по многочисленным останкам животных, захороненным главным образом в вечной мерзлоте Якутии, северо-востока Азии и северо-запада Америки.

Но останков обитателей доплейстоценовых ландшафтов сохранилось немного, и потому судить об обстановке тех времен сложно. Любое новое свидетельство, пусть и косвенное, — ценность.

Вопреки чрезвычайно широкой экологической валентности девятой линии *E.n.nordenskioldi* и множественности эпизодов осушения Беринго-



Типичный пейзаж в верховьях Колымы (бассейн ручья Олень — притока р.Сибит-Тыэллах, левого притока Колымы). Окрестности стационара «Абориген». На всем пространстве, видимом на фотографии, червей нет. Исключение составляет крошечный участок северного склона над белым пятном еще не сошедшей наледи (показано стрелкой). Здесь сохранилась реликтовая рощица каменной березы *Betula ermanii*, в подстилке из листьев которой и под ней в почве благоденствуют дождевые черви *E.n.nordenskioldi*.

ва пролива червь в Восточной Берингии (т.е. в Северной Америке) неизвестен. Заметим, что, по оценкам метода молекулярных часов, дивергенция чукотских популяций девятой линии произошла более 100 тыс. лет назад, задолго до осушения Берингова пролива в период последнего ледникового максимума. Причина отсутствия червя в Восточной Берингии, возможно, кроется в его территориальной консервативности. Пассивное же его расселение из Азии в Америку (например, водотоками) маловероятно, поскольку основные палеореки на осушенном дне пролива были ориентированы в меридиональном направлении, а не в широтном. Между тем непреднамеренная интродукция в Северной Америке червей первой, третьей и девятой линий представляется весьма вероятной, что не должно привести к каким-либо очевидным нежелательным последствиям.

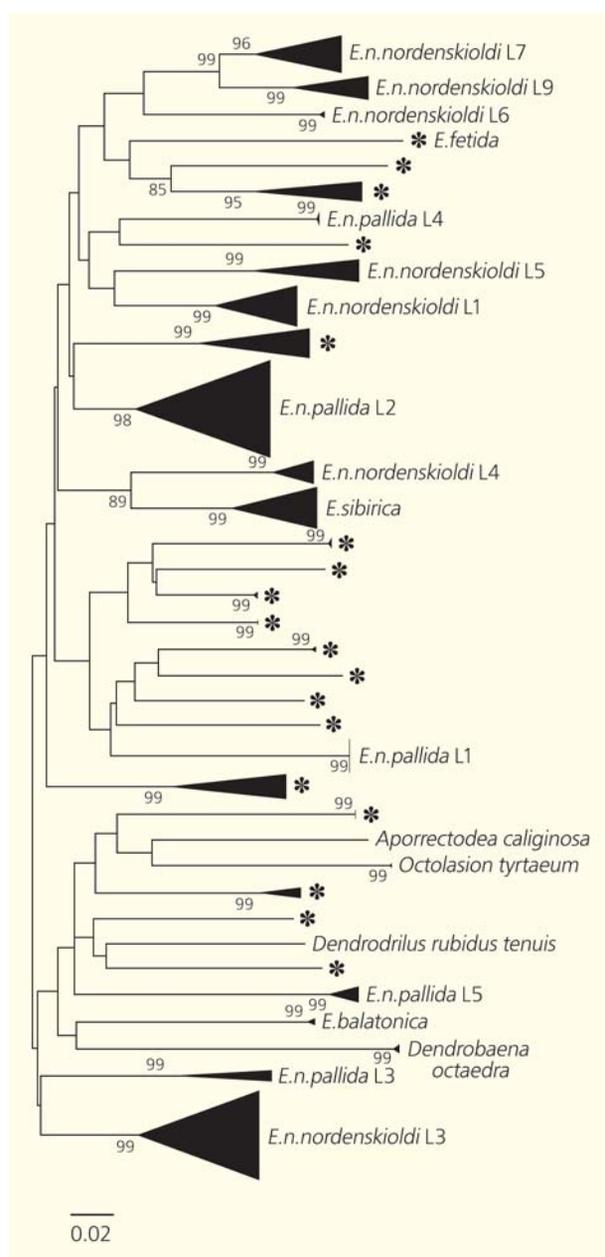
Изложенные предварительные результаты позволяют считать перспективным исследование ареала *E.nordenskioldi*, особенно северных территорий, по более частой сетке, чтобы уточнить распространение выявленных линий в необследованных еще регионах. Изучение филогеографии обсуждаемого вида и, возможно, других представителей почвенной фауны, переживших, в отличие от мамонта, шерстистого носорога и других животных мамонтовой фауны, плейстоцен, может внести нетривиальный вклад в реконструкцию истории биоты Берингии.

**С юго-востоком европейской части и северо-востоком России** нам несказанно повезло: как было показано, и там и там обитают черви линий, нигде более не встречающихся (произнесем как заклинание — «пока не найденных»). С другими регионами все не так просто. Генетическое разнообразие *E.nordenskioldi*, широко распространенного в Западной и Средней Сибири (к северу от Транссиба), пока обследовано лишь в немногих точках этого региона. В южных частях всей Сибири и Дальнего Востока собран весьма обширный материал, но его предварительная обработка дала, увы, необнадеживающий результат: пока встречены семь линий из девяти уже выявленных. В большинстве регионов (кроме Забайкалья) линии сосуществуют попарно, а в северных отрогах Алтая, в частности на Салаирском кряже, на юге Новосибирской и Томской областей, обнаружены даже четыре линии. Недостаточно и точек обследования — нужна более частая сетка, нужны и большего размера выборки, чтобы видеть изменчивость.

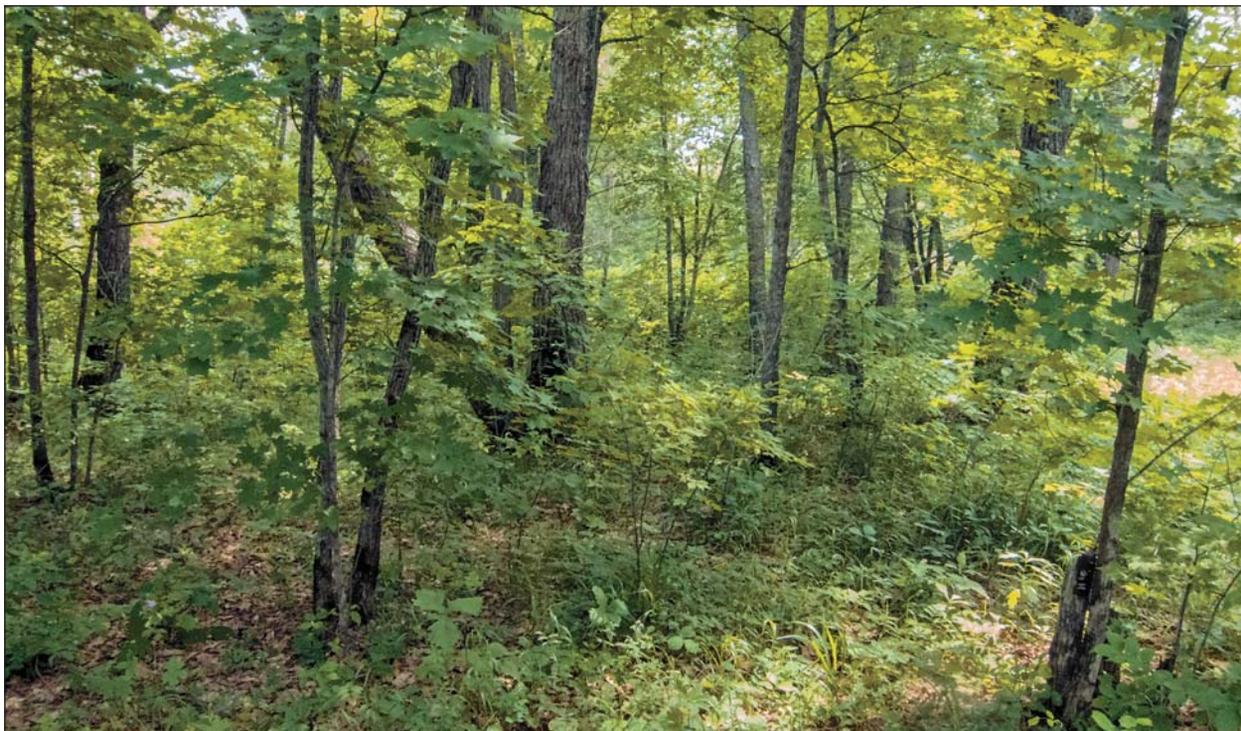
Сложность изучения Южной Сибири и Дальнего Востока еще и в том, что, в отличие от средней и тем более северной тайги, здесь обитает не только пресловутый *E.nordenskioldi*, но и второй подвида — *E.n.pallida*, а также много других видов дождевых червей, и не только космополитов.

**Юг Западной Сибири** мы избрали в качестве полигона для оценки возможного занижения

генетического разнообразия дождевых червей. В 12 точках Новосибирской, Томской, Кемеровской областей, в Алтайском крае и Республике Алтай были собраны 250 червей. По данным Кадастра дождевых червей [2], в России и на сопредельных территориях обитает 16 видов. Все они принадлежат к семейству Lumbricidae. Восемь из них — инвазивные виды-космополиты (*Allolobophora parva*, *Dendrodrilus rubidus tenuis*, *D.r.subrubicundus*, *Octolasion tyrtaeum* (или *O.lacteum*), *Aporrectodea caliginosa*, *Dendrobaena octaedra*,



Филогенетическое древо дождевых червей, собранных на юге Западной Сибири. Для *E.nordenskioldi* и *E.n.pallida* указаны номера генетических линий. Звездочками отмечены новые кластеры.



Один из характерных участков смешанных лесов в долине Амура и на Северном Сихотэ-Алине. В таких лесах дождевые черви обоих подвидов *E.nordenskioldi* нередки.

*Eiseniella tetraedra* и *Eisenia fetida*). Для Западной Сибири указаны также *Lumbricus terrestris*, *L.castaneus*, *L.rubellus* и *Aporrectodea rosea* [8]. Четыре вида рода *Eisenia* (*E.malevici*, *E.altaica*, *E.salairica* и *E.tracta*) — эндемики Алтая и Салаирского кряжа. Остальные пять — это близкородственная группа *Eisenia n.nordenskioldi* / *E.n.pallida* / *E.atlavinyteae*, а также менее распространенные *E.sibirica* и *E.balatonica*. *E.atlavinyteae* нигде далее не упоминается по весьма прозаической причине: не удастся сопоставить этот тяжело определяемый таксон с выделяемыми линиями.

Прежде чем переходить к результатам анализа, необходимо сделать техническое замечание. Известно, что на построенных по последовательностям оснований митохондриальной ДНК деревьях, как правило, не выделяются ветви, соответствующие таксонам надвидового ранга, что обусловлено высокой скоростью эволюции митохондриальной ДНК у дождевых червей. Многие роды и даже семейства на таких деревьях оказываются полифилетичными. В связи с этим кластеризацию проводили следующим образом: кластером, соответствующим одной операционной таксономической единице (Operational Taxonomic Unit, OTU), считали ветвь с бутстрепной поддержкой не менее 95, которая не объединяется с какой-либо другой ветвью на дереве с бутстрепной поддержкой более 90.

Таким путем в выборке были выделены 27 кластеров. Семь из них относятся к широко распро-

страненным видам (*A.caliginosa*, *E.fetida*, *E.balatonica*, *E.sibirica*, *O.tyrtaeum*, *D.r.tenuis*, *D.octaedra*). Три известных в Западной Сибири вида-космополита (*E.tetraedra*, *D.r.subrubicundus*, *A.parva*), а также алтайские эндемики отсутствуют — очевидно, в связи с тем, что характерные для них биотопы не были обследованы. Три кластера соответствовали генетическим линиям *E.n.nordenskioldi* [13]. Оставшиеся 17 из 27 кластеров не имели близкого сходства ни с одной из ранее изученных последовательностей ДНК дождевых червей. Девять кластеров из 17 были сходны с группой *E.n.nordenskioldi* / *E.n.pallida*.

### Новые виды?

Можно ли считать, что выявленные кластеры действительно соответствуют видам дождевых червей? Для кольчатых червей характерен более высокий уровень дивергенции последовательностей мтДНК между видами одного рода по сравнению с другими животными [5]. По данным авторов этой статьи, степень внутривидовой изменчивости у животных редко превышает 2%. Однако уровни попарной дивергенции между генетическими линиями *E.nordenskioldi* составляют от 16 до 29%. Генетическая изменчивость внутри линий этого вида, для которых имеются данные по достаточному количеству популяций, превышает 5% и достигает до 8.6% у второй линии *E.n.pallida*. Таким

образом, если судить по степени изменчивости мтДНК, то обнаруженные нами кластеры можно уверенно считать отдельными видами.

Да, бывают случаи, когда представители значительно различающихся митохондриальных генетических линий одного вида могут не иметь существенных различий по ядерным маркерам, что показано, например, для видов *Allolobophora chlorotica* [4, 14], *L.rubellus* [15], а также для второй и третьей линий *E.n.pallida* (наши неопубликованные данные). Причины такого несовпадения пока не объяснены, однако понятно, что существование предполагаемого нового вида дождевых червей необходимо подтверждать и с помощью ядерных маркеров. Тем не менее в большинстве описанных случаев расхождений между генетическими линиями по ядерным и митохондриальным маркерам нет. Их отсутствие свидетельствует о том, что обнаруженные нами кластеры главным образом — новые виды дождевых червей.

Как видно, даже весьма ограниченная выборка (напомним, всего-то 250 червей из 12 точек) из Западной Сибири позволила выявить 17 новых ге-

нетических кластеров дождевых червей. Значительная их часть соответствует новым таксонам, что как минимум удваивает ранее известное на исследованной территории число видов.

\* \* \*

Заключение, следующее из всего изложенного, и радует и тревожит. Радует тем, что проведенная работа подтверждает предположения о высокой криптической изменчивости дождевых червей равнин России и свидетельствует о перспективности исследований в этом направлении. Похоже, не любой дождевой червь из неосвоенных регионов Сибири будет, как прежде, не глядя отнесен к отслужившему свое виду *E.nordenskioldi*. Появляется некоторая надежда на использование результатов для палеогеографических реконструкций, может быть, даже доплейстоценовых. Тревожит предстоящей грандиозной таксономической работой по описанию новых видов и доскональной ревизией ранее описанных. Многого заново! Дождевые черви столь значимы в природе, что их надо знать персонально и в деталях. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-04-00425а и 16-04-00082а).**

## Литература

1. Hendrix P.F., Callabam M.A., Drake J.M. et al. Pandora's box contained bait: the global problem of introduced earthworms // Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst. 2008. V.39. P.593–613. Doi:10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173426.
2. Всеволодова-Перель Т.С. Дождевые черви России: Кадастр и определитель. М., 1997.
3. Reynolds J.W. The distribution of earthworms (Annelida, Oligochaeta) in North America // Advances in ecology and environmental sciences / Eds P.C.Mishra, N.Behera, B.K.Senapati, B.C.Guru. New Delhi, 1995. P.133–153.
4. King R.A., Tibble A.L., Symondson W.O.C. Opening a can of worms: unprecedented sympatric cryptic diversity within British lumbricid earthworms // Mol. Ecol. 2008. V.17. P.4684–4698. Doi:10.1111/j.1365-294X.2008.03931.x.
5. Hebert P.D.N., Ratnasingham S., Waard J.R. de. Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species // Proc. R. Soc. Lond. B. 2003. V.270. P.96–99. Doi:10.1098/rsbl.2003.0025.
6. Шеховцов С.В., Берман Д.И., Пельтек С.Е. Филогеография дождевого червя *Eisenia nordenskioldi nordenskioldi* (Lumbricidae, Oligochaeta) на северо-востоке Евразии // ДАН. 2015. Т.461. №1. С.118–121.
7. Перель Т.С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР. М., 1979.
8. Стриганова Б.Р., Порядина Н.М. Животное население почв бореальных лесов Западно-Сибирской равнины. М., 2005.
9. Всеволодова-Перель Т.С. Распространение дождевых червей на севере Палеарктики (в пределах СССР) // Биология почв Северной Европы / Ред. Д.А.Криволицкий. М., 1988. С.84–99.
10. Всеволодова-Перель Т.С., Лейрих А.Н. Распространение и экология дождевого червя *Eisenia nordenskioldi pallida* (Oligochaeta, Lumbricidae), массового на юге Сибири и Дальнего Востока // Зоол. журн. 2014. Т.93. №1. С.45–52.
11. Берман Д.И., Мецьяркова Е.Н. Ареалы и холодоустойчивость двух подвидов дождевого червя (*Eisenia nordenskioldi*, Lumbricidae, Oligochaeta) // Зоол. журн. 2013. Т.92. №7. С.771–780.
12. Ганин Г.Н. Почвенные животные Уссурийского края. Владивосток-Хабаровск, 1997.
13. Shekhtovtsov S.V., Golovanova E.V., Peltek S.E. Mitochondrial DNA variation in *Eisenia n.nordenskioldi* (Lumbricidae) in Europe and Southern Urals // Mitochondrial DNA. 2015. Doi:10.3109/19401736.2015.1101594.
14. Dupont L., Lazrek F., Porco D. et al. New insight into the genetic structure of the *Allolobophora chlorotica* aggregate in Europe using microsatellite and mitochondrial data // Pedobiologia. 2011. V.54. P.217–224. Doi:10.1016/j.pedobi.2011.03.004.
15. Giska I., Sechi P., Babik W. Deeply divergent sympatric mitochondrial lineages of the earthworm *Lumbricus rubellus* are not reproductively isolated // BMC Evolutionary Biology. 2015. V.15. P.217–229. Doi:10.1186/s12862-015-0488-9.

# Мощное цунами. В проливе... Керченском

А.А.НИКОНОВ

...Ты видишь: глубь морская всколыхнулась от волны.  
Архилох (VII в. до н.э.)

Этот очерк, подобно айсбергу весной, неудержимо отрывается от огромного массива данных в пучину водных проблем. Даже его надводная часть непроста для восприятия. Придется делить пополам. Здесь — часть первая.

Обитатели западного Средиземноморья знакомы с таким явлением, как цунами (наводнением), с времен дописьменных. До нас же дошли только сведения в виде мифов, легенд, свидетельств и пересказов историков, географов и... поэтов. Ныне каталог цунами в Средиземном море насчитывает свыше 300 событий за 2.8 тыс. лет [1], в среднем — одно за 8–10 лет. А в XX в., когда цунами регистрировались с большей полнотой, одно событие возникало примерно раз в два года. Черное море, ввиду гораздо меньшего размера акватории и малой изрезанности берегов (не говоря о скудости сведений, дошедших до нас из этой отдаленной части древней Ойкумены), на порядок уступает Средиземному морю по числу выявленных событий и по их «удельной плотности».

Всего 20 лет назад здесь были известны только несколько слабых накатов, да и то некоторые из них оказались ложными. Знания по Черноморью прирастают стремительно, причем не за счет возникновения новых цунами, а путем «выкапывания» сведений из ранних источни-



**Андрей Алексеевич Никонов**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли имени О.Ю.Шмидта РАН. Область научных интересов — сейсмотектоника, палеосейсмичность, природные опасности. Постоянный автор «Природы».

**Ключевые слова:** Крым, Керченский пролив, землетрясение, палеоцунами, донные отложения.

**Key words:** Crimea, Kerch Strait, earthquake, palaeotsunami, bottom sediments.

ков — письменных, устных, геологических. В 1997 г. появилась публикация с каталогом 20 цунами в Черном море [2]. По Керченскому проливу в ней ни одного события не числилось. Тогда не только в проливе, но и во всем Черноморском бассейне серьезной опасности ожидать не было оснований. Они появились в новой, расширенной версии каталога цунами Черного моря за 2.6 тыс. лет, переданной мной в Рабочую группу по цунами в конце 2015 г.

На этом вполне можно было бы остановиться и заняться иными «срочностями». Помешали два обстоятельства. Первое — своего рода сейсмический переворот. Сейсмичность района Керченского пролива (как она фиксируется за последние столетия) очень слаба и невыразительна. Из этого, однако, неправомерно делать вывод о низком сейсмическом потенциале региона и о его малой сейсмической опасности в долговременном аспекте. В 2000 г. был опубликован расширенный каталог сильных исторических и доисторических землетрясений Крыма [3]. А в конце 2015 г. по геологическим и сейсмическим признакам удалось выделить самостоятельную Керченскую очаговую область (сейсмолинеамент). В ней за 2.5 тыс. лет зафиксировано семь разрушительных землетрясений [4] вместо одного-двух в базовом каталоге сорокалетней давности [5].

И второе, что не давало покоя, — наблюдения 80-х годов прошлого века. На нескольких участках крымских берегов (вблизи Севастополя и у мыса Казантип) и в самом проливе наблюдались та-

кие необычные залегания несовместимых по фациям слоев, которые иначе как сильными цунами объяснить не удавалось [6].

Теперь, когда по государственным программам ТВ ярко и вдохновенно, при бодрящем музыкальном сопровождении демонстрируют будущий красавец над водами залива, как мечту, почти как национальный символ, — теперь-то что делать? Пришлось, отложив все в сторону, на несколько месяцев погрузиться в специальную литературу по геоморфологии, стратиграфии, тектонике, литологии, хронологии, археологии, истории, палеогеографии, океанографии, береговым процессам.

Несмотря на мой 30-летний стаж исследования Крыма, я не получил возможности участвовать в масштабных (по разным показателям) изыскательских работах по грандиозному проекту. Их результаты до сих пор недоступны невовлеченным, необлеченным: объект-то особо ответственный. У меня же в голове были опыт и понимание серьезности ситуации, в руках — обширная библиотека трудов предшественников за два столетия. И пожалуй, самое важное — нестандартный подход, новая методология.

## 0 парадигме

За многие десятилетия разными специалистами собран огромный материал по Черноморью, в частности по Керченскому проливу. Все данные рассматривались и обобщались (как это обычно и бывает) в рамках существовавших концепций, правильнее — парадигмы. У специалистов, особенно географической школы, до сих пор остается убежденность в постепенном, медленном, климатически обусловленном развитии природной среды. Факторы геодинамические принимались и принимаются в расчет редко, даже медленнодействующие, не говоря уже об экстремальных, «мгновенных», но с переворотными последствиями.

Цунами во внутренних бассейнах (в данном случае в Черном море) для геологов, геофизиков, да и для океанологов до начала XXI в. оставалось *aqua incognita*. Это не упущение и не вина отдельных исследователей и коллективов, а нормальный ход развития знаний. Но со временем происходит преодоление определенного рубежа, накопление критической массы признаков, открытие новых возможностей в познании редких, но с огромными последствиями природных явлений.

### О причинах резкого изменения фаций.

Один из важнейших, подтвержденных многочисленными исследованиями донных осадков в проливе, фактов — чередование в разрезах голоценового возраста отложений совершенно разного гранулометрического состава, а именно фаций тонкозернистых, иловых и глинистых с разнозернистыми песчаными и с ракушей. Традиционное и единственное толкование такого чередования,

ставшее каноном, состояло в том, что появление песков есть надежный признак наступления мелководных условий, соответствующих максимуму очередной трансгрессии. Но, как это теперь по многим примерам прояснилось, условия осадконакопления в прибрежных водах (преимущественно в волноприбойной зоне) кратковременно («моментально») могут измениться за счет:

- обвала берега и последующего его размыва;
- исключительного по силе шторма;
- резкого изменения глубины дна в результате вертикальной тектонической подвижки;
- приноса крупного или смешанного материала мощным цунами.

Воздействия двух первых типов обычно локальны и потому могут быть достаточно определенно выделены на первых стадиях изучения. Два последних типа требуют углубленной проработки и специфических знаний. Ранее такой анализ не осуществлялся, ибо названные факторы не входили в круг допустимых. Изучение отложений палеоцунами — новый, перспективный путь исследования. Опыт их распознавания на берегах Тихого океана (в России работы Т.К.Пинегинной и Н.Г.Разжигаевой) создает методическую основу для исследования подобных образований в других регионах.

**Водные перевороты.** Согласно сведениям гидрологов, поступающий в Керченский пролив ил, со многими пищевыми элементами для планктона, приносится из мелководного и прогреваемого Азовского моря, куда, в свою очередь, выносятся р.Доном [7]. Именно так можно объяснить мощные иловые накопления в донных осадках Керченского пролива, в том числе в верхних частях разрезов новоэвксинского и раннечерноморского времени. Учитывая, что данная акватория не обладает собственным водосбором с окружающей суши, нет оснований отрицать такой путь поступления ила. Но в этом случае внезапные, резкие смены фаций в разрезах — от ила к пескам, нередко с битой или окатанной (т.е. переотложенной) ракушей, — иначе как бурными переворотами водной среды в проливе не объясняются.

**Специфика района пролива.** Берега Керченского пролива в нескольких аспектах могут представлять большую (во всяком случае специфическую) цунамиопасность. Сама впадина (грабен) пролива — это сейсмогенная зона. Кроме того, существует еще одно обстоятельство — узость Керченского пролива по сравнению с водными пространствами на юге и севере, откуда приходят цунами. Наконец, поскольку, в отличие от соседних районов, здесь два берега (и оба извилистые), возрастает протяженность узвизких низменных пространств, доступных накату.

Главная причина большинства цунами (крупных, во всяком случае) в Черном море — тектонические подвижки при землетрясениях. И знание их параметров (места, времени, силы и поля воздействия) первостепенно.

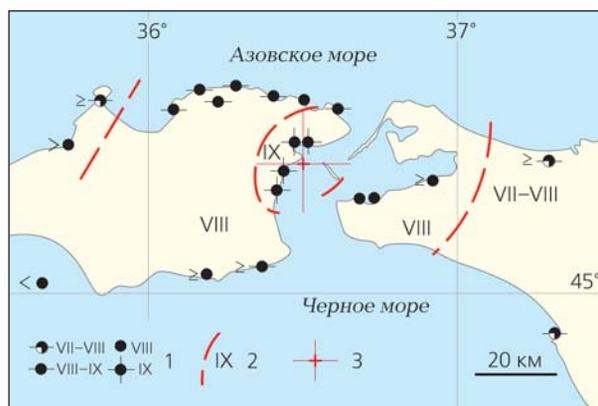
## Пантикапейское землетрясение 63 года до н.э.

В литературу сведения об этом событии в Боспорском царстве ввел известный историк-антиковед и археолог В.Д.Блаватский: «В 63 г. до н.э. произошло грандиозное землетрясение, разрушившее ряд городов и поселений Боспора» [8, с.76]. Он основывался на письменных сообщениях римских авторов и на результатах раскопок руководимой им Боспорской экспедиции.

У Диона Кассия (II–III вв. н.э.) землетрясение названо «сильнейшим». Павел Оросий (V в. н.э.) также сообщал о «грандиозных разрушениях». Событие не было забыто, и спустя 300–500 лет оно характеризовалось как сильнейшее, да еще и с грандиозными разрушениями. Можно ли сомневаться в его исключительном воздействии на все стороны жизни процветавшего в I в. до н.э. на берегах Керченского пролива (Босфора Киммерийского) Боспорского государства? На акрополе его столицы г.Пантикапея археологи описали «грандиозные разрушения не только всех зданий, существовавших в то время, но даже подпорных стен, сдерживавших насыпи террас» [9, с.56]. Все это полностью подтвердилось многочисленными вполне надежными фактами при последующих раскопках ядра города под руководством В.П.Толстикова. С подключением сейсмологов (И.В.Ананына, Ф.О.Аракеяна и др.) удалось доказать, что разрушения произошли в результате мощного сейсмического воздействия. Событие 63 г. до н.э. ввели в базовый каталог землетрясений [5], правда, только с приблизительными оценками параметров. Ныне они существенно уточнены.

Для адекватной оценки силы и результатов сейсмических воздействий в городах Боспора важны как минимум два дополнительных факта. Первый — в период классической античности (т.е. в IV–II вв. до н.э.) все сооружения в городе, к тому же в столичном, велись по строгим, веками выработанным канонам, с обязательным использованием антисейсмических приемов [10]. Второй факт, отраженный авторами I в. н.э. Страбоном и Плинием и подтвержденный современными археологами, — продолжительность восстановления разрушенных городов (более полувека, вплоть до середины I в. н.э.). Везде при этом вторично использовался каменный материал из руин прежних построек. Все вышперечисленное позволяет отнести данное землетрясение к разрушительным, с оценкой интенсивности IX (и даже более) баллов по макросейсмической шкале MSK-64.

Систематические многолетние, в постоянном контакте с археологами, археосейсмические исследования на многих городищах региона сильно расширили базу натуральных данных. Количество пунктов с оценками интенсивности воздействий увеличилось до 20, что позволило составить вместо умозрительных схем обоснованную карту изо-



Макросейсмические данные по разрушительному Пантикапейскому землетрясению 63 г. до н.э. в Керченском проливе. 1 — интенсивность (баллы) по степени разрушений в фиксированных пунктах, 2 — изосейсты (баллы), 3 — позиция эпицентра. Составлено автором в 2015 г.

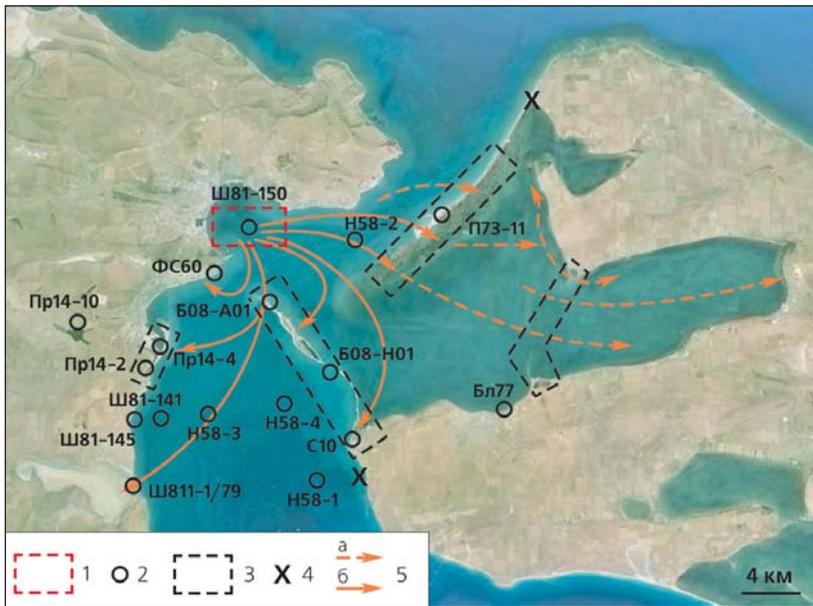
сейст и сделать оценки параметров очага, более полные, чем для остальных древних событий в регионе. Эпицентральная область землетрясения располагалась в северной части Керченского пролива, у западного берега. Изосейста IX баллов оказалась вытянутой по азимуту СВ–40° на 25 км вблизи современной Керчи (на месте бывшей столицы Боспора). Значительная часть эпицентральной области попала на акваторию Керченского пролива. Коль скоро очаг располагался вдоль границы суша—море, маловероятно, чтобы водная среда пролива не испытала сильного возмущения. Обнаружить его следы — задача для профессионала.

### Следы водного возмущения

Первая искра мысли о возможности цунами в проливе возникла в конце 2015 г. Вскоре этот начальный импульс оказался «каплей в море». Иначе бы и данная статья не появилась.

Материалов набралось столько, что здесь познакомить с ними читателя можно только кратко. Базовыми служат три группы сведений. Первая — об особых по формам и размерам аккумулятивных образованиях. Вторая группа включает литолого-стратиграфические и фациальные особенности и характер контактов в разрезах отложений с выделением специфических, чужеродных горизонтов разных морских и прибрежных наслоений. В третью группу входят хронологические данные разного рода. Рассмотрение начнем с юга и пойдем против часовой стрелки.

**Юг.** Коса Тузла — одно из весьма выразительных песчаных образований в Керченском проливе. Аккумулятивное тело (ныне в основном скрытое под водой) вытянуто на 12 км к северо-западу от мыса Тузла на юге Тамани. До Керченского берега оно не доходит 3,5 км, так что собственно



Карта Керченского пролива. 1 — эпицентральная область землетрясения 63 г. до н.э. (провал); 2 — пункты с опорными разрезами донных отложений; 3 — специально рассмотренные участки; 4 — участки, где следы цунами не обнаружены; 5 — реконструкция трасс распространения цунами: а — обоснованные, б — ориентировочные. Опорные пункты: Б08-А01, Н01 [10], Бл77 [9], Н58-1, -2, -3, -4 [11], П73 [12], Пр14-2, -4, -10 [13], С10 [14], ФС60 [15], Ш81-1/79, -141, -145, -150 [16].

пролив прижат к западному берегу, к Камыш-Бурунскому участку. Публикаций о косе множество. Но такие определения, как «реликт древней косы» и «прибойный поток» (Е.Н.Невесский), «абразионно-аккумулятивная береговая система» (П.А.Каплин и др.), «разнотерригенное прибрежное образование» (А.А.Свиточ и др.), не раскрывают первичного генезиса косы. Фактами не обеспечены и мнения о «связи косы с привнесом обломочного материала рукавом дельты Кубани» (Е.Ф.Шнюков и др.), о том, что коса, вероятно, представляет собой «аллювий древнего Дона» (Ю.В.Артюхин) или «волновые осадки» (С.И.Скиба).

Недавно большой коллектив специалистов выполнил весьма обстоятельное исследование керна опорной скважины в основании косы Тузла [14]. Скважина заложена между мысом Тузла и ближайшим озерком в приморской низине, на небольшой песчаной косе второго порядка. На глубине около 12 м неогеновые глины здесь перекрываются позднеголоценовыми отложениями новочерноморской трансгрессии. Из их нижней части, с глубины 9.6 м, по раковинам моллюсков получена датировка  $3.2 \pm 0.1$  тыс. лет назад [ЛГУ-6250], а с глубины 7.3 м —  $2.87 \pm 0.1$  тыс. лет назад [ЛГУ-6248]. Выше, на глубине 4.9–1.8 м, залегают илы, на них — серый песок мощностью 0.3 м, а еще выше, до поверхности, — разнотерригенные пески с раковинным детритом. Нижняя граница верхнего слоя песков на глубине 0.5–0.7 м резкая. Она четко от-

бивается по гранулометрическому составу, спорово-пыльцевому спектру и составу фораминифер. Ученые различных специализаций независимо отметили отличие верхних песков (с явными чертами смешения разных осадков, их переноса и переотложения в весьма динамичной среде) от всего разреза.

Материал верхнего слоя определялся как абразионный, созданный на месте. Но есть суждение и иное: «Вероятно, они [пески. — А.Н.] являются аллохтонными, привнесенными извне мыса Тузла» [14, с.129]. Практически по всем видам анализов в этом слое отмечаются: различные зернистость, цельность, окатанность и свежесть осадка; смешение минерального и органического вещества, вплоть до присутствия веточек и корешков в обломках; совокупность материала разных биотопов и его смешанный состав. Все это не согласуется с долговременным действием на месте активной абразии. Наоборот, налицо все

признаки дальнего переноса (в основном во взвешенном состоянии) из разных мест и смешения (по пути) разных фаций. Непосредственно под косой здесь такого материала нет. Он широко развит только на западном борту Керченского пролива, в первую очередь в окрестностях Керчи.

Скважина задана на очень низком, всего 0.5 м над ур. м., прибрежном валу, на границе с малым озерком-лиманом, заведомо более поздним. Разрез характеризует корневую часть основной косы, но в пределах ее раздвоения в сторону коренного берега (с лиманом-озерком в треугольном промежутке), именно на южной ветви (на косе-валу второго порядка). В такой ситуации, во-первых, невозможно представить, чтобы раздвоение треугольной конфигурации возникло при перемещении наносов с юга и юго-запада от мыса. Оно могло образоваться только с противоположной стороны. Во-вторых, здесь нет признаков постепенного в течение геологического времени накопления чуждых этому участку груборазнозернистых, по существу экзотических, водных отложений. Также не отмечены и следы так называемой нимфейской террасы и нимфейской трансгрессии (высотой 2–5 м). Наконец, еще один существенный признак — резкая, одиночная и невозвратная смена режима осадконакопления: от спокойного (в малоподвижной неволновой среде) до бурного водного возмущения (в ограниченной полосе, к тому же поперечной к берегу).

Важные в отношении строения косы Тузла материалы появились и по о.Тузла, т.е. по средней части бывшей до 12 км длиной единой косы [17]. Этот участок крупного аккумулятивного образования также состоит из двух серий осадков. Окружающее остров со всех сторон мелководье (до глубин 2–3 м), как и надводная часть, сложено мелкозернистыми песками с раковинным детритом. Песчаный массив в виде полосы шириной 2–4 км резко выделяется на обширном пространстве мелкоалевритовых осадков дна южной половины пролива. Однако у северо-западного и юго-восточного окончаний, где на относительно крутых склонах осадки вскрыты на глубине 3.5–6.5 м, состав их совсем иной. На юго-востоке на данной глубине установлено протянувшееся на 1 км тело разнозернистых песков с галькой и гравием. Так, выясняется, что на расстоянии 4 и 10.5 км к северо-западу от мыса Тузла коса сложена двумя сериями осадков: в основании залегают средне- и грубозернистые пески с гравием и галькой, а сверху — исключительно мелкозернистые с примесью раковинного детрита.

И здесь разнофациальные серии отражают различные условия осадконакопления. Нижняя отложилась в заведомо высокодинамичной, турбулентной среде, верхняя — в относительно спокойной. Вполне вероятно допустить формирование верхней серии (включая и надводную ее часть) за счет перемыва и вымывания мелкозернистого песчаного материала на месте. Возможен и перенос вдоль косы с юго-востока. Но такое допущение в отношении нижней, грубой, серии осадков неправдоподобно. Никакие обычные процессы не могли переместить гальку на пологое в то время дно пролива на расстояние 3.5–4.5 км от ближайших берегов, где обломочный материал только и мог формироваться и откуда мог поступать. И на этом участке косы не просматривается иной вариант, чем признать сильное цунами движущей силой переноса большой массы разнозернистого песка на значительное расстояние. Перемещение не могло идти вдоль косы — только попереки. Мощный вал шел не со стороны Черного моря, а, скорее всего, с северо-востока. Расположение нижней серии осадков на глубине более 3–3.5 м точно совпадает с ранее определявшейся и подтвержденной дополнительными фактами позицией уровня моря на рубеже эр. Следовательно, правомочно соотносить предполагаемое событие с землетрясением 63 г. до н.э.

Небольшая часть обломочного материала проникла и к юго-западу от косы. Об этом свидетельствует разрез по скважине №2 в 3.5 км от мыса Тузла. Там слой «грубого, хорошо перемытого песка с галькой и многочисленными окатанными обломками раковин» на глубине  $10 \pm 0.5$  м имеет толщину только 0.55 м. Он перекрыт всего 0.1 м илистого песка, заведомо современного [11, с.25]. Однако в 1.5 и 3 км к северо-западу, в скважинах 3 и 4, до глубин 2–2.7 м такой слой отсутствует, а дно

сверху сложено исключительно илистыми песками. Это обстоятельство не позволяет принять возникновение горизонта грубых отложений по оси Керченского пролива за счет прохождения там русла Пра-Дона (как допускали многие исследователи) или за счет прибойного потока (как полагал Невесский). Перенос обломочного материала (резко начавшийся и столь же резко закончившийся) от корня косы на 3.5 км к северо-западу невозможно объяснить ни прибоем, ни штормами, ни течениями в проливе. Он мог осуществиться только мощным цунами.

Остается прояснить вопрос о возрасте события. Уже Невесский по косвенным данным оценивал время возникновения косы в 1–2 тыс. лет назад [11]. Теперь это можно уточнить. Экстраполяция скорости накопления нижних алевритов примерно 5–7 мм/год позволяет оценить возраст их верхней границы на глубине 5 м в ~2.4 тыс. лет назад, а верхней границы илов (с учетом замедления скорости их отложения) — в  $2.0 \pm 0.15$  тыс. лет назад. Единственным природным событием в регионе на рубеже веков было сильнейшее землетрясение 63 г. до н.э.

В определении высоты цунами главное — не высота косы, ибо она незначительна, всего 0.5–1.5 м над современным уровнем моря. Пески мощностью около 2 м могли быть наброшены волной, по меньшей мере в два (если не в три) раза большей. Надо учесть и разницу положения уровня моря ныне и 2 тыс. лет назад — она составляет около 3–3.5 м. Вот и «набегает» волна нешуточная.

**Юго-восток.** Греческий город Фанагория, основанный в 540 г. до н.э., неоднократно разрушался сильными землетрясениями. Значительная его часть ушла под воду из-за постоянно повышающегося уровня моря, что установлено еще в довоенное время подводными археологическими обследованиями. Один из подводных раскопов дает уникальную возможность понять причины разрушений по особенностям повреждений [8].

Раскоп выполнен с помощью гидромониторов вблизи бывшей границы города на расстоянии 185 м от современного берега. Ныне глубина там составляет около 2 м. Выемка на этой глубине под культурными слоями вошла в естественный грунт не менее чем на 0.5 м. В основании серии культурных слоев залегал развал мостовой из крупного булыжника. Перекрывающий материал содержал обломки керамической посуды и амфор от V по III в. до н.э. Над этим горизонтом, на глубине 1.3 м от дна, найдены остатки другой мостовой, а в вышележащих отложениях обнаружены суглинки с камнями и керамика IV–II вв. до н.э. Они, в свою очередь, перекрывались булыжной мостовой, «видимо, II в. н.э.». Поверх не потревоженных морем слоев лежал «пласт намывного песка с обломками керамики от V до II вв. до н.э.» толщиной 0.65 м, т.е. возникший за счет перемыва ранних культурных горизонтов [8].

Все обнаруженные мостовые с V по II (как минимум) в. до н.э. разрушены: две представляют собой развалы, одна — остатки. Такой эффект на ровной пологой поверхности не мог возникнуть ни в результате абразии, ни из-за оползней или ураганов. Сравнение множества свидетельств, обнаруженных при археологических раскопках городов и селений, показало, что определенное больше полувека назад время постройки мостовых согласуется с ныне полученными датами разрушительных землетрясений, а именно 500, 275, 63 гг. до н.э. [3, 4].

Во внутреннем, мелководном Таманском заливе с плоскими низменными берегами (в надводной и подводной частях) переувлажнение всех прежних культурных горизонтов (да с обломочным материалом и с набросом толщиной 0.65 м) никак не мог возникнуть в обычных условиях. Разрушающая способность и подъемная сила воды в таких обстоятельствах минимальны даже при штормах. Только мощное цунами высотой в несколько метров способно при накате на берег по пути вырвать со дна такой грунт, перемешать его и выбросить на отмель.

Эпицентральная область землетрясения 63 г. до н.э. располагалась в 20–25 км от развалин г.Фанагория (по прямой линии, по открытой воде без каких-либо препятствий). Объяснять наблюдаемые при раскопках признаки именно таким образом вполне резонно. Кстати, как мы знаем по другим фактам, 2 тыс. лет назад уровень моря располагался примерно на 3 м ниже современного, а место раскопа и верхний переувлажненный горизонт в нем находились у кромки берега. Для переброса минеральной массы толщиной 0.6–0.7 м вряд ли достаточно цунами высотой менее 2–3 м.

**Восток.** На топографической карте масштаба 1:100 тыс. в Таманском заливе и на подходе к нему с запада выделяются несколько возвышений дна (отмелей), вытянутых практически перпендикулярно берегам. Западные отмели — овалы, а восточные (уже внутри залива) представляют цепочку узких, полосовых возвышений (банок). Эти образования издавна определены в качестве двух древних кос. Главная из них — Маркитанская.

У входа в Таманский залив банка на юге простирается строго меридионально. Севернее же она меняет направление на С-СВ–25°. Относительная ее высота над ровным дном составляет 2.6–3.0 м. Примечательно, что восточный склон банки несколько короче, выше и круче, а за ним располагается округленная впадина глубиной 6–7 м. Современные гидродинамические условия в столь мелководном заливе очень спокойные. Вихревые струйные течения здесь (как и в Динском заливе) способны переносить мелкую взвесь, но не песок. Даже в более глубокой осевой части Керченского пролива с повышенными скоростями потоков осажается только иловый материал. Это установлено постоянным опробованием дон-

ных отложений на трассах искусственных судоходных каналов.

Меридиональные возвышения в Таманском заливе с указанными особенностями логично считать реликтовыми (законсервированными). О строении банок сведений пока нет. Но нет сомнений, что они представляют собой геологически молодые аккумулятивные образования. Диспозиция же их весьма странная и ставит исследователя в тупик. Волнение, течение, вздутие поверхности дна — все эти процессы не подходят для объяснения. Неслучайно коса возникла именно у входа в залив, где ширина бассейна к востоку резко сужается, и так же неслучайно она протягивается именно поперек залива с торцевым примыканием к берегам. Так бывает при внезапных паводках на горных реках, при селевых потоках в долинах, когда передовой вал идет фронтом. Так набрасываются в заливы цунами. В местах резких сужений при сохранении глубины водоема скорость движения водной массы резко падает, а затем возрастает. Часть влекомого и взвешенного материала при этом оседает на дно.

Чтобы понять способ и время образования возвышений и сопоставить с ситуацией на лучше изученном южном побережье залива, целесообразно рассматривать поперечную косу при уровне моря на 3–4 м ниже современного, каким он был перед началом новой эры. В то время коса долина была выступать над водой на 1.5–2.5 м.

Особенности поперечных песчаных валов можно объяснить поступлением песков с запада и движением оттуда же мощных потоков воды, способных создавать разного масштаба аккумулятивные формы. Только крупный водный вал способен перенести и сгрузить огромные массы песка поперек залива.

**Северо-восток.** Коса Чушка. Ее надводная часть длиной 18 км вытянута с северо-востока на юго-запад в виде слабовыпуклой к востоку дуги. Бросается в глаза резкое отличие планиметрии косы и ее северо-восточной части. В среднем и южном отрезках (как раз напротив Керчи на западном берегу пролива) коса расширяется к востоку, где в воду выступают мелкие песчаные валы. Они образуют необычную оторочку в виде бахромы. Еще в середине XX в. признавали, что возникновение косы происходило за счет наращивания длины к юго-западу. Но никаких признаков изменения размера и формы мелких валов-полуостровов на восточном побережье косы не отмечалось. В этой, закрытой с трех сторон, части Динского залива течения как фактор перемещения песчаных наносов рассматриваться не могут. Этому противоречат и мелководность залива (всего 0.4–2.0 м), и несоответствие «загиба» мелких полуостровов направлению течения (против часовой стрелки), если все-таки его здесь допустить. Валы невозможно признать и эоловыми, ибо нет ветрового переноса через осевую часть косы с за-

пада (а только там и появляются песчаные наносы). В Динском же заливе, восточнее косы Чушки, судя по разрезам в скважинах, донные отложения представлены мощной толщей илов.

Остается единственное мыслимое объяснение: признать кратковременное воздействие стремительного потока, который, захватив со дна массы песка, переметнулся через косу Чушка. Водный поток перенес и частично оставил груз песка с ракушей на восточном склоне, необычно расширив существовавший цоколь косы и выбросив материал в виде оторочки-бахромы. Единая, соразмерная композиция мелких гряд-полуостровов тыловой части косы в полузамкнутом мелководном пространстве заставляет предполагать ее возникновение при едином же могучем горизонтальном воздействии. Какое из воздушных или водных возмущений могло создать столь своеобразную и закономерную систему? Ураган? Шквал? Падение астероида? Шторм необычайной силы? Таким мощным потоком могло быть только цунами. Это подкрепляется и другими признаками. Так, за косой пески небольшим слоем залегают на лиманных илах и частично — на сопочной брекчии грязевого вулкана Блевака. Попасть на восток они могли только с косы, и ниоткуда более.

Важно принять во внимание литологические характеристики и хроностратиграфию придонной части разрезов в проливе и под самой косой. П.В.Федоров приводит схематический геологический разрез донных отложений Керченского пролива от западного берега до косы Чушка [18, рис.1]. На нем по кернам девяти скважин отражена последовательность трех выделенных горизонтов. Нижний, карангатский горизонт (120–80 тыс. лет назад) занимает все днище пролива, резко увеличиваясь в мощности ( $\geq 14$  м) под косой Чушка, причем нижняя его граница остается горизонтальной. Следовательно, именно широко распространенные мощные (до 10 м) карангатские разнозернистые пески с ракушей под восточной частью дна Керченского пролива могли стать источником материала для формирования двух вышележащих горизонтов: среднего — примыкавшего к бывшему восточному берегу, и верхнего — полностью перекрывшего всю впадину пролива.

Строение и характер слагающих косу накоплений изучены по кернам из скважин. Наиболее информативен разрез в скважине №11 к востоку от порта Кавказ с устьем на абсолютной высоте  $\leq 1$  м выше ур. м. [12]. От поверхности дна до глубины

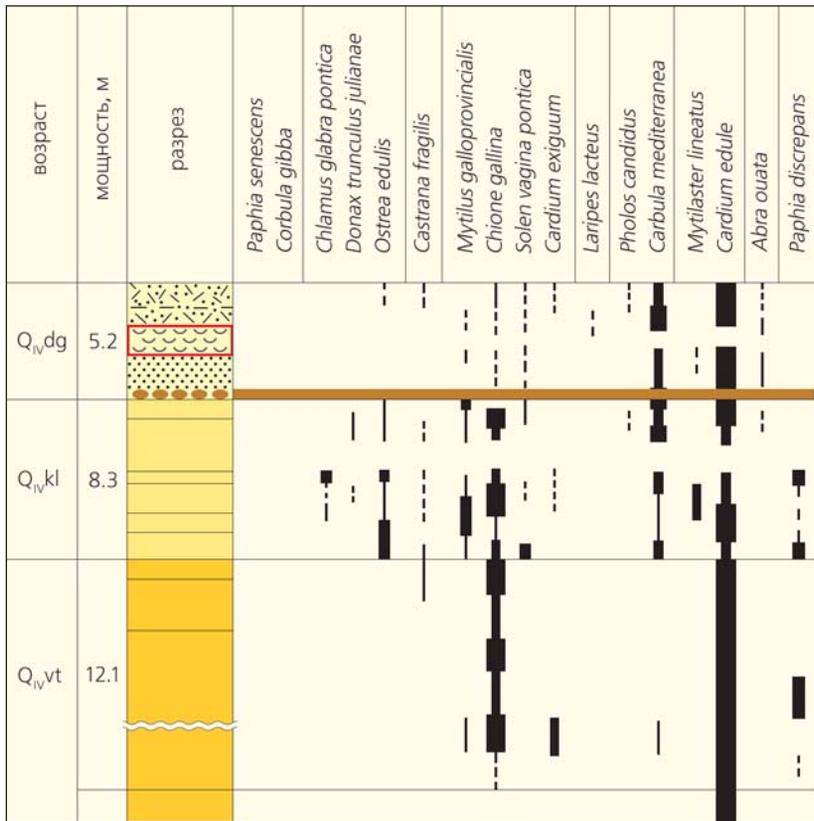


Западный берег косы Чушка, севернее порта Кавказ. Хорошо видны современные накопления за искусственным боном.

5–6 м (скважины 11, 16) отчетливо выделяется самая молодая серия осадков. Ее нижняя граница маркируется галечным прослоем, перекрывающим алевриты (новочерноморской трансгрессии), явно указывающим на резкую смену условий осадконакопления. Нижняя часть серии (2/5 общей толщины, т.е. 2–5 м) состоит из мелкозернистых кварцевых песков. Выше их покрывает прослой (0,4 м) ракушечника, на котором горизонтально залегают снова мелкозернистый песок, но с обильным раковинным детритом (т.е. переотложенным). Все литолого-фациальные разности, без сомнения, — морские, бассейновые. Здесь на несколько километров во все стороны в скважинах галечно-гравийных отложений не зафиксировано. Материал сюда мог быть принесен только весьма мощным, высокоскоростным водным потоком, распространявшимся по плоскому днищу.

Верхний горизонт мелкозернистого песка наполовину выходит на поверхность к косе, тогда как нижняя граница серии (галечный базальный слой) к западу от косы опускается под дно, в ложбину глубиной 2 м, которая на современном дне не выражена. Молодые отложения на западном склоне косы имеют параллельные контакты и одинаковую (около 6 м) мощность, что трудно истолковать как показатель постепенного, длительного, происходящего за счет абразии наброса осадков. Скорее, это результат двух внезапных одновременных (разделенных пропластком ракуши) сильных водных накатов.

Вся серия отложений рассматривается в качестве современных осадков (новочерноморской трансгрессии, которая началась, как полагали, 4,5–3,5 тыс. лет назад) [12, 19]. Позднее основание



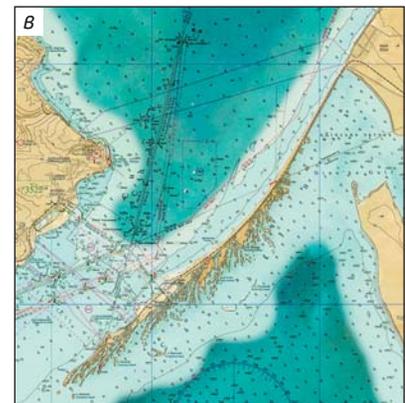
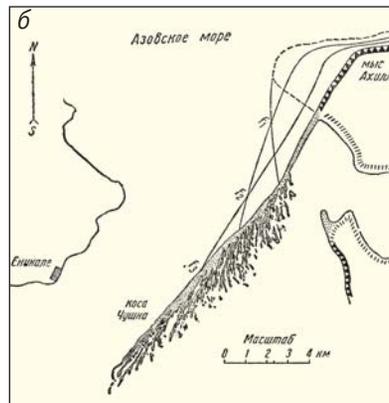
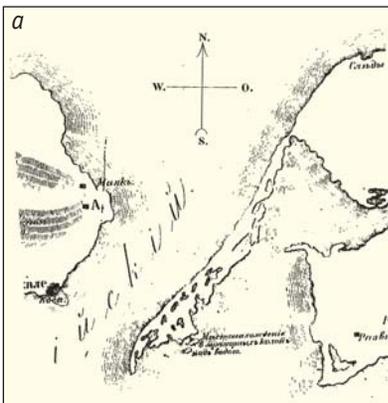
Разрез голоценовых отложений на косе Чушка (по скважине 11) и их фаунистическая характеристика [12]. Коричневым цветом показана нижняя граница джеметинских, позднеголоценовых слоев с галечным базальным слоем (Q<sub>IV</sub>dg), красным — ракушечный прослой посередине.

этой серии получило датировку 2.63 тыс. лет назад (по <sup>14</sup>C), тогда как верхняя часть подстилающих новочерноморских глин в проливе датирована 6.5 тыс. лет назад [20]. В скважине 11 она выделяется как совсем молодая.

Таким образом, можно констатировать резкое изменение условий осадконакопления в северной

части Керченского пролива в позднем голоцене дважды. Сначала опускание (или врезание) полосы на дне вблизи косы Чушка и образование (сразу?) галечного прослоя. В дальнейшем происходило длительное спокойное накопление мелкозернистых песков. Следующая трансформация условий маркирована прослоем (0.4 м) ракушечника — основанием современной косы. Так открылась возможность соотносить дальнейшие события в проливе и на косе с независимо фиксируемыми признаками хронолито-стратиграфии, с одной стороны, и археологическими материалами по истории греческих городов по берегам пролива — с другой. Находка в воде, в восточной части косы, шести поваленных колонн античного храма (святилища покровителя моряков Ахилла?) дает основание полагать, что в близком к современному виде коса существовала уже в ранней античности. Судя по архитектурному стилю, храм возвели не позднее IV или второй половины III в. до н.э.

Сложно представить, чтобы построенный на песке античный храм устоял при сильном землетрясении 225 г. до н.э. Если же храм был воздвигнут (или восстановлен) позднее, то тем более при следующем (в 63 г. до н.э.) событии он должен был разрушиться. И тот факт, что столь ценные и обычно использовавшиеся вторично архитектурные элементы остались на месте у единственной ожив-



Абрис и карты косы Чушка; а — карта П.Дюбрюкса (первая треть XIX в.), у восточной стороны косы надпись «местонахождение 6 мраморных колонн под водой»; б — топографическая карта 1942 г., F1, F2, F3 — последовательные стадии срезаания абразией западного края косы (реконструкция В.П.Зенковича); в — современная гидрографическая карта.

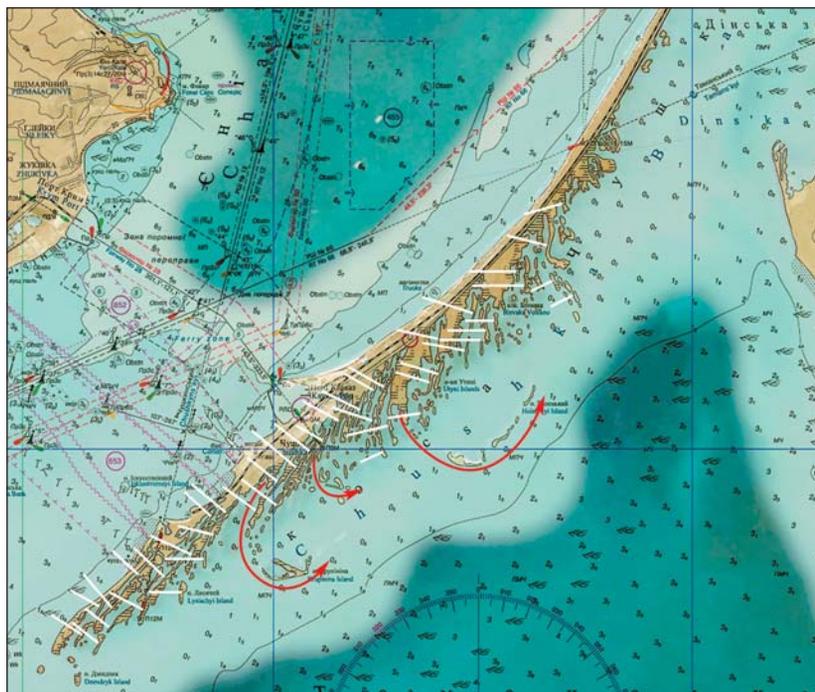
ленной дороги к переправе, можно понять, предположив, что колонны были засыпаны песком еще задолго до того, как уровень моря достиг храмовых развалин.

Со стороны осевой части пролива под водой основание косы выделяется в виде полосы, ограниченной изобатой 3 м. Она оконтуривает цоколь косы (подиум) шириной 1.0–1.5 км. Сама же коса в надводной части тянется здесь точно посередине цоколя полосой шириной всего в несколько сотен метров. Изобата 3 м соответствует уровню моря на рубеже эр. Этим определяется время возникновения косы в близком к современному виде, с множеством мелких валов на восточной стороне — «бахромой» на основном теле.

Среднеголоценовое основание косы представляет собой типичное, длительно развивавшееся образование, которое нарастало в длину за счет выноса течениями в Керченский пролив с суши материала с северного, усиленно абрадируемого берега Тамани. Оперение косы валами с востока — образование вторичное, более молодое, сформировавшееся, вероятно, около 2 тыс. лет назад. Если западный ровный край косы Чушка вполне мог подвергаться абразии, то восточный никак под такое явление не подпадает.

Первая пертурбация в северной части пролива (когда возникли условия для создания подиума будущей косы) случилась около 2.5 тыс. лет назад. Вторая — во время заселения греками берегов Босфора Киммерийского. Поскольку за последние 2.5–2 тыс. лет уровень Черного моря повысился на 3–4 м, а поверхность косы не превышает 0.7–1.2 м над современным уровнем моря, можно полагать, что ее формирование в основном происходило в подводных прибрежных условиях. Процесс спокойного накопления прервался около рубежа эр приносом ракушняка с песком на место подиума будущей косы. Затем на новом экотипе последовало накопление перекрывающей песчаной толщи — смеси песка с битой (т.е. переотлажавшейся в прибрежных условиях) ракушей.

Расширенный, с «бахромой» на восточной стороне, сектор косы ныне протягивается примерно на 10 км. Валы-полуострова («махры», «шнурки») и разделяющие их заливчики вдоль косы с северо-востока на юго-запад меняют ориентировку с разворотом против часовой стрелки (от меридиональной) на 30–40°. Основное же тело косы откло-



Коса Чушка. Юго-западная часть с «бахромой» мелких пальцеобразных полуостровов и заливов. Белыми линиями намечены перпендикуляры к простирающему «шнурков бахромы». Красными стрелками показаны наиболее сильные (до обратной направленности) изгибы «шнурков бахромы».

няется всего на 5–10°. Принимая возникновение «шнурков» за результат мощного цунами, определяем вектор движения фронта волны как перпендикуляр. На центральной отрезке косы он направлен с запада на восток, а на юго-западном — с северо-запада на юго-восток. Первый отрезок приходится на широту северного входа в основное сужение Керченского пролива, второй — на расширение пролива напротив Керченской бухты. Это важный признак для определения источника цунами.

При внимательном рассмотрении подробной карты обнаруживается не только компактность «бахромой», но и внутренняя организованность исключительно изрезанной береговой линии. Она проявляется в закономерной вытянутости узких полуостровов и заливчиков между ними и еще больше — в согласованном развороте тех и других элементов от южного направления до северо-восточного и даже северного. Получается своего рода веер. Истолковать такие развороты насыщенного песком и по пути его теряющего водного потока можно резкой потерей живой силы сразу при преодолении основного возвышения на главной косе и затем растекания в свободной акватории к северу (в сторону современного Динского залива). Закономерная картина при распространении цунами.

А что же относительно северной части косы Чушка — узкой, плоской, скучной? Там никаких следов водного вала обнаружить не удалось.

А в 1.5 км севернее основания косы, у окраины пос.Ильич, на террасе высотой около 2 м выходят пески и супеси с пресноводными моллюсками, вложенные в карангатские слои. Те и другие перекрыты лессовыми суглинками [12] — накоплениями континентального генезиса. Похоже, здесь (да и на севере косы) водного вала не было (!).

\* \* \*

Итак, в первом приближении (уже в первой части статьи) по нескольким участкам обнаружива-

ем обширное распространение цунами в Керченском проливе: на юге — с выбросом в Черноморский бассейн, на востоке — перекрытие Таманского и Динского заливов, к северу — до широты середины косы Чушки. Везде накат волны оценивается по силе и высоте как нешуточный. Восточный полукруг замкнулся.

Первый айсберг материалов откололся и рухнул в воды пролива. Следующий навис. Во второй части он сорвется и вздыбит воды пролива еще пуще, ибо провалится его дно. ■

**Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-05-00727а).**

## Литература

1. *Soloviev S.L., Solovieva O.N., Go C.N. et al.* Tsunamis in the Mediterranean sea 2000 B.C. — 2000 A.D. Dordrecht, 2000.
2. *Никонов А.А.* Цунами на берегах Черного и Азовского морей // Физика Земли. 1997. №1. С.86–96.
3. *Никонов А.А.* Сейсмический потенциал Крымского региона: сопоставление региональных карт и параметров выявленных событий // Физика Земли. 2000. №7. С.53–62.
4. *Никонов А.А.* Сейсмогеодинамика Крымского региона (по материалам за 2.6 тыс. лет) // Матер. XLVIII Тектонич. совещ. Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. М., 2016. Т.2. С.43–48.
5. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М., 1977.
6. *Никонов А.А.* Палеоцунами на российских берегах Черного моря: первые обнаружения, геологические признаки и аргументы // Геология морей и океанов. Матер. XXI Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии. М., 2015. Т.1. С.191–195.
7. *Башкиров А.С.* Антисейсмизм древней архитектуры. Юг СССР. Т.ХIV. Вып.2. Калинин, 1948.
8. *Блаватский В.Д.* Античная археология и история. М., 1985. С.167–172.
9. *Блаватский В.Д.* Землетрясение 63 г. до н.э. на Керченском полуострове // Природа. 1977. №8. С.56–57.
10. *Багрий И.Д., Почтаренко В.И., Аксьом С.Д. и др.* Особенности литодинамических процессов и вещественного состава донных отложений в прибрежной части о.Коса Тузла Керченского пролива // Геология Украины. 2008. №1–2. С.99–110.
11. *Невесский Е.Н.* К вопросу о новейшей черноморской трансгрессии // Тр. Ин-та океанологии. Т. XXVIII. 1958. С.23–29.
12. *Попов Г.И.* Новые данные по стратиграфии четвертичных морских отложений Керченского пролива // ДАН АН СССР. 1973. Т.213. №4. С.907–910.
13. *Поротов А.А., Мысливец В.И., Зинько В.Н. и др.* Развитие рельефа побережья Керченского пролива в районе мыса Камыш-Бурун в позднем голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2014. №2. С. 41–48.
14. *Свиточ А.А., Дикарев В.А., Янина Т.А. и др.* Материалы комплексной обработки скважины МГУ-02 (коса Тузла) // Черноморский регион в условиях глобальных изменений климата: закономерности развития природной среды за последние 20 тыс. лет и прогноз на текущее столетие. М., 2010. С.123–153.
15. *Федоров П.В., Скиба Л.А.* Колебания уровней Черного и Каспийского морей в голоцене // Изв. АН СССР. Сер. географическая. 1960. №4. С.25–34.
16. *Шнюков Е.Ф., Аленкин В.М., Путь А.Л. и др.* Геология шельфа УССР. Керченский пролив. Киев. 1981.
17. *Беренбейм Д.Я.* Керченский пролив во времена Страбона в свете новейших данных об изменении уровня Черного моря // Сов. археология. 1959. №4. С.42–52.
18. *Федоров П.В.* Новые данные о стратиграфии четвертичных отложений дна Керченского пролива // Бюлл. комис. по изуч. четв. периода. 1974. №42. С.138–142.
19. *Попов Г.И., Супрунова Н.И.* Стратиграфия четвертичных отложений дна Керченского пролива // ДАН АН СССР. 1977. Т.237. №5. С.1152–1154.
20. *Скиба С.И.* Особенности литогенеза позднечетвертичных и современных отложений Керченского пролива // Изв. вузов. Геология и разведка. 1978. №12. С.38–43.

# Юрские динозавры Забайкалья

В.Р.Алифанов, С.В.Савельев

Открытие динозавров в Кулинде (верхняя юра) в Забайкалье была посвящена первая часть статьи. В ней также рассказывалось о политике местных ученых, которая привела к формированию двух параллельных программ изучения, о противоречиях и просчетах в изучении ископаемых остатков, о конкретных видах из нового местонахождения и об особенностях эволюции групп, к которым они принадлежат. Однако тема этим не исчерпывается. Важно обсудить проблему возраста отложений, откуда извлечены ископаемые остатки древних пресмыкающихся, оценить строение необычных покровных образований, которые встречаются в местонахождении, и гипотезы о происхождении пера. Находки из Кулинды дают также повод задуматься над проблемами классификации крупнейших таксономических групп динозавров.

## Неизвестная страница летописи

Состав комплекса ископаемых из конкретного местонахождения позволяет охарактеризовать его в качестве или типичного, или уникального. В первом случае данные можно использовать как аргумент для оп-

Продолжение; начало см. в предыдущем номере (Природа. 2016. №4. С.35–44).

© Алифанов В.Р., Савельев С.В., 2016



**Владимир Рудольфович Алифанов**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Палеонтологического института имени А.А.Борисяка РАН. Специалист в области морфологии, филогении и систематики ископаемых пресмыкающихся.



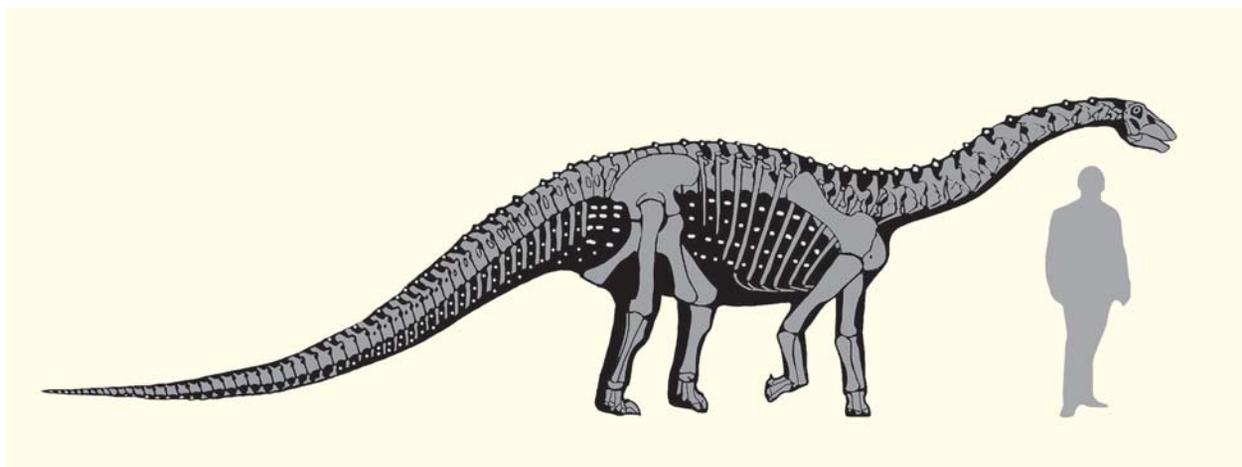
**Сергей Вячеславович Савельев**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией развития нервной системы Института морфологии человека РАН. Область научных интересов — эмбриология и патоморфология нервной системы животных и человека, механика развития, зоопсихология и палеоневрология.

**Ключевые слова:** палеогерпетология, биостратиграфия, палеоэкология, происхождение перьев, филогения.

**Key words:** palaeoherpetology, biostratigraphy, palaeoecology, origin of feathers, phylogeny.

ределения стратиграфического возраста вмещающих органические остатки пород, а во втором появляется возможность говорить о неизвестной вехе ископаемой летописи. Такая веха может стать основой для региональных или более широких фаунистических, биостратиграфических и палеобиогеографических сравнений в дальнейшем. Однако чаще всего тот или иной комплекс интегрировать в существующие стратиграфические схемы даже узкорегionalного масштаба непросто. Неопределенность — следствие ограниченного количества данных. Именно неопределенный характер носили до недавнего времени находки из отложений укурейской свиты.

Ранее укурейскую свиту датировали и ранним мелом, и поздней юрой в целом или только ее началом. Есть результаты радиоизотоп-



Контурная реконструкция внешнего вида (с вписанным в нее скелетом) архаичного титанозаврообразного завропода. Белыми пятнами показано предположительное положение остеодерм.

Здесь и далее рисунки В.Р.Алифанова

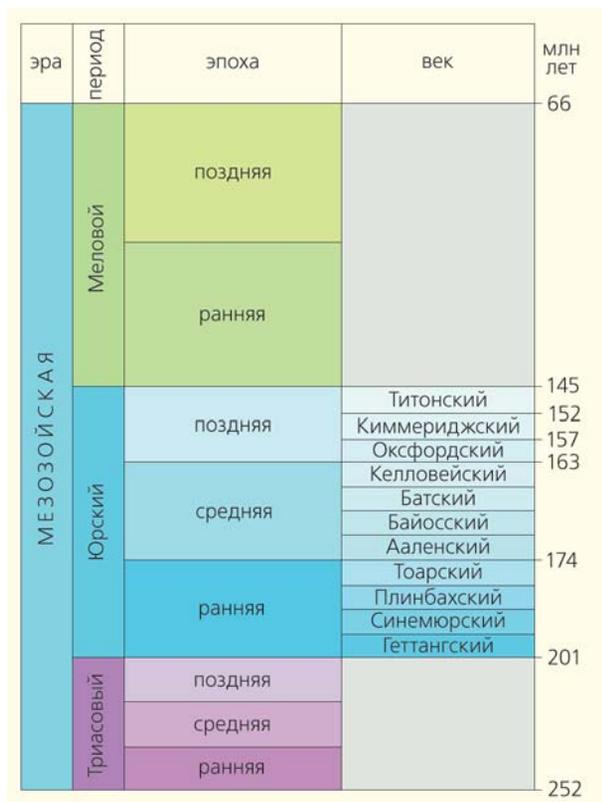
ного датирования К-Аг-методом. Они показывают возможность образования укурейских отложений в интервале от 169 до 144 млн лет назад, т.е. в стратиграфическом диапазоне от средней юры до начала раннего мела, что практически ничего не добавляет к имеющейся палитре мнений.

Решить весьма старый научный спор помогают находки динозавров из Кулинды, которые принад-

лежат, как говорилось в первой части, представителям семейств гипсилофодонтид и джехолозаврид (орнитоподы), а также нквебазаврид (орнитомимозавры). Для более полной характеристики герпетофауны, установленной на сегодня в данном местонахождении, следует отметить еще один ее элемент. Это титанозавры (Titanosauria), относящиеся к группе завропод (Sauropoda) в составе ящеротазовых динозавров (Saurischia). Первые титанозаврообразные ящеры появились в самом конце юрского периода и достигли большого разнообразия в мелу. В Кулинде находки этой группы представлены покровными окостенениями — остеодермами — в виде характерных округлых пластин, пронизанных отверстиями. В ранних сборах этих материалов не было, но оказалось возможным сделать определение по еще не опубликованным фотографиям образцов из сборов 2014 г.

Теперь можно кратко обсудить датировку слоев укурейской свиты (содержащих местонахождение Кулинды), используя определения состава фауны динозавров. Тому, что они образовались в течение раннего мела, противоречат находки гипсилофодонтид, которые отсутствовали в то время на Азиатском континенте. Аргумент против отнесения к средней юре и даже к началу поздней юры — остатки таких эволюционно молодых групп, как титанозавры, орнитомимозавры и джехолозавриды. Итог представляется следующим: комплекс кулиндийских динозавров, с одной стороны, уникален, а с другой — носит переходные черты от типично юрских к типично раннемеловым. Скорее всего, он существовал в самом конце поздней юры, т.е. в течение титонского века.

Если не брать в расчет отдельные и редкие находки, то комплексов наземных позвоночных такого возраста в Центральной Азии нет. Таким образом, главное значение материалов из местонахождения Кулинды — это частичная ликвидация пробле-



Упрощенная геохронологическая шкала мезозоя.

ла в палеонтологической летописи большого региона, приходящегося на рубеж юры и мела. Интересно, что коллеги из параллельного проекта, связанного с изучением кулиндинской фауны, не смогли склониться ни к одному из конкретных вариантов оценки возраста укурейской свиты и предпочли остаться в рамках неопределенной радиоизотопной датировки, отказавшись без объяснения причин только от раннемеловой части показанного ею интервала.

Меньше всего противоречий в рамках двух проектов содержится в реконструкции условий жизни кулиндийских динозавров.

Остатки ящеров погребены в озерных отложениях с характерной для них однородностью и мелкозернистостью. На характеристики водоема и состав осадка влияла периодическая вулканическая активность в районе образования местонахождения. Сохранение покровных структур вместе с костями указывает на восстановительные условия среды в осадке и быстрое захоронение. Редкость сочлененных элементов скелета свидетельствует о том, что тела погибших животных перед погребением подвергались мацерации (т.е. разрушению мягких тканей) и недалекому переносу (вероятно, из береговой зоны) к месту захоронения. Озеро было обширным, местами мелководным. Его берега частично зарастали мхами и хвощами, а кое-где — крупноствольными деревьями.

Растительность, несомненно, давала убежище и пищу двуногим орнитоподам. Кормом служили как вегетативные (стебли, листья), так и генеративные (т.е. связанные с размножением — соплодия, семена) части голосеменных (кейтониевых, чекановских, гинкговых и др.) растений, которые доминировали в юрское время. Вряд ли динозавры обходили вниманием беспозвоночных животных, особенно насекомых и их личинок, находки которых либо обнаружены в самой Кулинде, либо известны из отложений укурейской свиты и ее возрастных аналогов в других районах Забайкалья. Для хищных динозавров объектом охоты кроме насекомых, несомненно, были рыбы, земноводные, ящерицы и другие мелкие позвоночные, о которых нам лучше известно по находкам из упоминавшегося в первой части статьи местонахождения Аулие (Каратау) в Южном Казахстане.

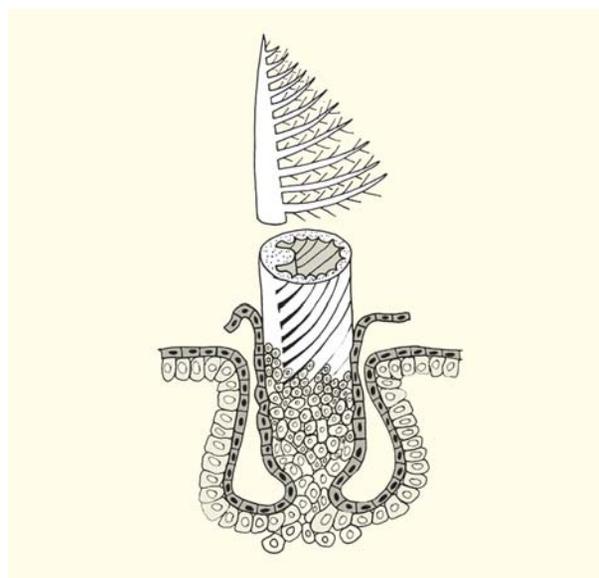
## Проблема происхождения пера

Ключевая идея ныне действующей системы взглядов на эволюцию динозавров — родство теропод (хищных динозавров) и птиц. Она многократно обсуждалась и ранее, но особенную убедительность приобрела в связи с открытиями, начавшимися примерно четверть века назад в Северо-Восточном Китае. Там, особенно в провинции Ляонин, довольно широко распространены континентальные отложения раннемелового возраста, в кото-

рых время от времени обнаруживаются скелеты представителей разных групп теропод с остатками покровов в виде удлинённых придатков, в том числе перьев птичьего типа. Подобные открытия привели к появлению концепции *оперенных динозавров*, а также актуализировали вопросы о первоначальной функции и происхождении пера.

Перо — это особый тип покровных образований. Оно имеет цилиндрическое основание, или очин, переходящее в стержень, поддерживающий опахало. Последнее составлено из сцепленных друг с другом бородачек. Иногда признаки типичного строения пера меняются. Например, вместо опахала может формироваться пуховой, щетиноквидный или нитевидный вариант. Большое морфологическое разнообразие перьев определяет и их связь с разными функциями: защитной, демонстрационной, механорецепторной, термоизоляционной и локомоторной. Если первые три функции имеют дополнительное значение, то последние две — основные, поскольку связаны с машущим полетом. Новые исследования показывают, что некоторые динозавры также летали с помощью оперенных крыльев, но, в отличие от птиц, их полет носил планирующий характер. Что касается других функций динозавровых перьев в сравнении с птичьими, то сомнение вызывает только способность к эффективной термоизоляции, поскольку в специализированном виде она, скорее всего, возникла с развитием пухового слоя под кроющим оперением. Такое сочетание покровных элементов у динозавров выявить пока не удалось.

Следует также сказать о проблеме гомологии пера. Традиционно его происхождение ведут от чешуи рептилий, поскольку на самом начальном



Схематическое изображение пера современных птиц. Основание, или очин, всех модификаций пера — это полая цилиндрическая структура.

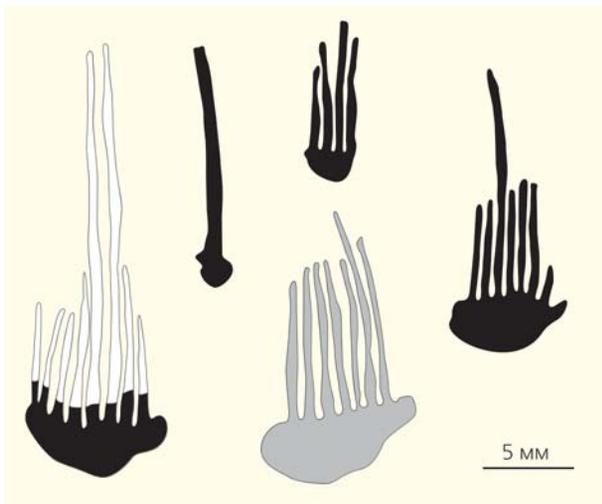
этапе зачаток пера оформляется как чешуя пресмыкающихся. Далее развитие приводит к погружению вглубь кожи краев чешуйки, где они захватывают внутрь себя участок мезодермы с сосудами, образуя так называемый сосочек. Через него затем будут поддерживаться ростовые процессы. Верхняя часть внутреннего слоя будущего пера дифференцируется на серию выступающих внутрь гребней, участвующих в образовании бордоков. Очевидно, что на пути эволюционного становления пера произошел ряд эмбриональных и морфологических преобразований. Однако их сущность и последовательность возникновения остаются загадкой и обычно объясняются в соответствии со стадиями, наблюдаемыми при формировании пера у современных птиц.

Палеонтологические данные пока что не вносят ясности в этот вопрос, хотя новые материалы достаточно разнообразны и в некоторых случаях весьма примечательны. Например, у ляонинских теропод отмечается около 10 морфотипов перо-

образных структур. Большая их часть имеет стержень и напоминает пух или перо птичьего типа, а меньшая включает структуры, которые иногда называют нестержневым пером. В числе последних преобладают нитевидные или волосовидные образования, получившие название «протоперо». Еще один нестержневой вариант — это пучки волокон с общим основанием; его иногда разделяют на два типа: с параллельными или с расходящимися нитями. Связь стержневых и нестержневых структур друг с другом остается невыясненной. Длинные нестержневые покровные производные встречаются не только у теропод, но также и у двух групп птицетазовых динозавров: пситтакозаврид [1] и гетеродонтозаврид [2]. У первых они толще и длиннее, чем у теропод, а у вторых выглядят как типичные протоперья.

Понятно, что обозначение всего многообразия удлинненных покровных образований «перьями», обычное в нынешней литературе и принимаемое также авторами описания «кулиндядрома», ведет к размыванию строгого определения пера как структуры, имеющей прежде всего стволонидное цилиндрическое основание. В указанном, предельно широком, использовании этого термина, несомненно, отражается отмеченное выше отсутствие ясной концепции становления настоящего пера, а также неоднозначность представлений о том, какую роль в этом процессе могли играть (если играли) те или иные варианты древних пероподобных структур.

Между тем пролить свет на некоторые тайны происхождения пера и, в первую очередь, его стволонидного основания, помогает изучение строения кожных производных орнитопод из Кулинды. Они представлены небольшими уплощенными чешуями (шириной от 2 до 6.5 мм), внешне напоминающими по строению типичную чешую пресмыкающихся. Однако от их внешнего края отходит серия отдельных полосок, или щетинок, шириной 0.1–0.3 мм и длиной до 70 мм. Такого рода образования мы предложили называть щетинковой чешуей [3–5]. Среди них встречаются варианты с 3–8 щетинками. Есть и монощетиноквая чешуя, соответствующая протоперу. В целом щетинковые чешуи напоминают нестержневые покровные придатки теропод, но отличаются тем, что соседние нити (щетинки) уплощены и немногочисленны. Данные об изолированном захоронении щетинковых чешуй, о разной длине щетинок, иногда об их цветовом контрасте с основаниями чешуй наводят на предположение, что покровные образования у кулиндийских орнитопод обладали пролонгированной фазой роста, были частично погружены в дерму и могли выпадать при линьке. Такие признаки свойственны и птичьему перу. Но у щетинковой чешуи из Кулинды нет стержневого основания, составляющего, как уже было сказано, ключевую характеристику настоящего пера.



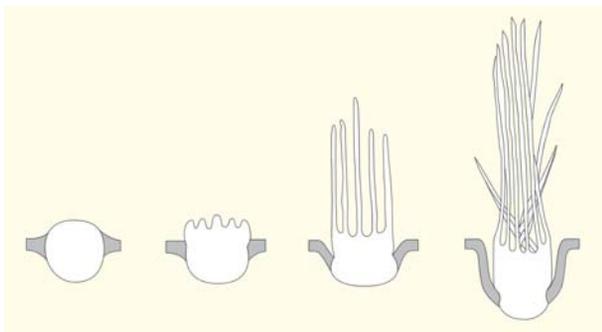
Кости передней конечности с прилегающим к ним полем покровных образований и прорисовка моно- и полищетиноквых вариантов строения отдельных щетинковых чешуй. Двухцветная окраска некоторых чешуй свидетельствует о возможной погруженности части чешуи в дерму.

Здесь и далее фото С.В.Савельева

Моно- и полищетиновые модификации нестержневых перьев, которые отмечаются также и у кулиндийских орнитоидов, наводят на мысль, что это морфологические вариации особого типа — его нельзя свести к простой чешуе пресмыкающихся, но нельзя и принять за настоящее перо. Иначе говоря, нестержневые образования представляют собой некую промежуточную стадию между чешуей пресмыкающихся и пером птиц. Такой взгляд на обсуждаемые структуры в литературе отчетливо еще не прозвучал.

Остается вопрос, какой именно нестержневой вариант стал основой для происхождения настоящего пера. До сих пор предпочтение отдавалось монощетиновому протоперу, которое стало известно раньше щетиновой (т.е. полищетиновой) чешуи. Нам же кажется, что перу птичьего типа предшествовал не первый, а второй вариант.

В выборе гипотезы существенно то, что среди вариаций щетиновых чешуй отмечается разная степень изгибания ее базальной части вдоль



Поле удлиненных и спутанных покровных придатков передней конечности, принадлежащих предположительно кулиндаптериксу, и схема преобразования простой чешуи в щетиновую, а щетиновой чешуи — в пухообразную структуру. Пространственное изменение строения щетиновой чешуи путем ее трансформации в трубковидную структуру может быть принято в качестве модели для происхождения настоящего пера и установления гомологии его основных элементов.

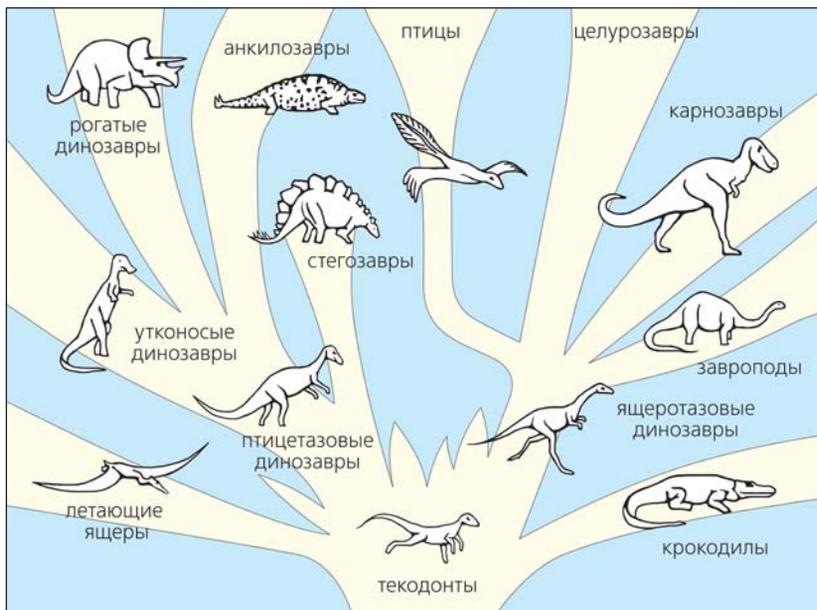
длинной оси, вплоть до образования полукольца в поперечном сечении. Логично предположить, что дальнейшее усиление этого процесса в ходе эволюции могло привести к формированию трубковидной структуры, соответствующей очину типичного пера. В этом случае щетинки, образуемые чешуями такого типа, могут быть с большей вероятностью гомологизированы с бородками пухового пера. Гипотеза происхождения птичьего пера из протопера требует гораздо большего числа допущений, за которыми реальных морфологических данных пока нет.

### Поиск «истинных» динозавров

Находки динозавров из Кулинды интересны не только тем, что могут пролить свет на решение ряда конкретных проблем в изучении некоторых групп птицеподобных динозавров и теропод, но и тем, что позволяют уточнить общие представления о путях эволюции динозавров. В качестве ключевого здесь можно выделить вопрос о том, каким образом современные данные об удлинённых покровных структурах у динозавров могут влиять на традиционные представления об основных направлениях филогенетической дифференциации этой группы, а следовательно, и на интерпретацию родственных отношений между ними. И в этом случае между двумя параллельными проектами пролегла разделительная линия.

Авторы описания «кулиндадрома» заключили, что нестержневые перья в виде протопера имели широкое распространение у динозавров, включая их самых архаичных представителей. Такой вывод означает не что иное, как распространение концепции *оперенных динозавров*, которая в первоначальном виде имела отношение только к тероподам, на всех динозавров. В наших работах также сделано похожее и напрашивающееся уже по итогам более ранних находок в Китае заключение [3—5], которое, однако, дальше птицеподобных динозавров не распространялось. За бортом этой концепции, с нашей точки зрения, следовало бы оставить прозавропод и завропод (их обычно объединяют в группу завроподоморф), для которых нет и намека на наличие каких-либо перообразных покровных придатков. Различия в оценках обнажают не сразу заметные противоречия в действующей системе представлений об эволюции макротаксонов динозавров. А на них стоит обратить внимание.

Здесь следует вспомнить, что до середины 1980-х годов динозавров нередко воспринимали как сборную группу. Сомнительной считалась непосредственная связь птицеподобных и ящеротазовых динозавров, прозавропод и завропод, что отчасти отражает схема А.Ромера [6], хорошо известного в России морфолога и палеонтолога. Впрочем, строгих доказательств филогенетического



Филогенетические связи архозавров по А.Ромеру [6]. На схеме предками архозавров и птиц указаны текодонты. Динозавры представлены двумя независимыми ветвями без упоминания прозавропод. Такая схема предполагает, что признаки сходства высших архозавров (т.е. птерозавров и динозавров) и птиц, возникли независимо друг от друга.

родства названных групп нет и сейчас. С нашей точки зрения, большое сомнение вызывает даже естественность объединения завропод и теропод в рамках таксона Saurischia (ящеротазовые динозавры), поскольку так называемая ящеротазовость (имеется ввиду ящерицетазовость), которая легла в основу характеристики самой большой подгруппы динозавров, есть по сути лишь общая примитивная (плезиоморфная) особенность, не указывающая на специфическое родство ее носителей. Такое объединение не соответствует современным

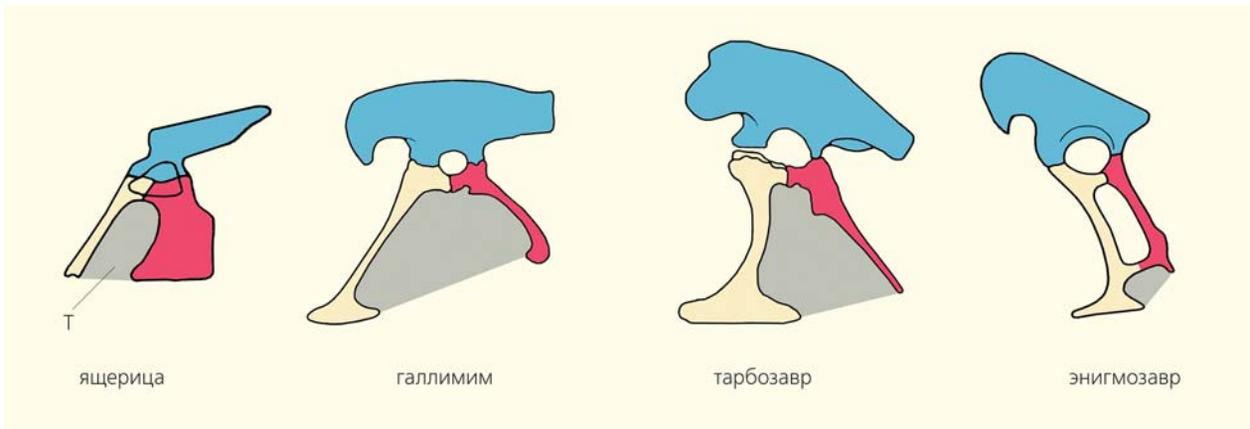
принципам систематики и филогении, подразумевающим выделение и сближение групп на основе характерных для них черт специализации.

Вместе с тем неучтенной характеристикой, а точнее, адаптацией системного уровня, т.е. затрагивающей широкий спектр морфологических преобразований (и заслуживающей внимания как возможный индикатор родства), можно считать формирование среди части динозавров способности к двуногому передвижению. Из-за отсутствия этой адаптации и сопутствующего ей комплекса признаков четвероногие завроподы, как нам представляется, должны занимать на филогенетическом древе динозавров более базальное положение, а вот тероподы и птицетазовые динозавры, в составе которых обычны облигатно-бипедальные формы, заслуживают исследования на предмет их близкого родства.

О таком родстве отчасти свидетельствуют данные строения таза. Например, для теропод и птицетазовых динозавров отмечается так называемая опистопубия, т.е. ориентация лобковых костей назад, как у птиц (что даже отмечено в названии второй группы динозавров). Не исключено, что для теропод исходной была не препубия (ориентация лобковых костей вперед), как у завроподоморф, а по крайней мере пропубия, которая означает промежуточное между пре- и опистопубией состояние. Важно и то, что у бипедаль-



Тазовые кости (вид сбоку) некоторых групп «ящеротазовых» пресмыкающихся. В середине — брахиоилический таз прозавропода текодонтозавра (*Thecodontosaurus*), который сходен с тазом текодонта эупаркерии (*Euparkeria*). Закрытый таз завропода ферганозавра (*Ferganosaurus*) отличается развитием сложного крестца и признаком долихоилия, т.е. удлиненной подвздошной костью. Обозначения костей: Л — лобковая, П — подвздошная, С — седалищная.



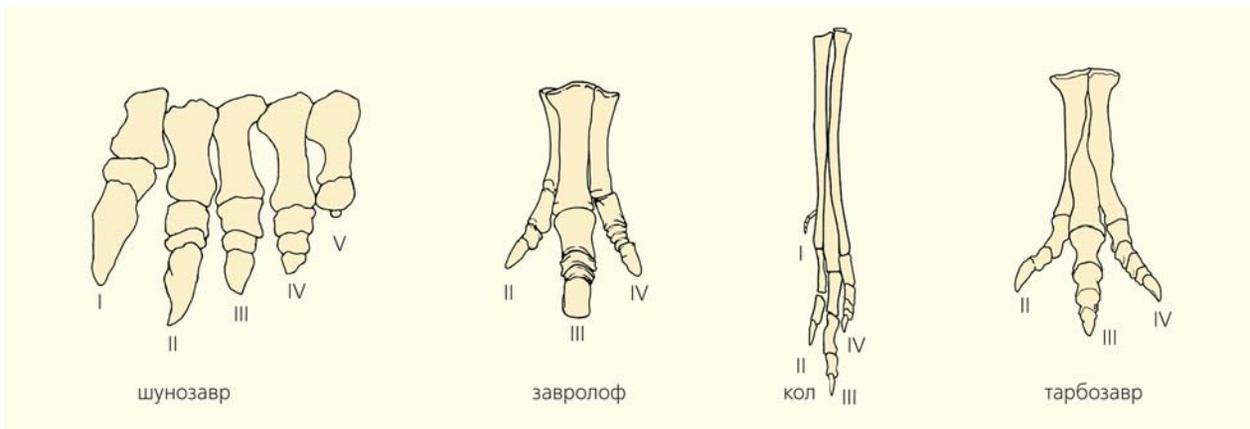
Фенестрированные с помощью тироидного окна тазы пресмыкающихся: брахиоилический таз ящеров и долихоилические варианты тазов теропод, представленные препубическим вариантом у галлимима (*Gallimimus*), пропубическим у тарбозавра (*Tarbosaurus*) и опистопубическим у энигмозавра (*Enigmosaurus*). Разнообразие строения таза теропод не допускает однозначной возможности определения их родственных связей в составе динозавров на основании так называемой ящеротазовости. Серым цветом обозначено тироидное окно (Т) между тазовыми костями.

ных динозавров таз часто не сплошной, а облегченный: у теропод — благодаря возникновению вентрального (нижнего) окна, называемого тироидным, а у птицетазовых динозавров — за счет утраты связи лобковых костей друг с другом. Все эти признаки прозавроподам и завроподам не свойственны, а их таз (судя по строению этой части скелета у представителей других групп динозавров и птиц) архаичен. Особенно примитивен он у прозавропод из-за отсутствия у них сложного крестца, связанного с наличием четырех и более тазовых позвонков и развитием удлиненной подвздошной кости (долихоилия). В соответствии с этим таз прозавропод иногда типизируют как брахиоилический, т.е. имеющий укороченное строение подвздошных костей. Этот признак также соответствует тазу ящериц, текодон-

тов и многих более архаичных, чем динозавры, групп пресмыкающихся.

Связь теропод и птицетазовых динозавров устанавливается и по строению стоп, которые, в отличие от стоп завроподоморф, приобретают внешне симметричную форму из-за редукции первого и пятого пальцев вместе с увеличенными размерами третьего (среднего) пальца. Для двух групп также характерно пальцехождение в отличие от архаичного стопохождения у завропод, у которых к тому же произошла редукция числа элементов большинства пальцев, но не самих пальцев.

Список признаков сходства птицетазовых динозавров и теропод невелик. Тем весомее представляется проявление тенденции к формированию у тех и у других перообразных структур, которые, заметим, присутствуют только у двуного-



Стопы разных групп динозавров: завропода шунозавра (*Shunosaurus*), птицетазового динозавра завролофа (*Saurolophus*), альваресзавра кола (*Kol*) и теропода тарбозавра (*Tarbosaurus*). Короткие и широко расставленные пальцы завропода указывают на стопоходящий тип походки, а компактная и высокая стопа у остальных — на пальцехождение. Латинскими цифрами обозначены порядковые номера пальцев.

ходящих (бипедальных) динозавров. Связь удлиненных покровных образований и способа походки выглядит и закономерно, и загадочно, а главное — плохо объясняется существующими теоретическими представлениями. Можно, например, пофантазировать и предположить, что особенности двуногой походки требовали более высокой физиологической активности и, соответственно, специфического типа линьки, которая охватывала бы не весь покров сразу, а только его отдельные участки, за счет чего снижался бы уровень биологической уязвимости (у линяющих целиком пресмыкающихся он обычно высок).

Подобные рассуждения позволяют подойти к решению проблемы общей характеристики динозавров. В рамках текущей системы взглядов, сложившейся во многом традиционно, существующее формальное определение выглядит недостаточным, поскольку касается таких признаков, как наличие сложного крестца в сочетании с несколькими специфическими чертами строения костей конечностей. Отсутствие ясной и исчерпывающей характеристики давно ставит перед исследователями проблему «истинных» динозавров (т.е. не сборной группы, а естественного так-

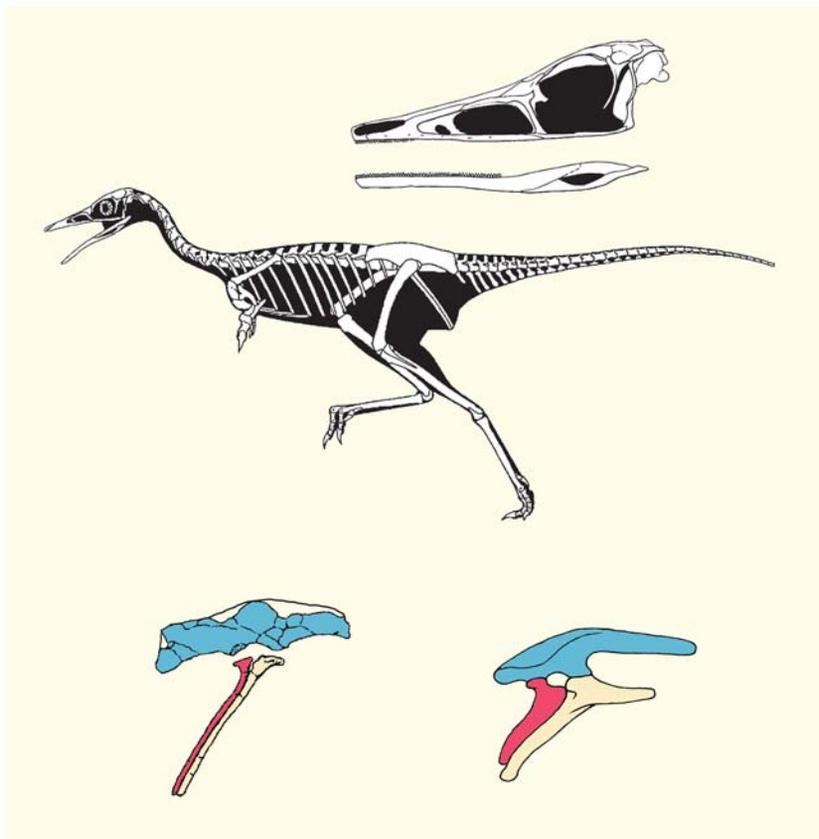
сона), в число которых, не исключено, пока включают группы и формы, лишь внешне динозаврообразные. Общая картина останется неясной и противоречивой, если не предположить, что в эволюции пресмыкающихся происходило независимое формирование набора сходных признаков у динозавров и у их близких и дальних родственников. С нашей точки зрения, проблема «истинных» динозавров пока не решена.

Интересно, что весьма большое количество черт сходства с динозаврами демонстрируют летающие ящеры (птерозавры). Исторически сложилось, что их относят к особой группе среди архозавров вне рамок собственно динозавров. Хотя динозаврообразность птерозавров не ускользнула от исследователей и не раз обсуждалась в литературе, сходство их с динозаврами признается вторичным. Однако если птерозавры — не динозавры, то почему динозаврами считаются, например, те же прозавроподы, лишенные сложного крестца?

Ситуацию могли бы прояснить новые ископаемые находки промежуточных звеньев эволюционного процесса. На первый взгляд, такое место между тероподами и завроподами занимают прозавроподы. Однако в отношении именно последней

группы как раз и возникает больше всего сомнений в их принадлежности к динозаврам. Если придерживаться традиционной точки зрения, то следует признать, что один из главных признаков динозавров — сложный крестец — возникал в эволюции архозавров многократно и параллельно, что возможно. Но отнести эту независимость на счет динозавров — значит поставить под сомнение естественность этой группы. Странно, что при таком грузе нерешенных проблем не уделяется внимания существованию промежуточной между тероподами и птицетазовыми динозаврами группы. Это, по нашему мнению, так называемые альваресзавры (*Alvarezsauria*, в кладистических классификациях *Alvarezsauridae*), которые были открыты в конце 1990-х годов в Аргентине и Монголии.

Первые находки альваресзавров носили фрагментарный характер. Поэтому аргентинские материалы позволили исследователям допустить родство альваресзавров с орнитомимозаврами, а монгольские — с архаичными птицами, но более продвинутыми, чем археоп-



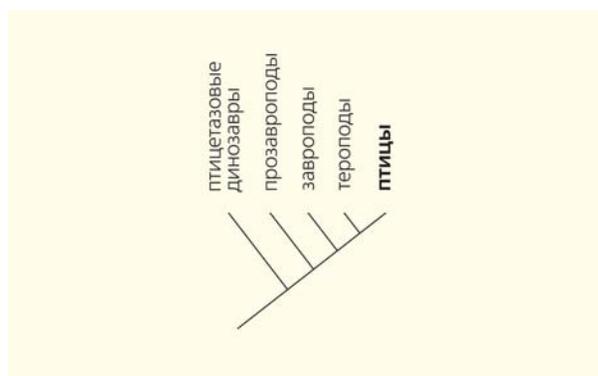
Реконструкция скелета и черепа альваресзавра шувууи (*Shuvuuia*) из верхнего мела Монголии, а также сравнение его таза с тазом птицетазового динозавра — стегозавра (справа), конструкция которого имеет сходное строение. Скелет альваресзавра сочетает признаки теропод и птицетазовых динозавров.

терикс. Потом, когда появились новые данные из Аргентины и Монголии, удалось установить, что находки на двух удаленных друг от друга континентах принадлежат общей группе. Ее все же отнесли к тероподам. Но ящеры эти очень странные. Таз у них имеет такое же строение, как у птицетазовых динозавров, а вот стопа по компактности действительно уклоняется в сторону теропод, хотя и отличается некоторыми уникальными деталями строения. Череп внешне похож на тероподовый, а нижняя челюсть имеет признаки строения, характерные для птицетазовых динозавров. Для альваресзавров не установлены брюшные ребра, которых, может быть, и не было, как у птицетазовых динозавров. И еще: у альваресзавров, возможно, кисть была пятипалой, если приплюсовать к трем известным пальцам два шиповидных образования в области кисти, установленных при описании цератонюки (*Ceratomykus*) из верхнего мела Монголии. Пять пальцев передней конечности обычны для птицетазовых динозавров, но не для теропод, у которых в редких случаях сохраняются рудименты четвертого пальца. С тероподами альваресзавры могут быть сближены лишь с большой натяжкой, но их можно рассматривать как близких родственников птицетазовых динозавров [7], коль скоро у них тазы сходного типа.

Пример с альваресзаврами хорошо дополняется данными о покровах. Вместе они показывают, что выделение крупных таксономических групп динозавров и реконструкция их родственных взаимоотношений имеет немало теоретических условностей, а значит, и перспективы для существенной коррекции.

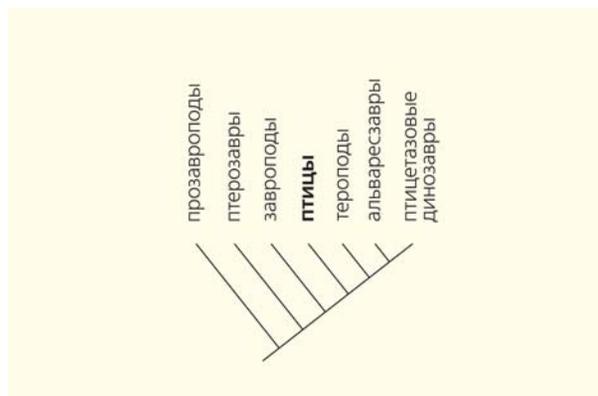
Учсть наши сомнения в отношении текущей схемы родственных взаимоотношений динозавров можно в виде филограммы, отражающей родственные связи основных групп архозавров. Такая графическая картина позволяет наглядно продемонстрировать представление об «истинных» динозаврах и о том, кем были их близкие или дальние родственники. Теперь сомнения в принадлежности к динозаврам можно отнести не только к прозавроподам, но и к завроподам. Если так, то завроподы, как и птерозавры, вполне могут принадлежать к группе самых динозаврообразных архозавров. На этом фоне прозавроподы, скорее всего, окажутся близкими родственниками не завропод (или в целом динозавров), а текодонтов (на филограмме они не показаны), среди которых также много динозаврообразных групп и форм.

В итоге можно зафиксировать важное и давно высказанное предположение о существовании в эволюции архозавров процесса *динозавризации*, т.е. приобретения параллельного с «истинными» динозаврами определенного набора признаков. Интересно, что основное направление динозавризации связано с уходом от образа архаичной рептилии, которая во время движения изги-



Общепринятая филогенетическая схема основных таксонов динозавров. Она демонстрирует обособленное положение птицетазовых динозавров, связь с динозаврами прозавропод и родство птиц с хищными динозаврами (в соответствии с тероподовой гипотезой).

бает свое тело вбок, что помогает ей переставлять короткие и расставленные в сторону конечности. В эволюции архозавров боковые изгибы тела сократились, а задние конечности испытывали тенденцию к удлинению вместе с ориентацией коленного сустава вперед, что означает заведение ног под туловище, как у млекопитающих. Это сделало походку более экономной с энергетической точки зрения и, вероятно, более быстрой, что в условиях открытых и выровненных ландшафтов имело существенное значение. На этом эволюци-



Филогенетическая схема, основанная на новой гипотезе родственных связей высших архозавров, с указанием положения птиц. Введение в схему продвинутых морфологически птерозавров оттеняет сомнительность включения в состав динозавров прозавропод. Предположение о происхождении птиц и динозавров от общего неспециализированного предка позволяет обособить истинных динозавров от их динозавроподобных родственников, т.е. от завропод и прозавропод. Эти родственники динозавров демонстрируют тенденцию к приобретению некоторых (проявляющихся мозаично) динозавровых признаков, тогда как у собственно динозавров происходил процесс приобретения сходства с птицами.

онном пути наметилось отставание развития передних конечностей. С появлением сложного крестца, как оказалось, можно избавиться от участия передних конечностей в передвижении, что, похоже, смогли сделать настоящие динозавры.

Несовершенство традиционной базовой схемы родственных взаимоотношений динозавров не может не проявиться в таком интригующем для современных исследователей вопросе, как родство динозавров и птиц. Он сложен и многогранен и вряд ли может быть до конца прояснен даже с помощью специального и самого подробного разбора. Сегодня уже можно смело расстаться с представлениями о происхождении птиц от каких-то архаичных и четвероногих (по способу передвижения) пресмыкающихся. Однако и преобладающая ныне гипотеза, выводящая птиц от теропод, не кажется столь бесспорной, насколько это может внушаться фактом ее практически всеобщего признания.

Процесс становления тех или иных черт птичьего плана строения у динозавров не раз отмечался исследователями. Нашел он отражение в трудах Р.Барсболда [8] и С.М.Курзанова [9], которые данный процесс стали называть *орнитизацией*. Проанализирован он этими учеными на примере проявлений орнитизации только у теропод. Но теперь, благодаря новым содержательным данным о перообразных покровах, в сферу анализа могут быть включены и бипедальные птицеподобные динозавры.

И здесь возникает возможность сделать предположение о происхождении птиц, которое еще никем не высказывалось.

Совсем не исключено, что все способные к бипедальной походке динозавры прошли с птицами параллельный путь эволюции от общего неспециализированного предка. При этом представители некоторых линий теропод (особенно троодонтий, дромеозавров и овираторозавров) продвинулись на пути орнитизации дальше других, достигнув наибольшего внешнего сходства с самыми архаичными птицами. Если так, то именно птицы позволяют нам понять, кто был «истинным» представителем динозавров, а кто — родственной им группой.

\* \* \*

Материалы по оперенным птицеподобным динозаврам из Забайкалья — всего лишь звено в цепи необычных находок, ставших известными в последние годы. Все они ведут к тем или иным новым теоретическим заключениям. С их помощью можно попытаться защитить традиционную систему взглядов, а можно попробовать вскрыть ее слабости. И в том, и в другом случае необходима упорная исследовательская работа, с учетом новых данных, подходов и промежуточных предположений. Чтобы глубже проникнуть в тайну происхождения и эволюции динозавров, нужны также и новые открытия, подобные тем, что принесло местонахождение Кулинды. ■

**Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 13-05-00302 и 16-05-00408) и Акционерным некоммерческим обществом «Институт биомедицинских проблем» (грант «Палеонтология позвоночных»).**

## Литература

1. Mayr G., Peters D.S., Plodowski G. Bristle-like integumentary structure at the tail of the horned dinosaur *Psittacosaurus* // *Naturwissenschaften*. 2002. V.89. №8. S.361–365.
2. Zheng X., You H., Xu X. et al. An Early Cretaceous heterodontosaurid dinosaur with filamentous integumentary structures // *Nature*. 2009. V.458. №7236. P.333–336.
3. Савельев С.В., Алифанов В.Р. Новый тип кожных дериватов у птицеподобных динозавров из поздней юры Забайкалья // Докл. РАН. 2014. Т.456. №2. С.251–253.
4. Алифанов В.Р., Савельев С.В. Два новых птицеподобных динозавра (*Hypsilophodontia*, *Ornithopoda*) из поздней юры России // *Палеонтол. журн.* 2014. №4. С.72–82.
5. Алифанов В.Р., Савельев С.В., Терещенко Е.Ю. и др. Строение кожных покровов у птицеподобных динозавров (*Hypsilophodontia*, *Ornithopoda*) из поздней юры Забайкалья // *Палеонтол. журн.* 2014. №5. С.72–80.
6. Romer A.Sb. *The Vertebrate Story*. Chicago, 1959.
7. Алифанов В.Р. Инфраотряд *Alvarezsauria* // *Ископаемые позвоночные России и сопредельных стран. Ископаемые рептилии и птицы. Ч.2 / Отв. ред. Е.Н.Курочкин, А.В.Лопатин. М., 2012. С.325–334.*
8. Барсболд Р. Хищные динозавры мела Монголии. Сер.: «Тр. совместной Советско-Монгольской палеонтол. экспедиции». Вып.19. М., 1983.
9. Курзанов С.М. Авимимиды и проблема происхождения птиц. Сер.: «Тр. совместной Советско-Монгольской палеонтол. экспедиции». Вып.31. М., 1987.

# Русь, Россия и культуры Степного пояса: путь в Новое время

Е.Н.Черных

Предшествующая статья\* завершалась краткой дискуссией об условном характере многих символических дат, которыми старались отделять в исторических процессах одну эпоху от другой. Таковой — знаменательной, хотя в значительной мере символической датой стал 1480 г., связанный со стоянием на Угре и освобождением Руси от монголо-татарского ига. Однако оказалось, что эта дата-символ удивительным образом совпадает с другой датой — аналогичной, но уже гораздо более общего звучания: в самом конце XV в. в Евразии начались перемены, породившие глобальную эпоху *Нового времени*. Правда, ее началом чаще всего предпочитают называть 1500 г. — ведь круглое число гораздо более удобно и для запоминания, и для обозначения важнейших перемен в мировой периодизации. Конец 15-го и 16-е столетие признают периодом кардинальной перегруппировки важнейших культурных блоков Евразии — да и не только ее. Изменения эти в большей или меньшей степени отразились на судьбах фактически всех культур земного шара. Однако стартом коронных пере-



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

**Ключевые слова:** Степной пояс, Евразия, колонизация.  
**Key words:** Steppe belt, Eurasia, colonization.

мен на планете стало решительное преобразование так называемого *Ядра Евразии* — ядра высокотехнологичных культур, корни которого были погружены еще в глубокую древность бронзового века [1].

## Ядро Евразии: что это?

В предыдущих статьях, опубликованных в «Природе» и посвященных кочевому миру, специального внимания Ядру Евразии не уделялось. Поэтому приведу здесь краткую характеристику данного феномена. Рубеж 3-го и 2-го тысячелетий до н.э., а также ранние века 2-го тысячелетия до н.э. соответствовали началу позднего бронзового века в Евразии. В тот отрезок времени наблюдалась чрезвычайно мощная вспышка развития и стремительного, даже взрывного распространения по континенту горно-металлургического производства меди и различных бронз. Именно металл и связанные с ним технологии могли служить и служили в древности очевидным залогом поступательного развития различных социумов. Взрыв привел к формированию протяженной цепи разновеликих и разнохарактерных металлургических провинций, охвативших площадь до 40–43 млн км<sup>2</sup> от Атлантики до Тихого и Индийского океанов. Ареал металлоносных культур предшествующей эпохи средней бронзы был четырехкратно меньшим — всего 10–11 млн км<sup>2</sup>, что и дает нам

\* Русь, Россия и культуры Степного пояса: от аваров до Золотой Орды // Природа. 2016. №4. С.45–55.

право говорить о *пространственном скачке* в распространении высокотехнологичных культур [2, рис.7, 8]. Результатом скачка стало зарождение и формирование своеобразного гигантского феномена — Ядра Евразии.

Однако, охватив громадные пространства, Ядро «застывает» в своих границах. И удивительно долго, не менее *трех или трех с половиной тысячелетий*, вплоть до символического 1500 г., территориальные рамки Ядра если и менялись, то весьма незначительно. Отсюда последовал уже следующий вывод о внезапной смене пространственного скачка столь же неожиданной *пространственной стагнацией* [1, рис.б.2].

Но важнейшим парадоксом феномена стало, пожалуй, то, что в гигантском и пространственно малоподвижном ареале Ядра вызревали и реализовывались фактически все коронные технологические и социальные открытия, инновационные взлеты человеческих культур, по крайней мере в Евразии. Правда, ритмичность этих процессов, вплоть до эпохи Нового времени, была неустойчивой, причины чего остаются для нас не вполне ясными. Загадочна также столь протяженная по времени пространственная стагнация феномена.

## Слом границ Ядра Евразии

В десятилетиях, близких к символическому 1500 г., свершился наконец прорыв границ Ядра, и мир вступил в знаменитую эпоху *Великих географических открытий* или — что звучит намного вернее — эпоху *европейской колонизации планеты*. Слом граней и колонизация культур за пределами Ядра происходили по двум основным направлениям — западному, морскому, а также восточному, сухопутному.

Запад Европы породил две последовательные энергичные волны колонизаторов. Первая и ранняя, *португало-испанская*, была ознаменована страстным желанием мореплавателей достичь легендарной Индии. Эта волна связана с забываемыми именами Бартоломеу Диаша, Васко да Гама, а в первую очередь, конечно, Христофора Колумба и Фернандо Магеллана. Вторую западную, более позднюю, волну чаще именуют *британской*, хотя в ней кроме англичан активно участвовали и другие группы европейцев — голландцы, ирландцы, французы, немцы. Основной ориентир волны был нацелен на запад и северо-запад, т.е. уже на Северную Америку — в те поры истинную *terra incognita*.

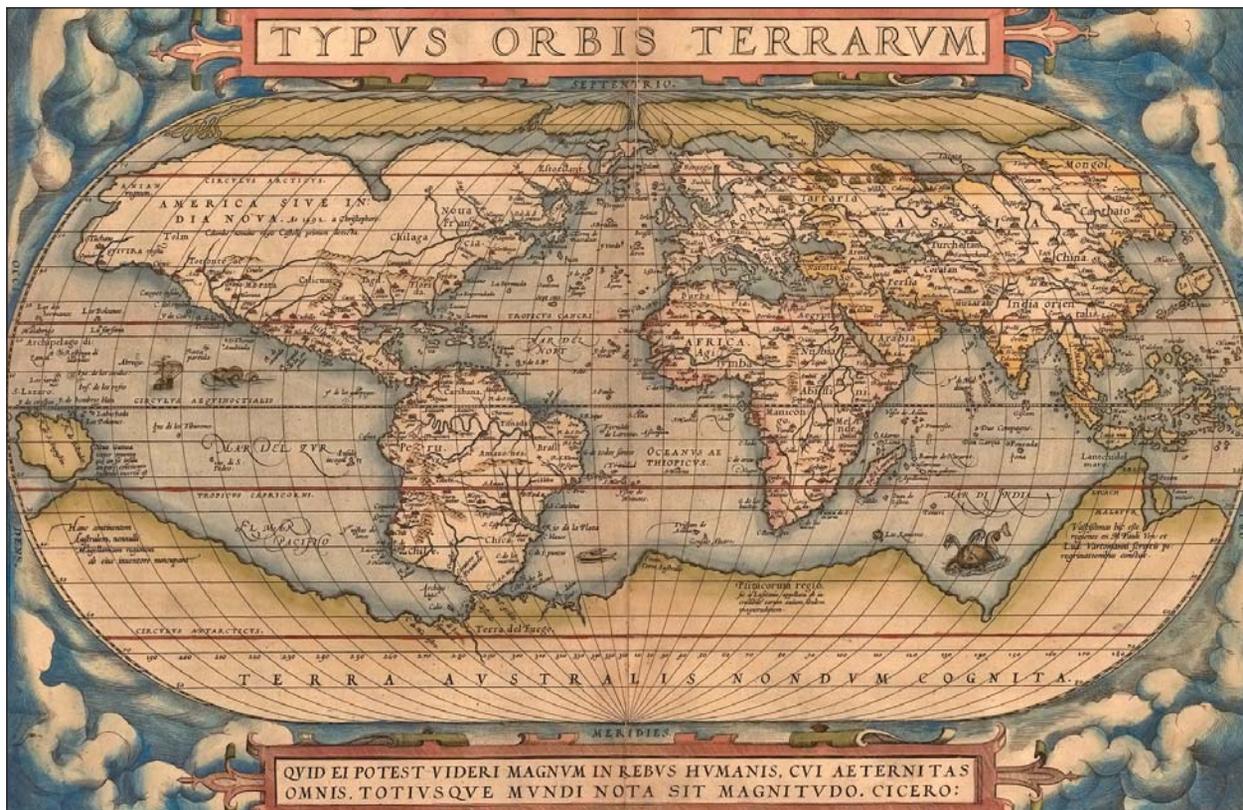
Третья, сокрушившая рубежи Ядра, волна была связана с энергичными устремлениями подданных Российского государства на восток, через Урал, в Сибирь, к Тихому океану, о существовании которого, правда, первопроходцы тогда даже не знали. Самым большим отличием этого движения от первых двух стал его почти исклю-

чительно сухопутный характер (не считая плавающих по речным магистралям), а также моноэтничность групп первопроходцев: русские в них безусловно главенствовали. Третья, или *российская*, волна оказалась фактически синхронной второй, британской. Хотя волны устремлялись на разные континенты, в какой-то мере сходными оказались и те геоэкологические ниши, по которым следовали оба прорыва. В целом же характер британской и российской колонизаций по многим аспектам, деталям, да и по результатам разнились весьма существенно.

## Бехайм, Ортелиус, Меркатор

Здесь ограничусь, пожалуй, перечислением лишь различий в географической осведомленности первопроходцев и их нацеленности на те земли, которых они желали достичь. Западная Европа тогда вступила в неповторимую пору Ренессанса и связанных с ним многих чрезвычайно значимых научных открытий. К концу 15-го столетия, например, стало складываться отчетливое понимание шарообразности Земли. По крайней мере уже в 1492–1494 гг. немецкий картограф Мартин Бехайм представил свой глобус, назвав его *Земным яблоком*. Его соотечественник Мартин Вальдземюллер в 1513 г. начертил карту мира, а на ее фоне изобразил Америго Веспуччи, имя которого послужило для наименования Американского материка. Более подробными и точными выглядели творения 1570–1590-х годов, принадлежавшие фламандским картографам Абрахаму Ортелиусу и особенно гениальному Герарду Меркатору. Созданной им тогда — в 16-м столетии! — равноугольной цилиндрической проекцией Земли мы пользуемся и поныне! В 1595 г. Меркатор смог начертить даже карту России, где наметил воображаемую границу между Европой и Азией [3, рис.12]. Весьма примечательно, что глобальная карта Меркатора достаточно определенно высветила почти совершенно неведомые европейцам пространства Северной Америки и Северной Азии (Сибири). Именно к этим «белым пятнам» и устремились как западная, так и восточная волны колонизаторов.

Крайне сомнительным кажется факт знакомства, пусть хотя бы вскользь, российских первопроходцев с этими картами, а по сути не может подлежать сомнению, что те о них и не подозревали. Да если бы путешественники и смогли их увидеть, вряд ли эти загадочные чертежи что-либо смогли бы им поведать, ведь долгие столетиями христианская церковь не желала отречься от своих казавшихся тогда незыблемыми канонов! А в Российской империи времен Петра I — кстати, в начале XVIII в. еще изолированной от многих «умствований» западноевропейского мира — местоблюститель патриаршего престола Стефан

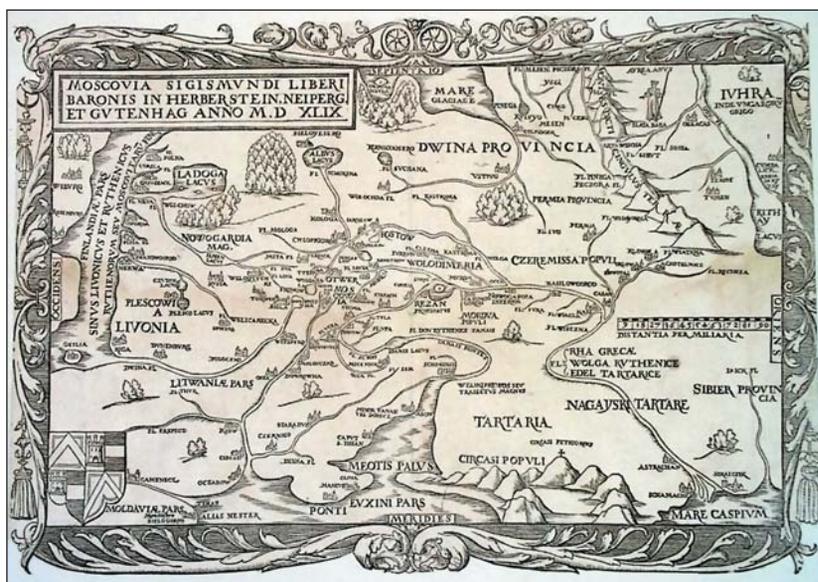


Созданный к 1570 г. атлас Абрахама Ортелиуса.

Яворский (получивший, между прочим, престижное образование в Киеве и Риме и знаменитый в России своими яркими проповедями) спустя примерно 170 лет после открытий Коперника изрек: *Одному некоему астроному Копернику при-*

*снилося, будто солнце, луна, звезды стоят, а земля оборочается противно священным писаниям. Смеются с него богослови* [4, с.292]. Так ведь и дочь Петра Великого, императрица Елизавета, весьма удивлялась, что Великобритания — это остров...

Важнейшей же целью продвижения российских первопроходцев на восток, за Уральский Камень, было воевать Татарское царство нечестивых Агарян.



Расположение морей, рек, городов и стран в пределах Восточной Европы на карте Сигизмунда Герберштейна (1549). Гравюра базельского издания 1556 г.

### За столетие до Ермака

Отсчет времени победного русского броска за Урал, в Сибирь, традиционно ведут от 1 сентября 1581 г., когда Ермак со товарищи двинулся вверх по Чусовой. Однако признание Ермака Тимофеевича истинным и безоговорочным пионером колонизации Сибири стало бы несправедливым забвением более ранних попыток проникновения отрядов Московского царства за Уральский Камень. В 1483 г., едва ли не сразу после стояния на Угре и почти за сот-

ню лет до Ермака, Иван III повелел учинить большой поход за Камень. Во главе крупного войска были поставлены князь Курбский Черный и Салтык Травин. Сообщалось, что они пришли в Сибирскую землю, завоевали множество городов, взяли на Иртыше и Оби изрядное число пленных, а также местных югорских князьков. В «Историческом обозрении Сибири», изданном в 1838 г. малоизвестным для нас поэтом-историком П.А.Словцовым, «доермаковский» поход за Урал воспевается в словах кратких, но до изумления возвышенных: *Не замечательно ли, что в конце 15 века, в то же время, когда Эммануил Португальский снарядил Васко де Гаму для обхода Африки на восток, Иоанн III послал также на восток, за Югорский камень, своего сухопутного Васко де Гаму, в Обдорию или низовую обскую страну... Промышленность Вычегодская еще прежде спознала пути за Камень, но не промышленность указала их, а государственная гордость за покушения Закаменных звероловов на безопасность Великой Перми. Меч Московский около 1501 года омылся в крови дерзких* [5, с.15].

Столетний перерыв после первых попыток Ивана III пробиться за Урал мог объясняться главным образом казанским «барьером». Москву уже давно мучила жажда слома Казанского ханства для открытия достаточно надежного и безопасного пути на восток. В 1552 г. это удалось молодому внуку Ивана III, Ивану IV — будущему Грозному.

Однако сразу *...надобно было распорядиться насчет дикого, воинственного народонаселения, жившего в ее области... <...> Около Казани сосредоточивались и укрепляли ее разные дикие народы, жившие в привольных для первобытного человека местах по обеим сторонам Волги, западной и восточной, горной и луговой: черемисы, мордва, чувашы, вотяки, башкиры. ...Мы видели также, что первым делом Иоанна по взятии Казани была посылка к этим народцам с приглашением вступить в подданство московское, войти к Москве в те же отношения, в каких находились они к Казани. Они согласились, и дело казалось конченным* [6, т.6, с.458, 462]. Но это только казалось: мало кто откликнулся на приглашение-повеление царя. Степной пояс даже в его периферийно-северном варианте не спешил отдаваться на милость московскому владыке. Правда, через два года после Казани пало и Астраханское ханство, и тогда по существу весь бассейн Волги вплоть до северных берегов Каспия оказался подвластен Москве. Западная половина Степного пояса

была, таким образом, разрезана вертикальной линией на восточную и западную четверти, и это весьма заметно отразилось на дальнейшей судьбе обитавших здесь народов.

### От Ермака Тимофеевича до Семена Дежнёва

Наверное, казанско-астраханские победы вдохновили Ивана Грозного, и он обратился к Западу, ввязавшись в долгую Ливонскую войну (1558–1583). Ее первые шаги сулили немалые успехи, но с появлением в рядах противников Стефана Батория финал оказался весьма безрадостным. Лишь под занавес своей жизни царь дал добро на восточное продвижение. Однако инициатором и организатором в этом порыве выступил отнюдь не царь, а знаменитый в российской истории клан Строгановых. С ними, безусловно, оказался связан реальный старт колонизации безбрежных сибирских пространств. В.С.Соловьев, как это он часто делал, постарался придать строгановским достаточно банальным желанием обогащения высокое патриотическое звучание: *Понятно также, что Строгановы могли совершить этот подвиг на пользу России и гражданственности не вследствие только своих обширных материальных средств; нужна была необыкновенная смелость, энергия, ловкость, чтоб завести поселения в пустынной стране, подверженной нападениям дикарей, пахать пашни и рассол искать с ружьем в руке, сделать вызов дикарю, раздражить его, положивши пред его глазами основы гражданственности мирными промыслами* [6, т.6, с.667].

Загадочный путь приобщения дикарей к цивилизации путем раскладывания *пред его глазами основ гражданственности* должен был выпасть на долю атамана Ермака и его товарищей-казаков.



Покорение Сибири Ермаком. Картина В.И.Сурикова (1895).

Строгановы — Семен и его племянники Максим и Никита — в лето 7087 [1579] году апреля в 6 день, слышаху... от достоверных людей, о буйстве и храбрости... казаков и атаманов Ермака Тимофеева с товарищи, како на Волге, на перевозех, Нагайцов побивают и Ардобазарцов грабят и побивают, решили пригласить их в Чусовские городки на спомогание им. Ермак и 540 казаков в конце июня того же года к Строгановым прибыли, и те прияша их с честью и даяха им дары многи, и брашны и питии изобильно их наслаждаху. После многих насладительных брашен и питий Ермаковых товарищей проверили на воинскую удаль. Атаманы же и казаки стояху против безбожных Агарян буйственно и единомысленно, с живущими ту людьми в городках, и бияху с безбожными Агаряны сурово и немилостиво, и твердо стояху [7, с.13–15]. Испытание те с честью выдержали, и Строгановы, спустя два месяца и два года после прибытия к ним, придав атаману еще три сотни людей и снабдив его всем необходимым, отправили дружину в ставший потом знаменитым поход через Уральский Камень вверх по Чусовой.

Казаки Ермака, известные храбростью, буйством и разбоями, не очень-то были в чести у Ивана Грозного. Так, правой руке Ермака, Ивану Кольцо, за его былые подвиги, случись ему оказаться в руках властей, не уйти бы от посадки на кол. Но Ермак со своей дружиной довольно быстро оказался далеко за Уралом, где вступил в сражения с сибирским ханом Кучумом. Победив его, казаки собрали пушной ясак и отослали его к царскому двору вместе с известием о покорении Сибири. После этого царь сменил гнев на милость. Владыка даже повелел отправить на подмогу Ермаку три сотни стрельцов. Но летописец с прискорбием сообщал, что *которые люди присланы были с воеводою со князем Семеном Болховским и с головами казанские да свияжские стрельцы да пермичи и вятченя, а запасу у них не было никакого, и те все присыльные люди... померли в старой Сибири з голоду* [8, с.193–194].

Невзирая на превосходство огнестрельных пищалей над луками, Ермак и его соратники были, конечно же, обречены. Таял в постоянных стычках отряд атамана. Наконец наступила пора и его самого. В начале августа 1585 г., почти через четыре года после появления за Уралом, поредевшая в битвах дружина Ермака оказалась вновь на диком бреге Иртыша. Главный и неукротимый враг Кучум *...подсмотри их, и разосла многих татар, и повеле твердо стрещи; тое же наощи бысть дождь велик, поганиши же, аки ехидна некая, дышуща на Ермака с дружиною, и мечи свои готовляху на отомщение... Ермак же с дружиною спаху в станех в пологах, поганиши же яко неистово дышуща готовляшеся на пролитие крови...* [7, с.56–57]. В ту ночь рассталось с жизнью едва ли не все воинство Ермака.

## От Урала до мыса Дежнёва

Последователей Ермака насчитывалось изрядное число, и самое главное — многие из них отличались поистине безудержной энергией, характерной вообще для завоевателей-конкистадоров. Коснемся вкратце лишь тех ключевых фигур, с которыми связаны наиболее значимые достижения в колонизации севера Евразии.

После Ермака на первый план можно, конечно же, поставить Семёна Дежнёва. В 1630–1640-х годах он служил в Сибири, где в бассейнах Яны, Индигирки и Колымы принуждал непокорных якутов к подчинению и *объясачивал диких нехристей*. Затем Дежнёв был включен в отряд Федота Попова для сбора ясака уже с чукчей тундры. Летом 1648 г., всего через 67 лет после Ермака, Дежнёв и Попов сумели достичь самой восточной точки Евразийского континента — мыса, получившего позднее имя Дежнёва. Предводителю отряда Попову не повезло: его настигла смерть то ли в морской буре, то ли во время стычки с аборигенами.

На роль первооткрывателя крайнего восточного мыса Евразии претендовал и Михаил Стадухин. Как будто с 1642 г. он вместе с Дежнёвым собирал ясак с *дикарей* по многим урочищам Якутии. Затем оба появились на Чукотке, но отношения между ними сложились весьма скверные. *У Стадухина разгорелись глаза на соболи, которые брал Дежнёв, он бросился на него, вырвал из рук меха и стал бить по щекам* [6, т.12, с.566–567]. Кажется примечательным, что концентрация русских сборщиков ясака здесь была не более чем один на многие тысячи квадратных километров; но им этого мало, и они лупят друг друга *по щекам*, отбирая ясак. Впрочем, подобные выражения «дружбы и сотрудничества» вряд ли могли быть особой новостью не только на севере Евразии: трудно предположить, что вообще где-либо торопливые и жадные колонизаторы обожали друг друга, где бы они ни оказывались — в Азии или в Америке...

## Амур и маньчжуры

Морские побережья Ледовитого океана и Берингии стали к середине 17-го столетия северными и северо-восточными границами стремительного российского проникновения. Южные рубежи пока что были плотно перекрыты культурами Степного пояса, хотя в глубинах Сибири и Дальнего Востока о Степном поясе «первопроходцы» вряд ли помнили. В 1643 г. якутский воевода членел Василию Пояркову во главе отряда из 133 человек отправиться на поиски желанной реки Шилки с ее — по слухам — изрядными богатствами. После множества переходов тягостными волоками от одной реки к другой Поярков *...достиг устья Амура и тут зимовал, а летом пошел на судах морем к устью Ульи-реки, из Ульи волоком переправился в Маю,*

приток Алдана, которым и Леною возвратился в Якутск, привезши богатый ясак соболями, но потерявши человек 80 из своего отряда...

Однако в первую очередь Поярков запомнился современникам и потомкам своими безумными жестокостями, направленными к тому же на собственных спутников: *Служилых людей он бил и мучил напрасно и, пограбя у них хлебные запасы, из острожка их вон выбил, а велел им идти есть убитых иноземцев, и служилые люди, не желая напрасною смертью помереть, съели многих мертвых иноземцев и служилых людей, которые с голоду померли, приели человек с пятьдесят; иных Поярков своими руками прибил до смерти, приговаривая: «Не дороги они, служилые люди!».* Когда он плыл по реке Зие, то жители тамошние его к берегу не припускали, называя русских людей погаными людоедами. Когда весною в устье Амура снег с лугов сошел и трава обтаяла, то остальные служилые люди начали корень травной копаты и тем кормиться, но Поярков велел своему человеку выжечь луга, чтобы служилые люди покупали у него запас дорогою ценою [6, т.12, с.569–570].

Мрачную славу Пояркова затмил Ерофей Хабаров, имя которого широко значится на карте России. В 1649 г. от Якутска тот уже иным путем добрался до Амура и попытался вступить там в торговые переговоры с местными старшинами. К его удивлению, немногочисленный отряд натолкнулся на пять совершенно пустых поселений. Сказали Хабарову, что местный народ скрылся от страха перед обещанным неким русским (видимо, Поярковым) пришествием казачьих разбойных банд. Предусмотрительный Хабаров на следующий год воротился в Якутск и поведал воеводе о крае, где *...по славной великой реке Амуру живут даурские люди, пахотные и скотные... леса темные большие, соболя и всякого зверя много, государю казна будет великая. ...Если даурские князьки государю покорятся, то прибыль будет большая, в Якутский острог хлеба присылать будет ненадобно...* В тот же самый год Хабаров во главе более многочисленного отряда, даже с тремя пушками, вновь устремился на Амур. На сей раз дауры свои городки не покинули, но приготовились защищаться. На требование Хабарова сдаться и выдать ясак они отвечали отказом. *И те свирепые дауры не могли стоять против государственной грозы и нашего бою. Хабаров взял городок, положивши на месте больше 600 неприятелей* [6, т.12, с.571–572]. Однако дауры оказались непохожими на те охотничьи племена, с которыми русские уже успели свыкнуться на таежном севере. О групповом повиновении даже после пленения властных фигур клана речи здесь не шло: сопротивление продолжалось и становилось даже более ожесточенным.

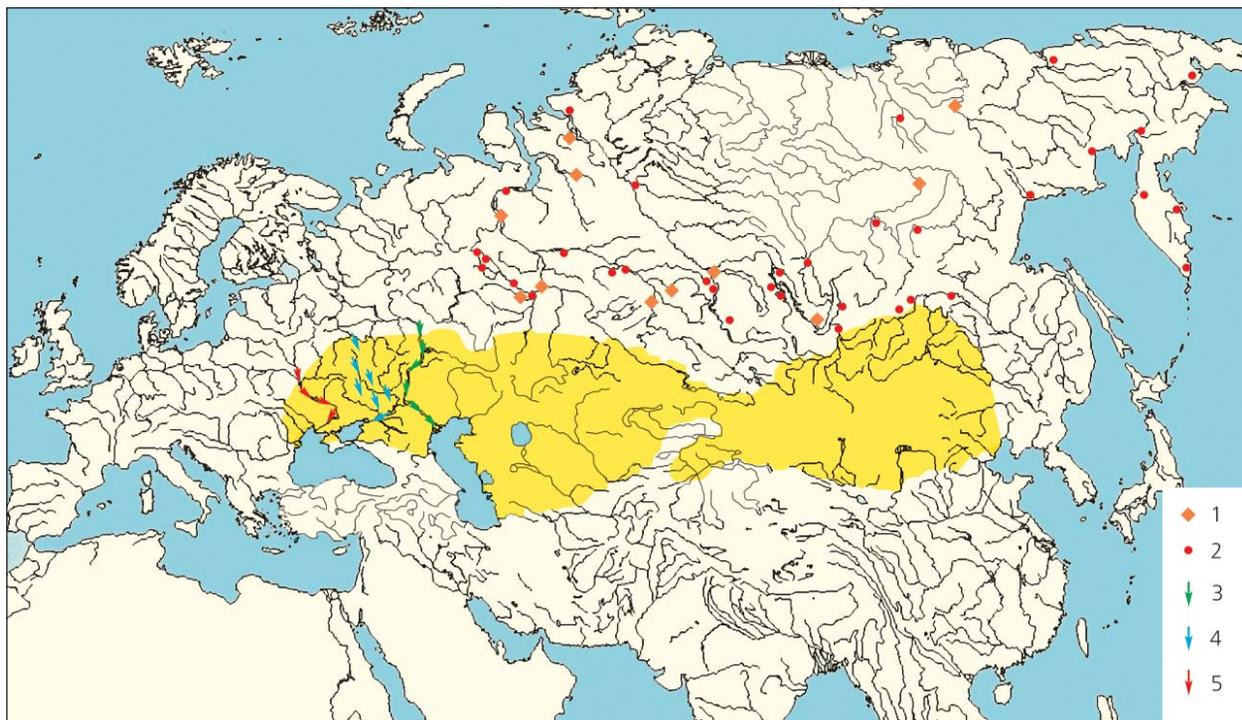
Русские в Приамурье неожиданно для себя впервые столкнулись уже с иным и совершенно

незнакомым для себя миром. В 1652 г. против Хабарова выступило маньчжурское войско, осадившее построенный наспех Ачанский городок. Защитникам городка удалось отбиться, но Хабаров сознавал, что это ненадолго и что лучше уйти — иначе жди скорого появления гораздо более мощного войска, да еще с огнестрельным боем — ведь к тому времени бывшие скотоводы маньчжуры успели завоевать Поднебесную и сформировать новую династию Цин. За недалеким горизонтом становилось очевидным столкновение здесь — за Амуром — с народами, пока что совершенно неизвестными для малочисленных русских отрядов.

## Колонизация Сибири

Территория Московской Руси при Иване Грозном была равна примерно 2.5–3 млн км<sup>2</sup>. Примерно — потому что границы княжества в реальности были весьма размытыми, особенно на лесном севере. И всего за семь десятков лет восточного зауральского броска российским первопроходцам удалось колонизовать не менее 12–13 млн км<sup>2</sup> сибирских и дальневосточных пространств. И, стало быть, пространства эти — опять же примерно — в четыре раза превысили территорию исходного российского домена. Скорость колонизаторского охвата гигантских пространств Сибири не может не поражать. Однако об истинных масштабах Сибири московская власть не имела в те поры ни малейшего представления. Первым делом нужно было обустроить здесь укрепленные места поселений. Появляются царские указы о необходимости строительства городов и острожков, и будет тогда на этих просторах *распространяться православная вера, и церкви Божия воздвигнутся, и проповедь Евангельского учения обтече во вся конца Сибирския земли, и псаломский гром огласит на мнозех местах* [7, с.65].

Чаще всего подобные указы были попросту благими намерениями. Желавших отправиться для заселения этих неизвестных и диких краев было совсем немного, и потому велено было переселенцев снабжать необходимым продовольствием. Но очень трудно было представить, как, скажем, крестьянская семья *со всем именем, да еще с двумя козами, пятью курами, парой утят* (таким предполагалось продовольствие переселенцев) бредет через Урал в совершенно необжитые и лишенные дорог бесконечные лесные дебри. Тем не менее колонизация началась, и шаг за шагом, прижимаясь к долинам больших и малых рек, на всех эти неохватных просторах стали возникать обнесенные деревянными стенами городки, острожки, зимовья. К концу XVIII в. их общее число должно было, кажется, перевалить за сотню. Однако эта — пусть даже не очень надежная — сеть невеликих укреплений ухитрилась накрыть все пространства от Урала до Тихого океана



Распространение основных центров и опорных пунктов российской колонизации Северной Евразии (1585–1700). Желтым цветом показан ареал Степного пояса. Значками отмечены основанные русскими первопроходцами города или городки (1) и небольшие остроги-крепостицы (2), стрелки указывают направление российского продвижения в пределах Степного пояса вдоль Волги к Каспийскому морю (3), а также зоны обитания и перемещения донского (4) и запорожского (5) казачества. Видно, что российская колонизация Северной Евразии не смогла пробиться в пределы Степного пояса, а в Забайкалье и Приамурье ей удалось лишь «коснуться» его северного края.

на и от океана Ледовитого до Амура и северной кромки Степного пояса.

Основной и важнейшей целью колонизации стало регулярное получение дани с коренных сибирских туземцев. Пушнина — вот что в первую очередь интересовало московскую власть — *для прибыли государственной, понеже в тех местех соболь и протчей зверь родитца*. Меха уже давно стали одним из основных видов своеобразной валюты для получения совершенно необходимых для России товаров с Запада, и *...соболиный промысел тотчас же был оценен Москвой по достоинству... <...> Вся добыча зверовщиков была обращена в государственную казну. Соболь, как впоследствии золото, был признан государственной регалией; велено было, чтоб весь соболь, уловленный в Сибири, сдавался в казну. <...> Скупщики, под строгим наказанием, обязаны были привезти их в Москву и сдать в Сибирский приказ...* [9, с.40].

Примечательным было также то, что все эти процессы неохватной колонизации совершенно неведомых земель требовали от Московской Руси несопоставимо меньшей доли общественной энергии, нежели традиционные и весьма разнообразные по характеру взаимодействия с тысячелетним врагом-союзником — Степным поясом. Поэтому мы с Востока вернемся на Юг, к нашей основной теме.

## Вновь к западной половине Степного пояса

Напомню, что после фактического падения Золотой Орды на передний план борений с Москвой выдвигается Крымское ханство. Стычки происходят едва ли не ежегодно, однако вспомним лишь об одном, наиболее драматичном для Московской Руси набеге. Как известно, Иван Васильевич Грозный в конце 1569 г. и начале 1570-х годов в походе на Великий Новгород с помощью опричников истребил множество тех, кого считал своими врагами. Там его жуткие и многократно описанные деяния отличались какой-то особой жестокостью и изощренностью. Может быть, отчасти и в связи с такими самоистреблениями русской знатной верхушки крымский хан Девлет-Гирей решил в это время ударить по Руси.

Правда, случилось это несколько позднее, в мае 1571 г. Иван Грозный, подобно своему не отличавшемуся отвагой деду, из Москвы исчез, а татары, подойдя к Москве, сразу же *...успели зажечь предместья: в ясный день при сильном ветре в три часа пожар истребил сухую громаду деревянных строений, один только Кремль уцелел; по иностранным известиям, войска и народу погибло до 800 000; допустив преувеличение при*

невозможности верного счета, вспомним, однако, что при вести о татарах в Москву сбежалось много народу из окрестностей, что во время пожара бежать было некуда: в поле — татары, в Кремль — не пускали... По русским известиям, людей погорело бесчисленное множество; митрополит с духовенством просидели в соборной церкви Успения; первый боярин, князь Иван Дмитриевич Бельский, задохнулся на своем дворе в каменном погребке, других князей, княгинь, боярынь и всяких людей кто перечтет? Москва-река мертвых не пронесла: нарочно поставлены были люди спускать трупы вниз по реке; хоронили только тех, у которых были приятели.

Пожар помешал татарам грабить в предместьях; осадить Кремль хан не решил и ушел с множеством пленных — по некоторым известиям, до 150 000... Когда Иоанн возвращался в Москву, то... представили ему гонцов Девлет-Гиреевых, которые подали царю такую грамоту от хана: «...я пришел на тебя, город твой сжег, хотел венца твоего и головы; но ты не пришел и против нас не стал, а еще хвалишься, что-де я московский государь! Были бы в тебе стыд и дородство, так ты б пришел против нас и стоял...» [6, т.6, с.587–588]. Слова Девлет-Гирея во многом повторяли те, которыми россияне хулили Ивана III, только на сей раз обвинения исходили от врагов.

## Крымская заноза

Крымчаки у государей Московии почти всегда вызвали самые неприятные ассоциации и обидные воспоминания. Через 115 лет после сожжения Москвы власти решились наконец на попытку придушить этот мерзкий очаг, и ...осенью 1686 года был сказан ратным людям поход на Крым. В царской грамоте говорилось, что поход предпринимается для избавления Русской земли от нестерпимых обид и унижения; ниоткуда татары не выведут столько пленных, как из нее, продают христиан как скот, ругаются над верою православною. Но этого мало: Русское царство платит бусурманам ежегодную дань, за что терпит стыд и укоризны от соседних государей, а границ своих этою данью все же не охраняет; хан берет деньги и бесчестит русских гонцов, разоряет русские города [6, т.14, с.379–380].

Во главе похода правительница Софья поставила своего душевного друга князя Василия Васильевича Голицына, талантами полководца, впрочем, не блиставшего. В мае 1687 г. войско двинулось в путь. Этого нелепого похода выразительно коснулось перо Алексея Толстого: Медленно двигалось войско, таща за собой бесчисленные обозы. Кончились городки и сторожи, вошли в степи Дикого поля. <...> Степь была пуста — ни дорог, ни троп. Передовые полки уходили далеко вперед, не встречая ни живой души. Видимо, татары за-

манивали русские полчища в пески и безводье. Люди ослабли от зноя и бескормицы. Потом зажгли степь... Однако в Москве царица Софья встретила Голицына как славного победителя.

Менее чем через два года, в феврале 1689 г., 112-тысячное войско вновь двинулось на юг. На сей раз удалось преодолеть степные дали и выйти к Перекопу. И здесь — у ворот Крыма, перед Перекопом — Голицын внезапно понял, что он совершенно не ведает — что же это ...такое Крым и как его завоевывать? Думали, что стоит только вторгнуться в Крым с большим войском, татары испугаются и отдадутся на волю победителя... Перекоп нужно было штурмовать, но войско буквально гибло без пресной воды. И вновь, как и в финале первого похода, ослепленная страстию Софья была в восторге... Голицын казался ей вторым Моисеем, проводившем людей своих по дну морскому... она видела действительно великий подвиг, великую победу [6, т.14, с.396].

Затем и Петр I устремляется к Крыму, но только со стороны Дона и Азовского моря. Два Азовских похода следуют один за другим: в 1695 и 1696 гг. Первый неудачный, второй более успешный — Азов взят, хотя и Крым, и Керченский пролив остались под Османской Портой. Через 15 лет вдохновленный победой над шведами под Полтавой Петр I направляется уже к Днестру, чтобы сразу наказать и турок, и крымских Гиреев. Тяжкая и общеизвестная неудача и этого похода 1711 г. привела к тому, что Россия потеряла все свои прошлые завоевания в Северном Причерноморье и Приазовье. Правда, замечу, что в отличие от Рюриковичей — царей Иванов III и IV — Петр I сам активно участвовал во всех этих походах.

Потом, уже спустя 25 лет, прошли «сдвоенные» — один за другим в 1736 и 1738 гг. — походы на Крым. Первым руководил довольно известный в нашей истории фельдмаршал Христофор Миних. Вторым — тоже фельдмаршал, но уже несравненно менее маститый и способный к воинским доблестям Петр Ласси. По своим результатам оба рейда производили весьма странное впечатление.

В первом походе сходу взят Перекоп, татары бегут, оставляя весь фураж и продовольствие. Ликование. Миних доносит в Петербург: Татары вышли из города так торопливо... свинцу досталось на всю армию да еще немало побросали в море; хлебом армия запаслась на 24 дня; казаки из близлежащих деревень нахватили до 10 000 баранов; получено было также много медной посуды, жемчугу, парчей и прочего добра. «Ныне армия — писал Миних — ни в чем недостатка не имеет и вся на коште неприятельском содержаться будет...» [6, т.20, с.398]. 17 июня взяли Бахчисарай, однако уже 25 июня внезапно отступили к Перекопу. Вдруг выяснилось, что надо уходить, поскольку нет ни воды, ни провианта.

Второй поход производил впечатление не менее странное. Наверное, в Петербурге задумали

его, чтобы исправить впечатление от нелепого финала похода Миниха. Вначале вроде бы также удача: возглавляемая Ласси армия перешла Сиваш и подошла к укреплениям Перекопа. Там крымчаки сдались, но через несколько дней появилось из глубин Крыма другое их войско и *начало беспокоить русский лагерь*. Поэтому на военном совете было решено, что раз *...армия терпит недостаток в воде и конских кормах, а неприятель прежде изнурения нашего войска не намерен вступить в сражение...* [6, т.20, с.432], то Крым следует покинуть.

Невзирая на это, в Петербурге вновь решили объявить поход победой. Официальный и не очень почитаемый ныне историк Д.Н.Бантыш-Каменский буквально воспел подвиг Ласси:

*В году 1738 фельдмаршал Ласси покрыл себя новою славой: вступил в Крым с тридцатипяти тысячною армией, не потеряв ни одного человека. <...> Перекоп сдался 26 июня с двух тысячным гарнизоном янычар. В нем найдено до ста пушек. Ласси пошел далее в Крым, который оказался почти пустынь. Взорвав все укрепления Перекопской линии, он возвратился в октябре месяце в Украину [10, с.210]. Странный, однако, получил-ся дифирамб!*

Покорился же Крым 45 лет спустя, уже в 1783 г., причем без единого выстрела. Сотворил это *сердечный друг* императрицы Екатерины II Григорий Потемкин, за что и был удостоен титула князя Таврического. Потемкин оказался много умнее своих предшественников: *...он считал более выгодным для России, чтобы «бородавка на носу», как он называл Крым, была ликвидирована неоперационным путем... Императрицу он извещал: «Я сторонник, чтобы они сами просили подданства...». <...> Шагин-Гирей объявил, что он добровольно слагает с себя ханское достоинство...* [11, с.248]. Так и получилось: крымская заноза, или *бородавка на носу*, тогда перестала досаждать России, но, увы, совсем не навечно и с неприятными повторами.

## Встреча с Гиреем — последним из Чингизидов

Теперь позволю себе немного отвлечься: мне удалось, правда, случайно встретиться с последним (с последним ли?) из Чингизидов-Гиреев. Судьба этой династии весьма любопытна, и потому подумалось, что краткая вставка об этой встрече несомненно может оживить повествование.



Герай в окружении посетителей-экскурсантов (1970). Действительно ли он последний из великого рода Чингизидов?..

Фото автора

Крымские ханы Гирей, как и почти все вожди тюркоязычных народов Степного пояса, вели отсчет своих поколений непосредственно от Чингисхана, считая себя безусловными Чингизидами. После присоединения Крыма к России Гирей были вынуждены покинуть Крым. Султан Оттоманской Порты определил ханам и их спутникам по бегству участок земель в Болгарии, на склонах Балканских гор (Старой Планины), с условием оборонять эту область Порты от нападений с севера. В 1970 г. я встретился с «наследником и потомком Чингизидов» — Гиреев, или Гераев, как это звучит в местном произношении. Была сделана фотография, на которой последний из династии стоит в центре группы с пышной родословной в руках. В ней на арабском языке помечены все многовековые связи его предков Гераев с самим Чингисханом. Деревянный дворец (по тюркски — сарай) хозяина представлял собой убогое зрелище (действительно очень похож на сарай), хотя во внутренних покоях сохранились сваленные в кучу великолепные резные деревянные панно — свидетельства давно минувшего величия.

Во время встречи с «наследником мировой славы» мне вспомнилось впечатление А.С.Пушкина от посещения им легендарной столицы крымских ханов: *В Бахчисарай приехал я больной. Я прежде слышал о странном памятнике влюбленной хана. К\*\* поэтически описывала мне его, называя la fontaine des larmes. Вошел во дворец, увидел я испорченный фонтан; из заржавелой железной трубки по каплям капала вода. Я обошел дворец с большой досадой на небрежение, в котором он истлевет, и на полуевропейские переделки некоторых комнат.*

Вот уж, поистине, *sic transit gloria mundi*.

## Перемены в мегаструктуре Евразийского мира

Читателям, возможно, показалось странным, что в статье уделено очень много внимания крушению Ядра Евразии и завоеванию Сибири, а наша основная тема — Россия и степной мир — оказалась будто бы отодвинутой на второй план. Но отвлечение было намеренным, поскольку за те две сотни лет, что последовали за началом слома Ядра Евразии, мегаструктура континента претерпела перемены кардинального характера. Весь гигантский лесной ареал материка, включая лесотундру и тундру, оказался под властью России еще накануне ее перехода в статус реальной империи.

Именно в колонизации необъятного лесного севера Азии крылся очевидный стратегический успех Руси-России на фоне предшествующего и нередко трагичного тысячелетнего противоборства с кочевыми и полукочевыми племенами Степного пояса. Ведь с самого зарождения степного домена мобильных скотоводческих культур лесная зона была для воинственных кочевников если не надежным, то по меньшей мере сравнительно безопасным тылом. Лесные охотники, рыболовы и собиратели, конечно, никогда всерьез не могли угрожать и не угрожали кланам скотоводов, а отсутствие у таежных племен сколько-нибудь консолидированных и хорошо вооруженных отрядов позволяло степнякам в случае бедствий и неудач (грозивших с юга или же исходивших от более успешных соседей) хотя бы на время найти убежище в северных лесных дебрях. Кроме того, подобно россиянам, степные скотоводы тоже брали с охотничьих народов ясак качественной пушниной.

Парадокс этой проявившейся вслед за стремительным завоеванием ситуации заключался в том, что никто из российских властей стратегической задачи подобного рода никогда не ставил. Нужно

было лишь завоевать земли *нечестивых Агарян*, овладеть «валютной» соболиной пушниной и обеспечить православию добро, чтобы могла *проповедь Евангельского учения обтече во вся конца Сибирския земли, и псаломский гром огласи на мнозех местах*. По всей вероятности, ситуация сформировалась словно сама собой, и остается неведомым, когда же для россиян стал очевидным смысл и эффект того завидного, но столь нежданно проявившего себя стратегического успеха. Наверное, новые реалии раньше всех и очень болезненно ощутили на себе степные номады, почти внезапно лишенные привычного для них тыла. Теперь уже некогда мирный лесной север мог угрожать им весьма ощутимыми бедами. Причем в большей степени это отражалось на кочевых культурах западной половины Степного пояса. Восточную же половину с 1644 г. поглотила маньчжурская империя Цин, и корни этой династии — правда, достаточно отдаленные — были связаны со скотоводческими племенами степной Маньчжурии.

Домен кочевых культур Запада оказался под опасным, удушающим прессом не только с юга, но и с севера. Положение усугублялось тем, что контраст исходного «водораздела» — в основе все-таки геоэкологического — резко усилился разрывом идеологическим. На лесном севере господствовал мир восточного христианства — православия. Западная половина Степного пояса стала миром ислама в его северных вариантах, но притом имевшим достаточно надежную опору в лице Османской империи и Ирана времен династии Сефевидов. На фоне возраставшего жестокого идеологического противостояния все дальше и дальше уходила в прошлое, шаг за шагом становилась все труднее понимаемой и объяснимой поразительная религиозная толерантность победоносных монголов времен Чингисхана и ранних Чингизидов. ■

## Литература

1. Черных Е.Н. Культуры номадов в мегаструктуре Евразийского мира. Т.2. М., 2013.
2. Черных Е.Н. Структура Евразийского мира на фоне геоэкологии после открытия металлов: Север-Юг // Природа. 2011. №7. С.3–13.
3. Черных Е.Н. Структура Евразийского мира на фоне геоэкологии после открытия металлов: Запад—Восток // Природа. 2011. №8. С.43–54.
4. Саводник В. Краткий курс истории русской словесности. С древнейших времен до конца XVIII века. 3-е изд. М., 1915.
5. Словоцов П.А. Историческое обозрение Сибири. Книга первая. С 1585 до 1742 год. М., 1838.
6. Соловьев С.М. История России с древнейших времен. М., 1988–1995.
7. Летопись Сибирская, содержащая повествование о взятии Сибирския земли Русскими, при царе Иване Васильевиче Грозном; с кратким изложением предшествовавших оному событий. Издана с рукописи XVII века / Сост. и комм. Г.Спасский. СПб., 1821.
8. Скрынников Р.Г. Сибирская экспедиция Ермака. Новосибирск, 1982.
9. Потанин Г.Н. Завоевание и колонизация Сибири // Живописная Россия. 1884. Т.11. С.31–48.
10. Бантыш-Каменский Д.Н. Биографии российских генералиссимусов и генерал-фельдмаршалов с 48 портретами. Ч.1. СПб., 1840.
11. Павленко Н.И. Екатерина Великая. М., 2004.

# Узоры на когтях дьявола

В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе  
Москва

В 2016 г. исполняется ровно 200 лет с момента установления выдающимся палеонтологом Д.Соверби в келловейских отложениях Англии культового, как сейчас принято говорить, вида устриц *Gryphaea dilatata*. Эти двустворчатые моллюски характеризуются крупными (до 15 см) размерами, неравностворчатой массивной широкой раковиной (название данный вид получил от латинского слова *dilatation* — широкий) овального или грушевидного очертания. Левая створка выпуклая, с крупной, клювовидно изогнутой назад макушкой. Правая — вогнутая, крышкообразная, округлая или овальная. Из-за характерной формы левой створки эти окаменелости в Европе издавна называли «когтями пальцев ног дьявола». Их считали волшебными талисманами, которым в том числе приписывалась магическая способность справляться с физическими недугами. В частности, в Шотландии в XVII в. люди верили, что ношение такого «когтя» облегчает артритные боли.

Одна из ярких особенностей *G.dilatata* — сильно развитая способность к эпibiонтии (прикреплению цементацией на ранних стадиях развития к субстрату). Форма макушки левой створки поэтому очень изменчива. Ее вершина часто лишена естественной скульптуры и несет разнообразные узоры — следы прирастания.

Прикрепление к субстрату цементацией фиксируется у многих беспозвоночных, предпочитающих неподвижный образ жизни, причем одни из них прирастают всей нижней поверхностью, а другие только отдельной (как правило, начальной) частью скелетных структур.

Личинки современных устриц в течение некоторого времени ведут плавающий планктонный образ жизни. Затем они начинают подыскивать себе подходящее пристанище для дальнейшего неподвижного существования. К этому моменту они уже имеют вполне сформировавшуюся рако-



«Коготь дьявола» — левая створка устрицы *Gryphaea dilatata* из оксфордских отложений Нижних Мнёвников (г.Москва).

Здесь и далее образцы и фото автора

винку и ногу, с помощью которой при оседании на дно личинка ползает в поисках удобного места. Часто ползание чередуется с плаванием, пока наконец моллюск не найдет благоприятный субстрат. Личинка размером не более 3 мм ложится на левую створку и биссусной железой выделяет цементирующее вещество. Последнее быстро твердеет в воде, а затем обызвествляется. Закрепление моллюска обычно происходит в течение нескольких минут. После цементации нога атрофируется. При дальнейшем росте устрица продолжает выделять органическое обызвествляющееся вещество. Площадка прикрепления разрастается, а животное все крепче и крепче связывается с грунтом.

В зависимости от характера субстрата поверхность прикрепления твердых оболочек бывает гладкой или в негативном виде отражает рельеф подложки, т.е. представляет ее отпечаток.

Субстратом для прикрепляющихся цементацией организмов служат лишенные рыхлых наносов дно бассейна, приподнятые над уровнем осадков предметы неорганического происхождения, твердые части скелетов (как погибших, так и живых существ), а также всевозможные плавающие предметы. Вместе с последними прикрепленные организмы переносятся волнами и течениями и вследствие этого могут захороняться на разных глубинах.



Прикрепление трубок-домиков современных полихет и мшанок к гальке. Ширина образца 7 см.

Большое значение имеет факт прикрепления эпибионта к скелету другого организма при его жизни или уже после гибели. В первом случае оба организма представляют собой один биоценоз и могут использоваться для фациальных реконструкций. Во втором же выводы, основанные на экологическом анализе обеих форм, неточны, поскольку существо-субстрат может не только не входить в состав данного биоценоза, но и быть более древним. Достаточно веское доказательство прикрепления на «живую подложку» — расположение приросших форм на периферийных частях раковин, обеспечивающее лучшие условия питания при функционировании организма-субстрата. Находки прикрепленных беспозвоночных на внутренних участках скелетных образований или на поверхностях, которые при жизни организма были закрыты мягким телом, свидетельствуют о поселении на отмерших животных. Не менее яс-



Прикрепление створок устриц друг к другу и к гальке. Ширина образца 8 см.

ное указание на прирастание к погибшей форме — расположение эпибионта на обеих створках двустворчатых раковин, препятствующее их нормальной жизнедеятельности. Прикрепление к глубоко зарывшимся беспозвоночным также возможно только после их смерти.

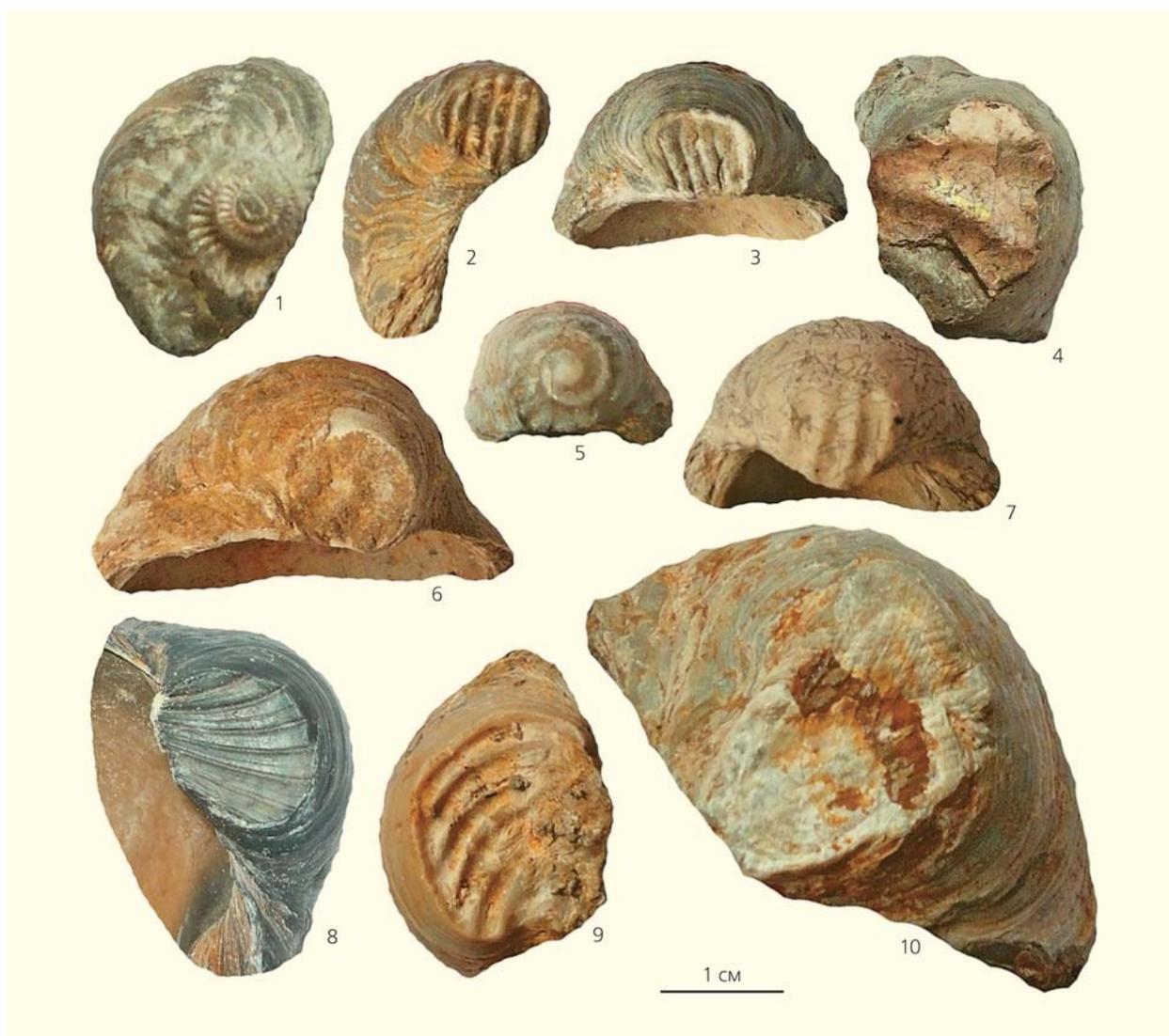
Размеры площадки прикрепления определяются продолжительностью существования организма в прикрепленном состоянии [1]. Последнее зависит от величины и характера субстрата. Если дно акватории твердое, то животное может находиться в прикрепленном положении в течение всей жизни. Если же субстратом служит предмет, приподнятый над уровнем рыхлого подвижного осадка, то продолжительность нахождения на нем прикрепленного организма зависит от характера и величины этого предмета. Например, небольшая раковина некоего организма могла служить субстратом для устрицы-грифеи



Устрица *G. rarilamella* из ипрского яруса (средний палеоген) Горного Крыма с крупной площадкой прирастания. Ширина образца 9 см.



Прикрепление мелких устриц к створке устрицы *Pycnodonte mirabilis* из маастрихтского яруса (верхний мел) Горного Крыма. Ширина образца 17 см.



Устрицы *G. dilatata* с ксеноморфными площадками прикрепления к раковинам: 1–7 — аммонитов; 8–10 — двустворчатых моллюсков.

на ранних стадиях роста, когда ее скелет был небольшим и потому относительно легким. С ростом моллюска раковина организма-субстрата будет не в состоянии его удерживать. Она приподнимется над грунтом и станет «в буквальном смысле слова, пленницей устрицы» [2, с.256], а сам эпибионт перейдет к свободно лежащему образу жизни.

Материалом для данного исследования послужила коллекция *G. dilatata* из оксфордских отложений московского района Нижние Мнёвники, собранная мной в период с 1971 по 1996 г. и насчитывающая 32 левые створки. Ископаемые остатки из этого местонахождения частично описаны ранее [3–5], однако детально оксфордские окаменелости еще никто не анализировал.

Пять экземпляров из коллекции не несли следов прирастания. Остальные же характеризова-

лись многообразными площадками прикрепления, свидетельствующими об осаждении устриц на твердые объекты, которые обеспечивали опору и устойчивость эпибионта: биосубстрат (раковины обитателей морского дна и находящиеся на нем остатки нектонных форм) и жесткий литосубстрат (выступающие над поверхностью рыхлого осадка куски горной породы и галька).

Четырнадцать экземпляров устриц имели площадки прикрепления с признаками прирастания исключительно к раковинам беспозвоночных (или их фрагментам), что позволяет считать последних одновозрастными с *G. dilatata*. Грифеидные устрицы использовали преимущественно (78.5%) остатки аммонитов, которые, вероятно, морфологически более выгодны для прикрепления. Осаждение на раковины двустворчатых моллюсков менее распространено (21.5%).



Устрицы *G. dilatata* с ксеноморфными площадками прикрепления: 1–3 — к горной породе, содержащей остатки ископаемых организмов; 4–9 — к горной породе без остатков организмов; 10 — к гальке.

Среди трех известных способов прирастания (прикрепление, обрастание и облекание) устриц к твердым элементам субстрата [6] у наших форм было установлено только прикрепление. Это наиболее простой тип прирастания, который характеризуется небольшой ровной ксеноморфной площадкой и сопровождается незначительными изменениями морфологии раковины, затрагивающими только макушку. К сожалению, небольшой размер площадки затрудняет определение таксономической принадлежности биосубстрата и степени прижизненности симбиозов.

Судя по полученным данным, личинки выбирали аммониты с достаточно выразительными ребрами. В большинстве случаев (81.8%) устрица прирастала к боковой части его раковины за пределами умбиликуса. Обнаружена лишь одна створка, которая крепилась к раковине аммонита

с внутренней стороны. Об этом свидетельствует сохранившийся на площадке фрагмент перламутрового слоя. Еще две грифеи прирастали к умбональной части раковины.

Прирастание к аммонитам при их жизни представляется маловероятным. По всей видимости, устрицы прикреплялись исключительно на отмерших животных.

Зоной осадения личинок на двустворчатых моллюсках служила только наружная выпуклая часть хорошо орнаментированных раковин. Что касается систематического статуса организма-хозяина, то отчетливые отпечатки ребер и пластин нарастания позволяют предположить *Oxytoma*, *Pholadomya* и *Trigonia*. Поселение устриц на двустворках, скорее всего, также представляет собой посмертное прикрепление. Прижизненное прирастание к двустворкам возможно. Однако оно,

как и симбиотическая эпибионтия, достоверно не установлено.

Обнаружено три случая прикрепления устриц к горной породе, содержащей раковины ископаемых беспозвоночных. Оседание личинки в равных пропорциях происходило на плоскую, вогнутую и выпуклую поверхность литосубстрата. В образцах фиксируются следующие отпечатки: отчетливый умбональной и неясный боковой частей раковины аммонита, раковины двустворчатого моллюска *Buchia* с характерной концентрической скульптурой, а также фрагмента гладкого оборота внутреннего ядра брюхоногого моллюска *Pleurotomaria*. Присутствие этих окаменелостей в горной породе позволяет считать их более древними, чем *G.dilatata*.

Большим разнообразием отличаются ксеноморфные площадки прикрепления устриц к кускам горной породы. Установлены плоские площадки с гладкой и неровной поверхностями, а также неровные — вогнутые и выпуклые.

Две створки обладали удлиненными гладкими вогнутыми площадками, свидетельствующими о прикреплении личинки к небольшому удлиненному предмету, скорее всего, гальке. Вполне возможно, что рубцы такого облика могли формироваться и при креплении к рострам белемнитов.

Материал субстрата в подавляющем большинстве случаев на ксеноморфной площадке грифей не сохраняется. Открепление от различных субстратов в процессе онтогенеза для устриц характерно и происходит на разных стадиях их полноценного развития. Этот процесс мало зависит от особенностей объекта поселения и, вероятно, связан с «различием биохимического состава каркаса поселенцев и хозяина» [6, с.19]. Исключением могут быть «только объекты мелких размеров, кото-

рые в процессе онтогенеза устрицы облекаются раковинным веществом, что может привести в ряде случаев к замуровыванию в раковину эпибионта» [7, с.44].

Представители *G.dilatata* предпочитали крепиться как на возвышенных площадках (44.4%), так и в понижениях субстрата (37%) и не любили ровные поверхности (18.6%). Самые крупные ксеноморфные площадки (2.5–2.7 см) формировались, когда личинки прикреплялись на возвышенных площадках.

При комплексных исследованиях устричных особенно важно изучать особенности их прижизненного прикрепления именно к макрофаунистическим объектам. Нередко многие остатки из-за неблагоприятных условий захоронения бесследно разрушаются, и потому практически невозможно выяснить полный систематический состав древних биоценозов. Скрупулезное изучение отпечатков поверхности биосубстрата на эпибионтах, массивные толстостенные раковины которых оказываются более устойчивыми, позволяет получить дополнительную информацию о систематике населения морского бассейна и, таким образом, заполнить часть пробелов палеонтологической летописи. Тщательная диагностика раковинного материала из нашей коллекции и анализ ксеноморфных площадок прикрепления грифей позволили определить присутствие в составе сообщества некоторых форм (двустворок *Oxytoma*, *Pholadomya* и *Trigonia*), остатки которых в данном местонахождении до сих пор не были обнаружены (либо не сохранились).

Результаты изучения ксеноморфных площадок устриц также могут оказаться полезными при стратиграфических и палеобиогеографических построениях. ■

## Литература

1. Марковский Б.П. Методы биофациального анализа. М., 1966.
2. Коробков И.А. Введение в изучение ископаемых моллюсков. Л., 1950.
3. Лукашенко С.В., Наянова Т.Ф., Комаров В.Н. Местонахождение ископаемых остатков зоны *Virgatites virgatus* в Нижних Мнёвниках (г.Москва) — уходящая натура // Известия вузов. Геология и разведка. 2009. №1. С.3–7.
4. Лукашенко С.В., Наянова Т.Ф., Комаров В.Н. Ископаемые остатки зоны *Virgatites virgatus* из местонахождения Нижние Мнёвники (г.Москва) // Новые идеи в науках о Земле. Тезисы докладов IX Междунар. конф. Т.1. М., 2009. С.78.
5. Рожкова Ю.П., Шекина А.Д., Комаров В.Н. Биоразнообразие ископаемых зоны *Virgatites virgatus* из местонахождения Нижние Мнёвники (г.Москва) // Палеонтология и эволюция биоразнообразия в истории Земли (в музейном контексте). М., 2012. С.108.
6. Иванов А.В., Первушов Е.М. Некоторые результаты изучения прикрепленных представителей позднемеловой морской фауны // Учен. зап. геол. фак-та Саратовского гос. ун-та. Нов. сер. Вып.1. 1997. С.19–28.
7. Иванов А.В. Уточнение систематического состава морских палеобиот на основе анализа эпибионтии (на примере устричных) // Известия вузов. Геология и разведка. 2003. №6. С.43–45.

# Нефтяное загрязнение Азовского и Черного морей растёт

Научные сообщения

академик Г.Г.Матишов  
О.В.Степаньян,  
кандидат биологических наук  
В.М.Харьковский,  
кандидат химических наук  
В.Г.Сойер,  
кандидат географических наук  
Южный научный центр РАН  
Ростов-на-Дону

Нефтяное загрязнение Мирового океана — глобальная проблема, решению которой зарубежные и отечественные ученые уделяют большое внимание [1–3]. Оценки же загрязнения нефтью морских ворот юга России — Азовского и Черного морей — встречаются в научной литературе не так часто [4–7]. Вместе с тем известно, что за последние 10 лет загрязненность вод южных

морей, а также р.Дон существенно возросла [4–7]. Одной из причин роста стали непрерывные перевозки нефти и нефтепродуктов танкерами класса «река—море». Так, в Черное море ежегодно приходит более 50 тыс. судов, перевозящих свыше 100 млн т нефти [5]. Нередко происходят аварии, приводящие к залповым выбросам, при этом сотни и тысячи тонн нефти или нефтепродуктов попадают в воду. Такое случилось, например, в 2007 г. в Керченском проливе.

© Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Сойер В.Г., 2016



Нефтяные танкеры класса «река—море» в Керченском проливе.

Фото Д.А.Бухмина, В.В.Поважного, В.Л.Сёмина



Последствия катастрофы 2007 г. в Керченском проливе.

Фото Г.Г.Матишова

В наше время для оценки загрязненности морских акваторий нефтью широко используют спутниковые технологии [8]. Однако источники и уровень загрязнения из космоса определить сложно. Эта проблема особенно актуальна для Черного моря. Дело в том, что здесь наряду с нефтепродуктами перевозится много пальмового масла. Емкости (танки) как нефтяных танкеров, так и масловозов должны периодически промываться. Но вода от промывки нефтеналивных судов сдается в специальные береговые приемники. Промывка же танков масловозов в Черном море не регламентирована и не запрещена, что приводит к попаданию в морскую воду большого количества эмульсии «морская вода – пальмовое масло». Она растекается по поверхности и образует слики – пятна, похожие на нефтяные. Их очень сложно идентифицировать на спутниковых снимках [8]. В связи с этим значительно возрастает роль судовых и стационарных наблюдений, особенно в акваториях с максимальным уровнем загрязнения. Кроме того, важно знать состояние воды зимой – в период, когда оценка нефтяного загрязнения с использованием дистанционных технологий затруднена.

С 2007 г. Южный научный центр ежегодно проводит более пяти морских экспедиций. В устье Дона функционирует постоянный стационар «Донской» [9, 10]. Одно из приоритетных направлений наших исследований – изучение загрязнения воды углеводородами нефти.

Здесь мы хотели бы привести результаты оценки загрязненности вод нефтепродуктами с конца 2012 г. по начало 2014 г. Данные получены в районах с наибольшей активностью транспортных потоков – на нижнем Дону, в Азовском море, Керченском проливе и Черном море. Определение нефтепродуктов мы проводили стандартным методом: с экстракцией тетрахлорметаном, выделением углеводородных фракций методом колонной хроматографии и ИК-регистрацией на концентратомере КН-2м [1].

## Река Дон

В воде Веселовского водохранилища, расположенного на р.Маныч – левом притоке Дона, содержание нефтяных углеводородов варьировало от аналитического нуля (менее 0.015 мг/л) до 0.04 мг/л (табл.). Измерения здесь проводились осенью 2012 г. Заметим, что значение предельно допустимой концентрации (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов – 0.05 мг/л.

В этот же сезон в водах Дона вдали от населенных пунктов регистрировались концентрации в пределах 0.03–0.04 мг/л. Рядом с крупными городами содержание нефтепродуктов в воде возрастало до 0.1 мг/л. В районе порта Усть-Донецк зафиксирована максимальная концентрация 0.122 мг/л.

**Таблица**  
**Среднее содержание нефтепродуктов в воде (мг/л)**

Район	год, месяц				
	2012, ноябрь	2013, май	2013, июль	2013, ноябрь	2014, февраль
Нижний Дон	0.066 (0.034/0.122)*	0.056 (0.046/0.120)	0.144 (0.046/0.240)	—	—
Устье Дона	0.071 (0.058/0.120)	0.036 (0.020/0.078)	0.074 (0.020/0.234)	0.055 (0.044/0.136)	0.168 (0.117/0.217)
Таганрогский залив	0.080 (0.068/0.096)	0.110 (0.029/0.468)	0.079 (0.020/0.178)	0.120 (0.096/0.270)	0.392 (0.064/0.802)
Азовское море	—	0.032 (0.020/0.045)	0.220 (0.036/0.343)	0.090 (0.044/0.195)	0.251 (0.204/0.299)
Керченский пролив	—	0.093 (0.045/0.199)	0.789 (0.506/1.337)	0.224 (0.148/0.699)	—
Черное море, Анапа	—	0.068	0.080	0.092	—
Черное море, Новороссийск	—	0.098	0.853	0.123	—
Черное море, Геленджик	—	0.042	0.334	0.078	—
Черное море, Туапсе	—	0.219	0.767	0.165 (0.093/0.238)	—
Черное море, Пицунда	—	0.107	0.122	0.084	—
Черное море, Сухум	—	0.090	0.055	0.170 (0.087/0.280)	—

\* в скобках указаны минимальное и максимальное значения концентрации углеводородов нефти

В дельте, в районе скопления транзитных судов, проводились ежечасные измерения в декабре 2012 г. Здесь содержание нефтепродуктов в среднем составляло 0.085 мг/л. У края дельты оно повышалось до 0.134 мг/л, а после выхода в залив снижалось, не превышая 0.075 мг/л. Такое загрязнение воды можно назвать умеренным.

Весной и летом 2013 г. содержание нефтяных примесей в речной воде выросло. Самыми загрязненными протоками верхней части дельты Дона оказались Большая Кутерьма (0.42 мг/л) и Мертвый Донец (0.601 мг/л). В нижней части дельты средняя концентрация нефтепродуктов увеличилась до 0.078 мг/л, а максимальное значение превысило 0.23 мг/л. На выходе в Таганрогский залив содержание нефтепродуктов изменялось от 0.112 до 0.217 мг/л.

Зимой 2013–2014 гг. нефтяное загрязнение в устье Дона осталось на высоком уровне — до 0.22 мг/л.



Караван нефтяных танкеров «река—море» на р.Дон (июнь 2015 г.)

Фото О.В.Степаньяна

## Азовское море и Керченский пролив

В Таганрогском заливе максимальные концентрации нефтепродуктов приурочены к его восточному району. При этом содержание нефтяных компонентов в придонном слое воды практически повсеместно (как в заливе, так и в самом море) выше, чем в поверхностном.

Наиболее высокие концентрации нефтепродуктов отмечены в акватории Керченского пролива и предпроливья. Здесь обычно проходит много судов и ведется интенсивная хозяйственная деятельность (перевалка грузов, рыболовство). Велико содержание нефти и в районе портов Кавказ и Керчь. По данным предшествующих исследований, загрязненность воды Керченского пролива нефтепродуктами в начале 2000-х годов составляла 0.02–0.12 мг/л, наибольшая концентрация (0.29 мг/л) была зарегистрирована однократно в 2002 г. в зоне судового хода [11].

В ноябре 2007 г. над Черным и Азовским морями пронесся редкий по силе ураган. В это время

в Керченском проливе находились десятки нефтеналивных судов. В результате шторма несколько кораблей затонуло, многие были сорваны с якорей и оказались на мели. Более 3 тыс. т мазута попало в воду [5]. По нашим данным, в первые дни после катастрофы концентрация нефтепродуктов в поверхностном горизонте достигала 2.5 мг/л, в водной толще — до 0.22 мг/л [7]. Через неделю уровень загрязнения снизился, составив 0.94 мг/л у дна и 0.20 мг/л в поверхностном слое воды. Значительная часть мазута попала в мелководный Таманский залив, где его концентрация местами повысилась до 0.41 мг/л, но при этом основная часть залива осталась чистой. Спустя месяц загрязненность вод пролива уменьшилась до 0.24 мг/л. До конца 2008 г. содержание углеводородов нефти в морской воде продолжало снижаться, достигнув 0.05–0.10 мг/л. В результате разлива и последующей за ним экологической катастрофы в прибрежных районах пострадало множество водных и околоводных птиц.

В течение 2013 г. концентрация нефтепродуктов в водах Керченского пролива изменялась от



Птицы, пострадавшие от разлива нефти (Керченский пролив, ноябрь 2007 г.).

Фото Р.М.Савицкого



Нефтяная пленка на дамбе Тузла (февраль 2005 г.). Незаметная на штормовой поверхности, она становится видимой при попадании в береговую зону и дает наглядное представление об уровне загрязнения нефтепродуктами воды Керченского пролива.

Фото О.В.Степаньяна

0.045 до 1.337 мг/л. В феврале 2014 г. отмечен высокий уровень загрязнения воды Азовского моря, максимальные значения концентрации нефтепродуктов зафиксированы в западной части Таганрогского залива (до 0.802 мг/л), а минимальные — в самом море (до 0.299 мг/л). В остальные периоды загрязненность была существенно ниже. Такое повышение содержания нефтепродуктов в зимний

го периода возрастет, Азовское море будет оставаться подо льдом до четырех месяцев [13]. Следует ожидать и роста загрязнения акватории нефтепродуктами (при условии сохранения или увеличения интенсивности зимних морских перевозок) в течение более длительного времени, чем сегодня, что, несомненно, негативно скажется на морской биоте и ихтиофауне.

период можно объяснить. Несмотря на то что с ноября по март Азовское море покрыто льдом, интенсивность судоходства здесь не снижается [12]. По нашим наблюдениям, только из портов Азов и Ростов-на-Дону проходит до 30 судов (сухогрузов и танкеров) в сутки, примерно столько же добавляют порты Мариуполь и Ейск. Ледовый покров препятствует перемешиванию морских вод, и нефтяные компоненты остаются в поверхностном слое. Следовательно, концентрация углеводородов нефти в подледных пробах, взятых по ходу движения судов, оказывается выше, чем на открытой воде. Именно поэтому в западной части Таганрогского залива загрязнение достигает 16 ПДК.

Отметим, что в ближайшие годы продолжительность зимне-



Припортовая акватория Новороссийска.

Фото А.И.Савикина

## Черное море

Данные многолетних наблюдений показали, что концентрации нефтепродуктов в водной толще северо-восточного побережья Черного моря изменялись в широком диапазоне — от <0.015 до 4.90 мг/л [4, 5, 11].

Весной 2013 г. содержание нефтепродуктов в российской части моря составило 0.042–0.068 мг/л. Самыми загрязненными оказались воды Республики Абхазия (0.039–0.292 мг/л). Это может быть связано как с трансграничным переносом нефти со стороны Грузии из порта Батуми, так и с возможным сбросом отработанных технических вод с украинских и турецких судов, осуществляющих весенний лов хамсы в пределах узкой шельфовой зоны.

В летний период максимальные концентрации нефтепродуктов наблюдались в припортовых акваториях Новороссийска (0.853 мг/л) и Туапсе (0.767 мг/л), минимальные — в районе Геленджика и в водах Абхазии. В осенний период (ноябрь) отмечено повсеместное снижение уровня загрязнения. Самыми чистыми оказались акватории Ге-

ленджика и Анапы, а также Абхазии. В районе Новороссийска и Туапсе отмечено снижение уровня нефтепродуктов в воде в 5–6 раз по сравнению с летом, но полученные значения все же составляли 2–3 ПДК.

Таким образом, сильнее других в течение всего года загрязнены акватории в районах Новороссийска и Туапсе — зоны крупных нефтяных портов и активных морских перевозок нефти. Курортные акватории Анапы и Геленджика значительно чище в весенний период, летом и осенью концентрация углеводородов здесь возрастает в два раза. В Абхазии выявлены относительно низкие концентрации нефтепродуктов, но судоходство, рыбный промысел и трансграничный перенос из Грузии приводят к их росту, особенно весной. Азовское море загрязнено зимой сильнее, чем можно было ожидать, что связано с интенсивным танкерным и балкерным судоходством, продолжающимся даже в ледовых условиях. В заключение отметим, что на всей обследованной акватории от Нижнего Дона и Керченского пролива до Анапы и Сухума уровень загрязнения углеводородами нефти все же превышает ПДК. ■

**Работа выполнена в рамках проектов базового бюджетного финансирования ЮНЦ РАН (проект 01201450487) и проектов RFMEFI60414X0050 и RFMEFI60714X0059.**

## Литература

1. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М., 2013.
2. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. М., 2001.
3. Нельсон-Смит А. Нефть и экология моря. М., 1977.
4. Немировская И.А., Полякова А.В., Юхимук В.Д. Распределение и состав углеводородов в прибрежных водах северо-восточной части Черного моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2013. №6. С.16–22.
5. Матишов Г.Г., Инжебейкин Ю.И., Савицкий Р.М. Воздействие на среду и биоту аварийного разлива нефтепродуктов в Керченском проливе в ноябре 2007 г. // Водные ресурсы. 2013. Т.40 №3. С.259–273.
6. Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Соьер В.Г. Современные данные по загрязнению Азовского и Черного морей углеводородами нефти // Вестник Южного научного центра. 2014. Т.10. №4. С.49–52.
7. Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А. Нефтяные компоненты в устьевой области р.Дон и в Азовском море (результаты многолетних исследований) // Водные ресурсы. 2014. Т.41. №1. С.49–59.
8. Иванов А.Ю., Кучейко А.А., Филимонова Н.А. и др. Использование космической радиолокационной съемки и данных автоматических систем идентификации судов для выявления судовых разливов в Черном море // Исследование Земли из космоса. 2013. №5. С.84–96.
9. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Степаньян О.В. Морские экспедиционные исследования Южного научного центра РАН и Института аридных зон на научно-исследовательском судне «Денеб» в 2008–2011 гг. // Океанология. 2013. Т.53. №2. С.276–278.
10. Матишов Г.Г., Степаньян О.В. Научно-исследовательское судно «Денеб»: 5 лет морских экспедиционных исследований // Вестник Южного научного центра. 2012. Т.8. №3. С.92–96.
11. Еремеев В.Н., Иванов В.А., Ильин Ю.П. Океанографические условия и экологические проблемы Керченского пролива // Морской экологический журнал. 2003. Т.2. №3. С.27–40.
12. Матишов Г.Г., Степаньян О.В. В Азовском море и зимой кипит жизнь // Природа. 2013. №3. С.20–23.
13. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гаргона Ю.М., Дашкевич Л.В. Замерзание Азовского моря и климат в начале XXI века // Вестник Южного научного центра. 2010. Т.6. №1. С.33–40.

# Менделеевит: новые ракурсы исследования

Л.П.Рихванов,

доктор геолого-минералогических наук

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научные сообщения

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (НИТПУ) — хранитель уникальных коллекций минералов и руд различных типов, собранных геологами на урановых и редкометалльных месторождениях нашей страны. Основной фонд, включающий около 2000 образцов, служит базой для научно-исследовательской работы студентов и преподавателей созданного в 2008 г. при кафедре геоэкологии и геохимии НИТПУ Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология». В 2015 г. специалистам удалось изучить с помощью современного оборудования (альфа- и гамма-спектрометров, электронных и оптических микроскопов с системой визуализации) очень редкий радиоактивный минерал — менделеевит\*, названный в честь автора Периодической системы химических элементов Д.И.Менделеева.

Его нашел в 1914 г. в пегматитовых жилах юго-западного Прибайкалья горный инженер К.Ф.Егоров и передал в дар Томскому технологическому институту (ныне НИТПУ). На протяжении десятилетий менделеевит оставался неизученным, хотя мог бы многое рассказать об истории формирования земной коры. Сегодня минерал обнаружен в трех точках юго-западной части оз.Байкал. Как выяснилось, он идентичен минералу бетафиту, который был найден в 1912 г. на о.Мадагаскар в районе г.Бетафо (провинция Антананариву). Из-за ограниченного распространения менделеевит так и не стал сырьем для добычи урановой руды. Но его можно было бы рассматривать как важный сырьевой источник ниобия и тантала.

Интересны факты из истории открытия менделеевита. В 1914 г. в «Известиях Императорской академии наук» вышла в свет статья К.Ф.Егорова «О находке радиоактивных минералов на Байкале» [1]. В ней автор пытался разобраться с волнениями, возникшими в 1912 г. в Иркутске по пово-

ду якобы найденных на Байкале колоссальных залежей смоляной урановой руды в виде пласта мощностью до одной сажени (2.16 м). Изучив образцы минерала, которые находились в музее Сибирского отдела Императорского Русского географического общества в Иркутске и у начальника Горного округа, с помощью сцинтилоскопа (видоизмененной версии сцинтариоскопа — прибора для визуального наблюдения альфа-частиц, изобретенного в 1903 г. английским физикохимиком У.Круксом), Егоров, к своему удивлению, не обнаружил ожидаемого эффекта радиоактивности. Заявив, что «смоляная руда — не урановый минерал», он отправил образцы смолки или смолы (на местном наречии) для анализа в Петербург, в Горный институт, а сам тем временем выехал на Байкал, в район станции Слюдянка, где нашли смоляную руду.

Заметим, самая южная точка Байкала давно привлекала внимание исследователей. За исключительное разнообразие минеральных ресурсов, сконцентрированных на относительно компактной территории, Слюдянку называли природным музеем. Здесь было выявлено свыше 100 видов минералов. Еще в XVIII в. в районе проводили старательские разработки и вели добычу слюды. Позже открыли месторождения «лазорезового камня» — лазурита, а также апатита, байкалита и других ценных минералов. В 1831 г. в этих местах побывал известный геолог М.А.Злобин. В геологическом описании местности вдоль р.Слюдянка, опубликованном в 1832 г. в «Горном журнале» — старейшем периодическом издании России в области горного дела, он упомянул о минерале под названием «смолистый уран», который был обнаружен на Байкале в виде вкраплений в граните [2]. Никаких характеристик, даже общих, автор не приводил. Радиоактивность как явление самопроизвольного распада атомных ядер, сопровождающегося испусканием частиц и жесткого электромагнитного излучения, еще не открыли, хотя об уране, выделенном в 1789 г. немецким химиком М.Г.Клапротом в виде двуокиси, и урановой смоляной руде уже знали. Рудокобы Германия и Чехии, которые с XVI в. разрабатывали богатые месторождения Рудных гор в самом центре Европы, минерал черного цвета со смоляным блеском, залегающий попутно с нике-

\* Комиссия по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов Международной минералогической ассоциации, которая не утверждала название «менделеевит», квалифицировала этот минерал как локальную разновидность бетафита. — *Примеч. ред.*

лем, кобальтом и серебром, называли «обманкой»: он «засорял» руды и был лишь помехой при выплавке металла, поэтому его выбрасывали в отвалы пустой породы. С тех пор за ним закрепилось название «урановая смоляная обманка».

До Егорова, в 1911 г., в районе Слюдянки по поручению В.И.Вернадского побывал известный минералог и геохимик К.А.Ненадкевич. В те годы Вернадский изучал свойства радиоактивных минералов, организовывал экспедиции по их поиску на Урал, в Предуралье, Ферганскую долину, в горы Кавказа и на оз.Байкал (сам побывал в Забайкалье летом 1914 г.). Ненадкевич, занимавшийся исследованием новых видов минерального сырья и разработкой способов извлечения редких металлов из руд, помогал ему в этой работе. После визита ученого в район Слюдянки местные жители заинтересовались обнаруженным в их краях черным смолистым камнем, который мог оказаться урановой смоляной рудой, и стали закреплять приметные участки за собой. Интерес к смолке подогревали также статьи Вернадского «О необходимости исследования радиоактивных минералов Российской империи» (1910) и «Задачи дня в области радия» (1911).

Егоров быстро определил, что минерал, на который указывали местные жители, — не что иное, как хорошо знакомый ему по работам на Урале вид ортита, находящийся в ассоциации с магнетитом. Главное его местонахождение он назвал Ортитовой копьей.

Расширяя круг поиска, горный инженер направился вдоль пади Улунтуй, где из пегматитовых жил добывали полевой шпат для фарфоровой фабрики. Там он и обнаружил минерал, отличавшийся от ортита и его спутника — магнитного железняка, который, по показаниям прибора, оказался сильно радиоактивным. Егоров предложил назвать место находки копьей Вернадского, и это имя закрепилось в научной литературе. Образцы для детального исследования он передал В.И.Вернадскому, а тот, в свою очередь, подключил к изучению природы нового минерала А.Е.Ферсмана.

Егоров разделил радиоактивные минералы по внешним признакам на пять типов. Они различались окраской, характером излома, твердостью и другими внешне диагностируемыми признаками. При этом для исследователя неясным оставался вопрос: представляют ли эти минералы самостоятельные виды или же это переходная стадия изменения одного и того же ми-



Образец менделеевита из копи Вернадского (Слюдянка, оз.Байкал), переданный К.Ф.Егоровым в минералогический музей Томского технологического института.

Фото М.Мальм

нерала? Последняя версия позднее подтвердилась Вернадским и нашими работами. При этом в некоторых случаях Егоров отмечал формы, которые присущи кристаллам бетафита с Мадагаскара, т.е. он практически был близок к точной диагностике.

Небезынтересно отметить, что Вернадский еще в 1914 г., до собственного исследования, назвал найденный урановый минерал менделеевита [3]. А изучать его начал много позже, в 1923 г. во Франции, куда был командирован для чтения курса геохимии в Сорбонне и научно-исследовательской работы в Радиевом институте им.П.Кюри. Там он опубликовал в журнале «Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris» статью «Le mendéléjévite, nouveau minéral radioactif» («Мен-



Менделеевит в жилах гранитных пегматитов Тажеранского массива. Точка с координатами 52.8367°с.ш., 106.7108°в.д. На дозиметре показана мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в точке измерения (2.055 мкЗв/ч). Находка В.Д.Страховенко, С.З.Смирнова и Ю.Д.Литасова.

Фото С.Смирнова



Образец менделеевита с о.Ольхон, переданный П.С.Сасимом в минералогический музей Томского технологического института.

Фото М.Мальм

делеевит — новый радиоактивный минерал») [4]. В России широкая научная общественность об этой работе не знала вплоть до первого перевода и публикации в 1959 г. в избранных сочинениях ученого [5]. Ее, пожалуй, можно считать последним научным трудом о менделеевите, хотя ссылки на минерал были во многих справочниках.

Прошло 100 лет со времени работы Вернадского в Забайкалье. В преддверии юбилейных торжеств мы организовали поиск образцов менделеевита в минералогических музеях Иркутска, Томска и в местах его природного сосредоточения. Как выяснилось, в специальном хранилище радиоактивных руд НИТПУ находится, по-видимому, наиболее полная из сохранившихся на сегодняшний день коллекций минерала. Помимо дара К.Ф.Егорова, здесь также обнаружены образцы менделеевита с о.Ольхон (точная привязка отсутствует), предоставленного, как видно по этикетке, П.С.Сасимом, известным исследователем редкометалльной минерализации Сибири того времени.

Объектами нашего изучения стали образцы минерала из фондов НИТПУ с копи Вернадского (Слюдянка, оз.Байкал) и о.Ольхон (оз.Байкал), а также образец высокордиоактивного минерала, найденного в 2014 г. преподавателями и студентами геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета во время минералогической практики в районе Тажеран-

ской бухты (Приольхонье, западное побережье оз.Байкал). Нам удалось изучить пять образцов из трех мест сбора.

Исследования методами электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа позволяют утверждать, что по параметрам кристаллической ячейки ( $a = 10.23-10.26 \text{ \AA}$ ) байкальский менделеевит соответствует минералам группы пирохлора. В его химический состав входят оксид урана  $U_3O_8$  (26.9%), Nb (20.5), Ti (11.3) и Ca (7.5) с постоянным присутствием Ta, Fe, Mn и Si. Кристаллохимическая формула имеет следующий вид:  $(U_{1.35}Ca_{0.44}Si_{0.05}Mn_{0.04}Fe_{0.03})_{1.9}(Nb_{1.23}Ti_{0.79}Ta_{0.08})_{2.1}O_6(OH)_2$ .

Энергодисперсионный анализ с использованием приставки Bruker XFlash 5010 к электронному микроскопу Hitachi S-3400N показал, что в составе менделеевита нет значимо детектируемых количеств тория и редких земель. Их присутствие, отмеченное в ранее опубликованных материалах [6], можно объяснить наличием микровключений ортита, циркония и ряда других сложных микроминеральных фаз. Но сама матрица минерала этих элементов не содержит.

Почти 100 лет спустя после находки и описания байкальского менделеевита можно только удивляться интуиции великого Вернадского, сумевшего выделить новую разновидность минерала из группы пирохлора и предугадать, что он не будет содержать торий и редкоземельные элементы. ■

## Литература

1. Егоров К.Ф. О находке радиоактивных минералов на Байкале // Известия Императорской академии наук. Сер.VI. 1914. №8. С.57–65.
2. Злобин М.А. Геологическое описание гор по речке Слюдянке, текущей из горы Хамар-дабана, находящейся в Култучной стороне Байкала // Горный журнал. 1832. Ч.4. №11. С.196–204.
3. Вернадский В.И. О необходимости исследования радиоактивных минералов Российской империи // Тр. радиевой экспедиции АН. 1914. №1.
4. Vernadsky V.I. Le mendéléjévite, nouveau minéral radioactif // C. r. Acad. Sci. 1923. V.176. P.993–994.
5. Вернадский В.И. Менделеевит — новый радиоактивный минерал // Избр. соч.: В 5 т. 1959. Т.4. Кн.1. С.296–297.
6. Борнеман-Старынкевич И.Д. Состав и строение менделеевита // Тр. Радиевого института. 1930. Вып.1. С.110–156.

# Советская генетика и Ф.Г.Добржанский

М.Б.Конашев,

кандидат биологических наук

Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники РАН

В «Золотой книге русской эмиграции» 1997 г. одна из статей посвящена Феодосию Григорьевичу Добржанскому (1900–1975) — энтомологу, зоологу, генетику, эволюционисту, мыслителю и гуманисту. О его научном и жизненном пути написано довольно подробно [1–3], однако контакты Добржанского с советскими генетиками изучены еще недостаточно. В то же время история его сотрудничества с коллегами и друзьями на родине представляет особый интерес и актуальна до сих пор.

В конце 1927 г. Добржанский уехал на стажировку в лабораторию Т.Г.Моргана в США, но в 1929 г. не вернулся в СССР к назначенному сроку и через два года стал невозвращенцем [4].



Феодосий Добржанский (Theodosius Dobzhansky). 1929 г.

Публикуется с разрешения Библиотеки Американского философского общества

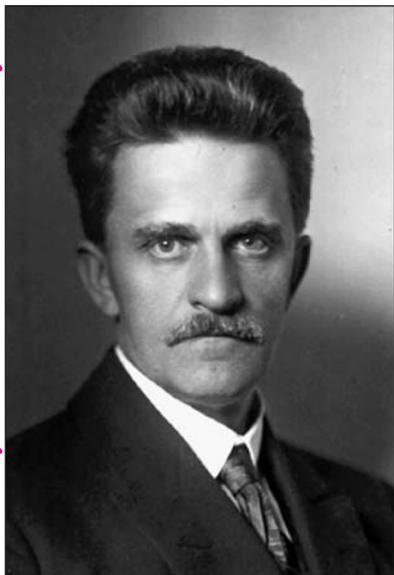
## Перед отъездом навсегда

Среди знакомых Добржанского были почти все выдающиеся отечественные генетики и эволюционисты первой трети XX в.: С.С.Четвериков, И.И.Шмальгаузен, В.И.Вернадский, Н.И.Вавилов, Г.А.Левитский, Г.Д.Карпеченко, Л.С.Берг, а также Ю.А.Филипченко, занимавший особое место в научной жизни героя нашего рассказа. Филипченко, создавший и возглавивший в 1919 г. первую в России кафедру генетики в Петроградском университете, не только пригласил Добржанского к себе на кафедру, обеспечил благоприятные условия для исследовательской работы, но и организовал его стажировку в лаборатории Моргана. В теоретическом отношении роль Филипченко состояла в невольной подсказке Добржанскому того пути, следуя по которому можно было прийти к новой эво-

люционной теории, совместимой с новейшими открытиями генетики и основывающейся на них.

Еще в 1913 г. Филипченко в своем курсе по наследственности и эволюции в Санкт-Петербургском университете впервые связал индивидуальную наследственную изменчивость с видовой: он предположил, что в определенный момент эволюционного процесса они *тождественны*. Можно думать, что первые шаги Добржанского по пути эволюции были сделаны по подсказке Филипченко уже в середине 1920-х годов. В статье «Наследственность и мутации» Добржанский показал, что значение мутаций для эволюции «заключается в том, что признаки их, комбинируясь друг с другом (по законам Менделя), становятся материалом для деятельности естественного (а при содействии человека также и искусственного) отбора» [5, с.424].

Таким образом, в 1924 г. для Добржанского проблема мутаций как материала дарвиновского



Юрий Александрович Филипченко (1882–1930) — советский биолог и генетик. Основные труды посвящены наследственности человека, генетическим основам селекции, проблемам эволюции. Автор первых советских учебников по генетике и экспериментальной зоологии. В 1920 г. вместе с рядом других университетских профессоров-биологов участвовал в создании Петергофского естественнонаучного института и организации в 1921 г. Бюро по евгенике при Академии наук, которое в 1925 г. было переименовано в Бюро по генетике и евгенике, а в 1929 г. — в Бюро по генетике. В 1930 г. Бюро было выделено в Лабораторию по генетике АН СССР, которая позднее была реорганизована в Институт генетики АН СССР.

был специально дан им двумя годами позже. Генетика для Добржанского уже была эффективным средством *исследования* эволюции, а значит, и *обновления* эволюционной теории. Но еще требовалось экспериментально исследовать вопросы наследственности и эволюции.

По возвращении Феодосия Григорьевича из США предполагалось расширить работы по генетике дрозофилы на кафедре генетики Ленинградского государственного университета (ЛГУ) и в Бюро по генетике Комиссии по исследованию естественных производительных сил Академии наук (КЕПС АН СССР). Для этого планировалось

отбора была в принципе снята: мутации действительно могут быть таким материалом. Именно это позволило ему заключить: «Заслуга генетики в том, что она поставила на верный путь опытного исследования труднейшие проблемы биологии — наследственность и эволюцию» [5, с.425]. Обзор генетических исследований дрозофилы

создать специальную дрозофильную группу, в которую помимо самого Добржанского должны были войти несколько молодых сотрудников кафедры: Ю.Я.Керкис, Н.Н.Медведев, Ю.Л.Горощенко, Р.А.Мазинг, М.Л.Бельговский. Во всяком случае, Филипченко предлагал взять в эту группу столько исследователей, сколько понадобится. В случае



Сотрудники кафедры генетики Ленинградского университета. Сидят, слева направо: Е.П.Гогейзель (в замужестве Раджабли), Ю.А.Филипченко, Н.П.Сиверцева (в замужестве Добржанская). Стоят, слева направо: Ю.Я.Керкис, Г.И.Шпет, Иванов, Ф.Г.Добржанский, Т.К.Лепин, Ю.Л.Горощенко, М.М.Левит. 1926–1927 гг.

Здесь и далее фото из архива журнала «Природа»



Сотрудники кафедры зоологии сельскохозяйственного факультета Киевского политехнического института. Сидят, слева направо: М.М.Левит, Ф.Г.Добржанский, А.Г.Лебедев, Грезе, Г.И.Шпет. Стоят: слева — Иванов, справа — 16-летний Ю.Я.Керкис. Конец 1923 г.

возвращения Добржанского генетико-эволюционные исследования дрозофилы приобрели бы должный размах, а кафедра генетики ЛГУ стала бы крупнейшим центром таких исследований в стране и, возможно, в Европе.

Ранее Керкис и Горощенко вместе с несколькими другими молодыми зоологами входили в небольшую неформальную школу, организованную Добржанским в начале 1920-х годов при кафедре зоологии Политехнического института в Киеве. Наряду с тремя другими киевлянами, М.М.Левитом, Г.И.Шпетом и С.Я.Пармоновым, а также москвичом В.В.Алпатовым они составили группу биологов, с которыми Добржанский взаимодействовал в конце 1920-х — начале 1930-х годов и переписывался до конца жизни.

### В парадоксальные 1930-е годы

В начале 1930-х годов Добржанский начинает исследовать стерильность гибридов между двумя видами-двойниками, *Drosophila pseudoobscura* и *D.persimilis*, известными ранее как расы А и В одного вида. Благодаря этим работам он предложил в 1935 г. «биологическую концепцию» вида

и его «биологическое» определение: «Рассматриваемый динамически вид представляет собой такую стадию эволюционной дивергенции, на которой некогда актуально или потенциально свободно скрещиваемые формы становятся разделенными на две или более отдельные группы, не способные физиологически к скрещиванию друг с другом. Фундаментальное значение этой стадии обусловлено тем фактом, что только развитие изолирующих механизмов делает возможным сосуществование в одном и том же географическом районе различных дискретных групп организмов» [6, p.354].

В 1937 г. Добржанский на основе своих лекций, прочитанных в 1936 г. в Колумбийском университете по приглашению его друга Л.К.Дана, написал книгу «Генетика и происхождение видов» [7]. Эта книга, которая «может рассматриваться как двойник “Происхождения видов” (1859) Дарвина двадцатого столетия» [8, p.3], заложила основы «синтетической теории эволюции» и представляла собой «точку отсчета для всех современных синтетических трактовок эволюционного процесса» [9, p.98].

Все это время Добржанский продолжал тесно общаться с коллегами и друзьями в СССР. Сотруд-



В гостях у Моргана (Пасадена, США). Слева направо: Ф.Г.Добржанский, Н.П.Сиверцева, Н.И.Вавилов и Г.Д.Карпеченко. 1930 г.

ничество включало обмен идеями, экспериментальными данными, оттисками опубликованных статей; Добржанский посылал в Киев и Ленинград культуры дрозофилы, необходимые для экспериментов, обсуждал с коллегами теорию видообразования и методологию его исследования. В своих письмах (скорее всего, утерянных во время войны его корреспондентами в СССР), судя по ответам на них, Добржанский делал ряд предложений и замечаний по проведению экспериментов. Кроме того, он переводил на английский практически заново и редактировал присланные ему статьи с результатами исследований.

Так, в письме к Филипченко от 1 января 1930 г. он писал о рукописи статьи Керкиса с результатами его исследований *D.melanogaster*: «Получил на днях рукопись Юлия Яковлевича, но еще не засел за ее перевод» [10, с.239]. Статья нуждалась в значительной переделке, что признавал и сам автор [10, с.503]. В письме Филипченко от 5 марта 1930 г. Добржанский сообщал: «Работа Керкиса уже прошла все стадии и несколько дней тому назад направлена в Genetics. Этот выбор журнала сделан по желанию Моргана, который, кстати, и рекомендовал ее редактору». Далее он заверял, что статья будет принята к печати, и присоединялся к выбору Моргана: «По существу-то дела Genetics, конечно, весьма почтенное место, и, кроме того, журнал, распространенный в СССР больше других американских журналов, — это обстоятельство я очень принимал в расчет» [10, с.249].

В ряде писем Керкис горячо благодарил Добржанского, в частности в письме от 1 марта 1931 г.

[10, с.568], и обращался к нему за помощью относительно другой своей статьи в письме от 25 июля 1930 г. [10, с.530]. Эта статья также была практически переписана Добржанским, о чем Керкис писал в письме от 17 сентября 1930 г.: «На днях получил назад рукопись. В части, содержащей изложение фактов, действительно поправок сделано мало, но вступительная и заключительная части, собственно говоря, написаны Вами наново, в т[ом] ч[исле] я не вижу, в чем собственно заключаются мои успехи» [10, с.549]. После правки Добржанского статья вышла в том журнале, где ее хотел видеть напечатанной Керкис [11].

В свою очередь, Медведев в письме от 4 января 1933 г. тоже благодарил Добржанского: «Спасибо за письма, бесконечные хлопоты и Вашу пунктуальность!!!. Вся корреспонденцию

получил своевременно и некоторыми из Ваших указаний уже воспользовался; другие подлежат обсуждению» [10, с.698]. Одно из таких указаний, которые Медведев ждал от Добржанского, касалось публикации его статьи с полученными результатами на английском [10, с.699]. В том же письме Медведев советовался с Добржанским и об издании другой своей работы за рубежом: «Теперь пару слов о фенотипической работе. Очень был рад прочитать Ваш критический отзыв об этой рукописи. <...> Теперь я должен озаботиться о ее переводе. Вы предлагаете печатать ее в Archiv für [Entwicklungsmechanik], выставляя к тому ряд доводов. <...> Однако у нас сейчас считается так, что всякий, кто считает себя гражданином СССР, не должен посылать ни одного слова для печати в Германию. Я советский гражданин и разделяю это мнение полностью. Остаются поэтому американские и английские журналы» [10, с.700–701].

За помощью к Добржанскому обращалась Р.А.Мазинг в письме от 20 октября 1930 г., но для аспиранта И.Д.Раджабли: «Вот я и обращаюсь к Вам с большой просьбой дать ему какую-нибудь не слишком большую, но по возможности интересную тему по дрозофиле» [10, с.652].

В письме от 2 мая 1936 г. Н.П.Дубинин писал: «С Вашими замечаниями по популяциям *Drosophila* я совершенно согласен, в основном [мы] думали о них раньше, и, конечно, учтем в дальнейшей работе» [10, с.612]. Предоставляя результаты своего обследования хромосомных инверсий в природных популяциях *D.funbris* Закавказья, Северного Кавказа и Москвы, автор письма отме-

чал, что с глубочайшим интересом следит за работами Добржанского, и просил прислать несколько линий дрозофилы [10, с.613–614].

Корреспонденция из Ленинграда и Киева содержала не только вопросы и просьбы, но и изложение собственных идей, размышлений, а также сомнений. Все это помогало Добржанскому в его личных исследованиях и в создании «биологической концепции» вида. В частности, отвечая на одно из его писем, Шпет писал: «Ваша работа над *pseudoobscura* меня весьма интересует, ведь чем-то близким я занимался над отдельными мутациями *Dros[ophila] melanogaster* — меня интересовало наличие частичной половой изоляции. С этой стороны расы А и В Лансфельда и Ваша работа весьма мне интересны» [10, с.748]. Другой киевский корреспондент, Левит, в письме от 30 марта 1934 г. сообщал: «Как бы то ни было, а опыты с *pseudoobscura* уже поставлены. <...> Из В[ашего] письма видно, что и у Вас как раз в это время продолжались вещи, очень близкие к моим. Ну что ж, параллелизм тут не мешает, тем более что и постановка, кажется, близкая, но не идентичная» [10, с.635]. Позже, в письме от 15 октября 1934 г., он сообщал о продолжении своих экспериментов с *D.pseudoobscura*: «В общем, схема, о которой Вы писали в одном из писем, почти полностью совпадает с моей» [10, с.640].

Особенно важна была для Добржанского в теоретическом и методологическом отношении переписка с Парамоновым. Так, в письме от 4 августа 1934 г. содержится мысль о важности межвидовой гибридизации, в том числе как средства эксперимента: «Перейду к твоим *Drosophil*'ам. Применяли ли искусственное осеменение? Мне кажется, что межвидовое и межродовое скрещивание, сильнее встряхивающее типичную наследственную структуру, должно дать много такого, что в обычном состоянии скрыто, [должно] нарушить обычные связи и вскрыть сущность последних» [10, с.716]. Размышления о видообразовании, особенно о процессах, происходящих в популяциях вида, продолжены в письме от 4 июля 1935 г. [10, с.717–719].

В первой половине 1930-х годов Добржанский также пытался оказать содействие стажировке своих коллег в США. Однако они сначала не считали себя достаточно заслужившими такую стажировку, получить разрешение на которую было уже не просто, а затем она стала вообще невоз-



Ф.Г.Добржанский, Н.П.Добржанская, Г.Д.Карпеченко. Вудс Хол. 1929 г.  
Публикуется с разрешения Библиотеки Американского философского общества

можной. Еще в январе 1931 г. Шпет писал: «Теперь о другом. Вы не раз уже приглашали меня заехать к Вам поработать. Думаю, что после того как у меня будет хотя бы корректура старой работы по *Chorthippus*, этого будет достаточно по части заслуг... Но при всем моем известном упорстве сильно сомневаюсь в том, чтобы из этого что-либо вышло. <...> Научные командировки сейчас даются почти исключительно производственникам. Стране нашей нужны хорошие техники, инженеры» [10, с.751].

Все же в условиях, когда ситуация в СССР уже быстро менялась не в лучшую для международного научного сотрудничества сторону, Добржанскому удалось при активной помощи Вавилова добиться приезда в Институт генетики в Ленинград одного из сотрудников школы Моргана, К.Бриджеса. По просьбе Филипченко и Вавилова Добржанский написал статьи для публикации в СССР [12, 13]. Вместе с Л.К.Даном и некоторыми другими американскими генетиками он сделал все от него зависящее, чтобы 7-й Международный генетический конгресс, намеченный на 1937 г. в Москве, все-таки состоялся. Однако оргкомитет конгресса под влиянием части американских генетиков, тем самым сыгравших на руку Лысенко, принял решение о проведении конгресса в 1939 г. в Эдинбурге. Отсутствие там советской делегации поставило точку в сотрудничестве русских и зарубежных генетиков в период между двумя мировыми войнами. В то время советские генетики уже не печатались в немецких журналах, а после этих событий перестали публиковаться и в американских. Прекратилась и переписка с Добржанским.

## «Второй фронт» в генетике

Времена и люди

Благодаря союзническим отношениям СССР с США и Англией в годы Второй мировой войны связи между советскими и американскими генетиками были вновь налажены, чему в значительной степени содействовал Добржанский. В первые два послевоенных года были подготовлены перевод нескольких книг, излагавших основы «синтетической теории эволюции», в том числе и перевод «Генетики и происхождения видов» Добржанского. Но в 1946 г. началась холодная война, сопровождавшаяся ужесточением сталинской внутренней политики, включая установление господства Лысенко в результате августовской сессии ВАСХНИЛ 1948 г.

В советской печати развернулась кампания против «буржуазной реакционной генетики», а в западных научных журналах и книгах — резкая критика лысенкоизма. В результате пострадали советская генетика и сотрудничество с зарубежными коллегами. Отечественные генетики отсутствовали на Международных генетических конгрессах: на 8-м в 1948 г. в Стокгольме (Швеция), на 9-м в 1953 г. в Белладжо (Италия) и на 10-м в 1958 г. в Монреале (Канада). Хотя на последнем советская делегация появилась, состояла она из девяти лысенковцев, возглавляемых В.Н.Столетовым. Генетики же попали только на 11-й генетический конгресс в 1963 г. в Гааге (Нидерланды), но и в этой делегации из 20 человек были лысенковцы.

Более 10 лет советские генетики не печатались за рубежом, были прекращены переводы книг их зарубежных коллег, а некоторые уже находившиеся в печати так и не увидели свет. В частности, сделанный типографский набор «Генетики и происхождения видов» Добржанского рассыпали вместе с подготовленной к печати книгой биолога и коммуниста, члена ЦК Французской компартии Марселя Пренана «Биология и марксизм». О переводе и издании на русском книг Добржанского никто даже слышать не хотел. Наступили так называемые трудные годы советской биологии.

Многие выдающиеся зарубежные биологи были занесены в разряд «реакционных» и «буржуазных» из-за их критики лысенкоизма, в том числе Дж.Хаксли, К.Дарлингтон и Ф.Г.Добржанский. Но когда генетика в СССР стала возрождаться, некоторые из них либо так и остались в зоне забвения, как Хаксли, либо снова обвинялись, как Добржанский, в «человеконенавистничестве», «мракобесии» и прочих грехах.

Так, И.Е.Глуценко утверждал, что Ф.Г.Добржанский и другой американский генетик, Г.Дж.Меллер, выступили на 10-м Международном генетическом конгрессе с докладами, в которых «повторили свои реакционные положения. Они упоминали о генетической “слабости” человека в век цивилизации, о вреде медицинского обслуживания, об отборе среди людей и прочих премудростях

“классической генетики”. Развивая положения своей человеконенавистнической “теории человеководства”, Т.Добржанский в специальной публичной лекции на эту тему доказывал, что люди должны быть предоставлены действию естественного отбора» [14, с.15].

В публичной лекции Добржанского «Генетика и предназначение человека» действительно указывалось на то значение естественного отбора, которое он продолжает играть в эволюции человека, но из этого факта делался прямо противоположный вывод: «Заблуждение думать, что естественный отбор с необходимостью благоприятствует генотипам, которые хороши или желательны по нашей человеческой оценке» [15, р.473]. Как считал Добржанский, человек может рассчитывать только на свою мудрость и знания, включая биологию и генетику. Более того, он подчеркивал, что человек — творец своей собственной эволюции и предназначения: «В человеке процесс эволюции создал свой собственный направляющий центр» [15, р.474].

Особая и крайне важная роль Добржанского в критике лысенкоизма обуславливалась тем, что в 1940-х годах он был уже всемирно известным ученым, к тому же эмигрантом из СССР. Вот почему все его критические работы препровождались в спецхран вместе со всеми другими аналогичными статьями и книгами.

После смещения Лысенко в 1965 г. многим показалось, что ситуация изменится. Однако хрущевская оттепель сменилась новыми, пусть и слабыми, политическим заморозками, восстановлением сталинизма в «мягкой» форме [16]. Имя Добржанского и его работы оказались на полулегальном положении. Ему дважды было отказано в приезде на родину: в 1963 и 1969 гг. Но друзья уверяли его, что не все потеряно, а Керкис пытался вселить новую надежду: «Мы с Вами еще проживем достаточно, чтобы увидеться на следующем конгрессе в Москве обязательно!!!» [17].

## Без всяких «перегородок»

Восстановить связи с коллегами из СССР Добржанскому удалось на XV Зоологическом конгрессе в Лондоне в 1958 г. В день начала конгресса, 16 июля, он встретился с Е.М.Хейсиным и Ю.И.Полянским, которых хорошо знал еще по Ленинграду. Феодосий Григорьевич просидел с ними до полуночи, помогая им с докладами. Разговорились о России и многом другом. Главным для него на конгрессе стали беседы с соотечественниками, «хорошие, дружеские беседы, без всяких “перегородок”». Одним из результатов этих бесед были адреса коллег из России: А.Е.Гайсиновича, Ю.И.Полянского, Е.М.Хейсина, Р.Л.Берг, Н.П.Дубинина, М.Л.Бельговского, Н.Н.Соколова, Б.Н.Сидорова, А.В.Сахарова, Б.Л.Астаурова, В.В.Алпатова, М.С.Навашина, Ю.Я.Керкиса, М.М.Камшилова, Д.К.Беляева.

Однако по-настоящему переписка возобновилась только в конце 1960-х годов, после 12-го Генетического конгресса в Токио в 1968 г., и в первую очередь — с друзьями молодости.

Вместе с восстановлением прерванных контактов возродились и все формы взаимодействия Добржанского с коллегами на родине. Он опять обсуждал полученные ими экспериментальные и полевые данные, присылал отиски своих книг, копии нужных им статей, журналы и книги, переводил и редактировал их работы, содействовал публикации этих работ в зарубежных журналах и книгах, оказывал другую помощь.

Так, в письме от 18 ноября 1974 г. Керкис просил прислать ему несколько учебников, в том числе учебник Дж. Мура [18] для перевода, и ряд других книг. Эти и другие просьбы незамедлительно выполнялись. В частности, в письме от 19 марта 1975 г. Керкис благодарил за учебник по генетике человека [19]: «Книгу Штерна я получил и очень благодарю Вас» [17]. Ж.А.Медведев благодарил за помощь в переводе и издании его книги «Взлет и падение Т.Д.Лысенко» [20], а также, в письме от 4 сентября 1969 г., за рецензию на нее [21]: «Я прежде всего хочу сердечно поблагодарить Феодосия Григорьевича за замечательные рецензии на нашу с И.Лернером книгу» [22].

Помощь В.Н.Сойферу в переводе и редактировании его статьи [23] растянулась на несколько лет. В письме от 28 февраля 1971 г. Сойфер благодарил за предложение опубликовать статью, а в письме от 6 августа 1975 г. — за все: «Только что мне прислали корректуру моего обзора в “Эволюционной биологии”, и я сто раз вспоминаю о той неоценимой помощи, которую Вы мне, дорогой Феодосий Григорьевич, оказали. Для меня это одновременно и гордость за то, что мой обзор увидит большой свет, и образец человеческих отношений; невзирая на трудности и расстояния, и различия в возрасте и еще в кое-чем, Вы приняли на себя такой труд, который ни один из окружающих меня академиков не взял бы» [24].

Наконец, Добржанский содействовал тому, чтобы очередной конгресс прошел в 1978 г. в Москве. Об этом его просили коллеги и друзья на родине, но сам он был уверен, что до конгресса ему уже не дожить. Однако на настойчивые просьбы коллег о критике книги Дубинина «Вечное движение» ответил отказом, справедливо рассудив, что написанная им критическая рецензия может обернуться для советских генетиков боком. Об этом он откровенно написал Керкису, который в письме от 16 сентября 1973 г. это решение одобрил: «Правильно сделали, что отказались писать рецензию на эту книгу! Не Вам надо это делать. Но кто-то должен и обязательно. И возможно, с Вашей помощью, т.к. без этого не получится» [17].

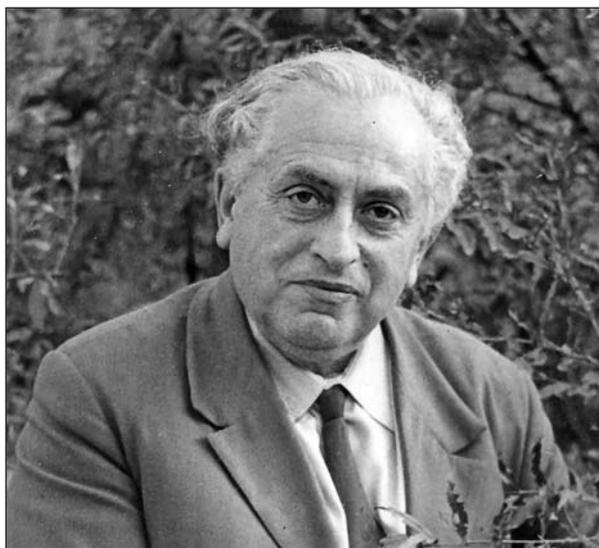
Накануне 70-летия Феодосий Григорьевич получил поздравления от Астаурова, Беляева, Керкиса, Дубинина и многих других. Одни, как С.И.Али-



Сергей Михайлович Гершензон (1906–1998) — советский генетик, микробиолог, академик АН Украины.

ханян, ограничились телеграммой на английском, другие, как Астауров, прислали пространные послания на русском и английском языках. Но в советской научной периодике никаких, даже кратких, заметок, посвященных этому юбилею, не было. Научные работы Добржанского в СССР не публиковались, за исключением перевода (без ведома автора) двух его статей в 1970 г. [25, 26]. Просимая Н.Н.Воронцовым статья для «Проблем эволюции» так и не была опубликована.

У Добржанского была еще одна причина, по которой он искал общения с соотечественниками именно в СССР и переписывался с ними. С.М.Гер-



Юлий Яковлевич Керкис (1907–1977) — советский генетик и специалист в области радиобиологии.

шензон вспоминал: «Затем говорил о том, как его тянет в родные места, как ему не хватает общения с русскими интеллигентами; сказал, что за многие десятилетия жизни в Америке ему не удалось по-настоящему сблизиться ни с кем из коллег: со всеми можно говорить только о работе и о деньгах и покупках; обсуждать с ними проблемы истории, литературы, искусства, морали, философии — дело безнадежное; все это им неинтересно и во всем этом они профаны» [27, с.299–300]. О том же писал и сам Феодосий Григорьевич, в том числе в дневнике от 29 октября 1951 г. [28] и в письме к Т.К.Лепину от 29 февраля 1928 г.: «Американская жизнь, впрочем, не весьма уж привлекательная. Даже, скорее, наоборот. Кроме заботы о долларе, ничего нет,

этим исчерпываются все интересы в жизни. Наряду с самым невероятным богатством столь же глубокая бедность, прямо нищета. Деньги — все, человек без денег — ноль. Никакие таланты, никакие способности человека не ценятся, если они не влекут за собою денег. Общество составляет исключительно по денежной ситуации, и основа всей психологии американца — это предположение, что за деньги можно купить решительно все на свете без всякого исключения. Эта атмосфера для нашего брата в высокой степени чужда, а потому российские порядки много милее» [10, с.428]. В связи с этим приобретают особое значение его слова из письма к Керкису от 8 октября 1964 г.: «Но пока живы, будем жить и работать» [17]. ■

## Литература

1. *Ayala F.J.* Theodosius Dobzhansky // *Biogr. Mem. Natl. Acad. Sci. USA.* 1985. V.55. P.163–213.
2. *Конашев М.Б.* Ровесник генетики, ровесник века: Ф.Г.Добжжанский (1900–1975 гг.) // *Деятели русской науки XIX—XX веков.* СПб., 2008. Вып.4. С.193–228.
3. *Галл Я.М., Конашев М.Б.* Классик // *Природа.* 1990. №3. С.79–87.
4. *Конашев М.Б.* Страсти по Феодосию, или как и почему Ф.Г.Добжжанский стал «невозвращенцем» // *Вестник ВОГиС.* 2013. №1. С.202–209.
5. *Добжжанский Ф.Г.* Наследственность и мутации // *Человек и природа.* 1924. №5–6. С.417–426.
6. *Dobzhansky Th.* A critique of the species concept in biology // *Philos. Sci.* 1935. V.2. P.344–355.
7. *Dobzhansky Th.* Genetics and the origin of species. N.Y., 1937.
8. *Ayala F.J.* Nothing in biology makes sense except in the light of evolution (Theodosius Dobzhansky: 1900–1975) // *J. Hered.* 1977. V.68. P.3–10.
9. *Lewontin R.C.* Introduction: The scientific work of Th.Dobzhansky // *Dobzhansky's genetics of natural populations I–XLIII* / Ed. R.C.Lewontin, J.A.Moore, W.B.Provine, B.Wallace. N.Y., 1981. P.93–115.
10. Максимум возможного (Переписка Ф.Г.Добжжанского с отечественными биологами: 1920–1970 гг.). Ч.1: Переписка Ф.Г.Добжжанского с отечественными биологами: 1920–1930-е гг. / Ред.-сост. М.Б.Конашев. СПб., 2014.
11. *Kerkis J.* Vergleichende Studien uber die Variabilitat der Merkmale des Geschlechtsapparats und der auBeren Merkmale bei Eurygaster integriceps Put // *Zool. Anzeiger.* 1931. Bd.93. H.5/6. Z.129–143.
12. *Добжжанский Ф.Г.* Исследования над интерсексами и суперсексами у *Drosophila melanogaster* // *Известия Бюро по генетике.* 1929. №7. С.91–158.
13. *Добжжанский Ф.Г.* Обзор явлений перестройки хромосомного аппарата // *Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции.* Сер.2. 1934. №6. С.147–171.
14. *Глушченко И.Е.* На конгрессе генетиков в Канаде. М., 1959.
15. *Proceedings of the X International congress of genetics.* VI. Toronto, 1959.
16. *Бузгалин А.В., Колганов А.И.* Сталин и распад СССР. М., 2003.
17. *APSL (American Philosophical Society Library B:D65. Th.Dobzhansky Papers. Kerkis, 2 fold., 1969–1975.*
18. *Moore J.A.* Biological science: an inquiry into life: a revision of BSCS high school biology: yellow version / *Prep. J.A.Moore. et al.; Ed. D.E.Meyer, V.M.Dryden.* N.Y., 1963.
19. *Stern C.* Principles of human genetics. San Francisco, 1973.
20. *Medvedev Zh.A.* The Rise and Fall of T.D.Lysenko. N.Y.; L., 1969.
21. *Dobzhansky Th.* The rise and fall of T.D.Lysenko // *Science.* 1969. V.164. №3887. P.1507–1509.
22. *APSL. B:D65 Th.Dobzhansky Papers. Medvedev Zh.A.* 1969–1972.
23. *Soyfer V.N.* Chemical basis of mutation // *Evolutionary biology* / Ed. Th.Dobzhansky, M.K.Hecht, W.C.Steere. N.Y., 1975. V.8. P.121–235.
24. *APSL. B:D65 Th.Dobzhansky Papers. Soyfer V.N.* 1971–1973.
25. *Добжжанский Т.* Детерминизм и индетерминизм в биологии // *Философские вопросы биологии и биокибернетики.* М., 1970. Вып.3. С.5–19.
26. *Добжжанский Т.* Не являются ли натуралисты старомодными? // *Философские вопросы биологии и биокибернетики.* М., 1970. Вып.3. С.85–103.
27. *Гершензон С.М.* Воспоминания о встречах с Ф.Г.Добжжанским // *Генетика.* 2000. №2. С.299–300.
28. *APSL. B:D65 Th.Dobzhansky Papers. Notebooks.*

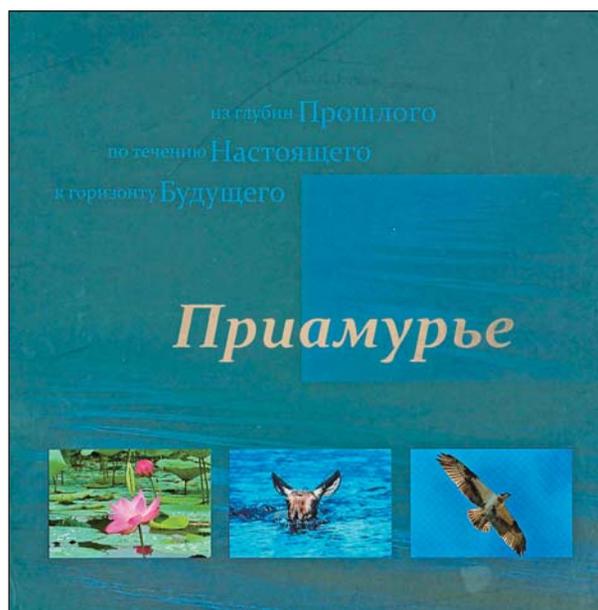
# Книга вышла декоративная, а могла стать и познавательной

Тема ошибок в научно-популярных публикациях о природе не может исчезнуть и потерять актуальность, поскольку каждый год появляются книги, которые в той или иной степени насыщены научными и ненаучными ляпами. Впрочем, как известно, книг без ошибок не бывает.

Недавно в моих руках оказался красочный, богато иллюстрированный фотоальбом, на обложке которого в числе прочих я узнал свою фотографию летящей скопы. Мне — автору 22 фотографий, напечатанных в этой книге, — она попала случайно. Внимательное пролистывание этого издания повергло меня в изумление.

Книга «Приамурье: из глубин прошлого, по течению настоящего, к горизонту будущего» издана по заказу Министерства природных ресурсов Амурской обл. и предваряется приветственным словом губернатора О.Н.Кожемяко. На 134 страницах мелованной бумаги помимо фотографий представлена разнообразная информация об истории региона, палеонтологии, особо охраняемых природных территориях, а также об Амурском филиале Ботанического сада-института ДВО РАН.

Если не обращать внимания на скупость подписей к фотографиям (некоторые из них вовсе не подписаны), то разделы о трех заповедниках области (Зейском, Норском и Хинганском) сделаны вполне добротно. И это понятно, поскольку материалы для них поступили из самих заповедников. А вот часть, посвященная заказникам, повергла меня в шок. Особенно досталось некоторым моим фотографиям, вернее, подписям к ним... На с.64 мой снимок хохлатого осоеда (*Pernis ptilorhynchus*) снабжен подписью «ястреб». На с.90 фотография желны, или черного дятла (*Dryocopus martius*), подписана просто — «дятел», а ниже расположен снимок взлетающей хохлатой чернети (*Aythya fuligula*), обозначенный еще проще — «утка». Вероятно, создатели книги, составившие такие подписи, готовы дать ответ на возмущенные вопросы читателей в стиле: «Пусть бросит в меня камень тот, кто скажет, что это не утка/дятел!». Наверное, нужно благодарить судьбу, что под фото не красуется подпись — «птица». О том, что в Амурской обл. теоретически можно встретить 9 видов дятлов и около 25 видов уток и читатель вправе знать, кого он видит на снимке, творцы книги как-то не подумали. Однако листаем дальше — на с.96



Обложка книги «Приамурье: из глубин прошлого, по течению настоящего, к горизонту будущего». Благовещенск: Студия «АРТикль», 2011. 134 с.

еще две мои фотографии украшены лаконичными подписями: «краншнепом» назван дальневосточный краншнеп (*Numenius madagascariensis*), а «уткой» в этот раз обозначен клоктун (*Anas formosa*). Оба вида внесены в Красные книги России и Амурской обл., и вроде бы их вдвойне были обязаны подписать, как должно, но увы.

Пожалуй, наиболее достойно сделан небольшой, на шести страницах, раздел Ботанического сада ДВО РАН: только здесь появляются полные подписи к фото с русскими и латинскими названиями растений. Вероятно, ботаники его все же проверили.

В конце книги приведен список из 18 научных редакторов-консультантов. Когда я обнаружил в отделе экологического просвещения Норского заповедника данный альбом, один из указанных консультантов — кандидат биологических наук Н.Н.Колобаев — находился в соседней комнате. Я предъявил ему обнаруженную захватывающую книгу и поинтересовался причинами возникновения таких перлов. Однако он удивился не меньше



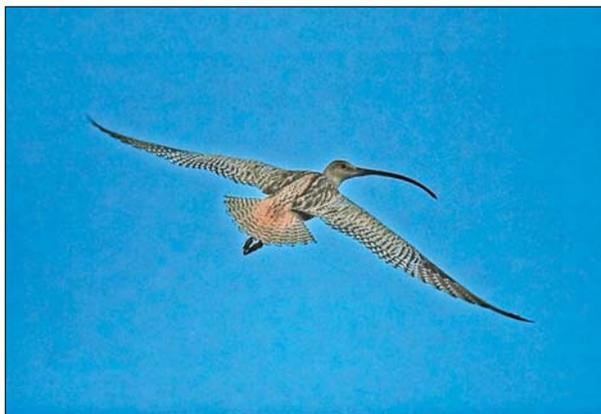
Ястреб

На самом деле — хохлатый осоед.



Дятел

А должно быть — желна.



Краншнеп

Дальневосточный краншнеп.



Утка

Клоктуны.

меня и сказал, что книгу видит впервые. Позвонив другому «консультанту» из списка, я убедился, что и тот ничего не знает про этот «шедевр». Получается, что научных редакторов упомянули лишь в качестве свадебных генералов, а для консультаций, видимо, не было времени. Обратись они ко мне, не возникло бы недоразумений и с подписями под фотографиями.

Как такое могло случиться? А очень просто: я постоянно сотрудничаю с Норским заповедником и после очередной экспедиции по его территории оставляю для научных и эколого-просветительских целей весь отснятый материал. Когда в заповедник поступил министерский приказ о подготовке фотоальбома, отдел экологического просвещения отправил информацию о заповеднике, щедро снабдив ее имеющимися в его распоряжении фотографиями. А остальное — на совести создателей альбома.

Тираж альбома 2000 экземпляров, и он, бесспорно, разошелся по школам региона для просвещения учителей, школьников, любителей природы...

В этой истории восхищает то, что подобные альбомы выпрыгивают как черт из табакерки, наверное, для того, чтобы читатель участвовал в конкурсе — кто больше найдет ошибок. При этом добротные сделанные иллюстрированные книги сплошь и рядом лежат в столах и компьютерах, поскольку нет денег на их издание.

Еще мне почему-то кажется, что в прежние времена, когда в заповедниках не было отделов экологического просвещения и этим занимались научные отделы, подобного не случилось и неведомые фотографии в руки несведущих издателей не попадали.

© Колбин В.А.,

кандидат биологических наук  
Государственный заповедник «Вишерский»

# Новости науки

## Астрономия

### Астрокомплекс в Саянах укомплектован новым телескопом

В Восточных Саянах (Тункинский р-н, Республика Бурятия) введен в эксплуатацию широкоугольный обзорно-поисковый телескоп АЗТ-33ВМ из нового класса инструментов современной наблюдательной астрономии, разрабатываемых Ленинградским оптико-механическим объединением им.В.И.Ленина (ОАО «ЛОМО»). Телескоп предназначен для скоростного обзора геостационарной орбиты в диапазоне от  $40^\circ$  до  $160^\circ$  в.д., измерения и каталогизации искусственных спутников Земли и космического мусора, поиска и обнаружения сближающихся с нашей планетой космических объектов естественного происхождения — комет и астероидов. Прибор будет работать в паре с «братом-близнецом» АЗТ-33ИК — первым отечественным специализированным инфракрасным телескопом, изготовленным специалистами «ЛОМО» и установленным еще в 2005 г. Оба инструмента входят в астрокомплекс Саянской обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН.

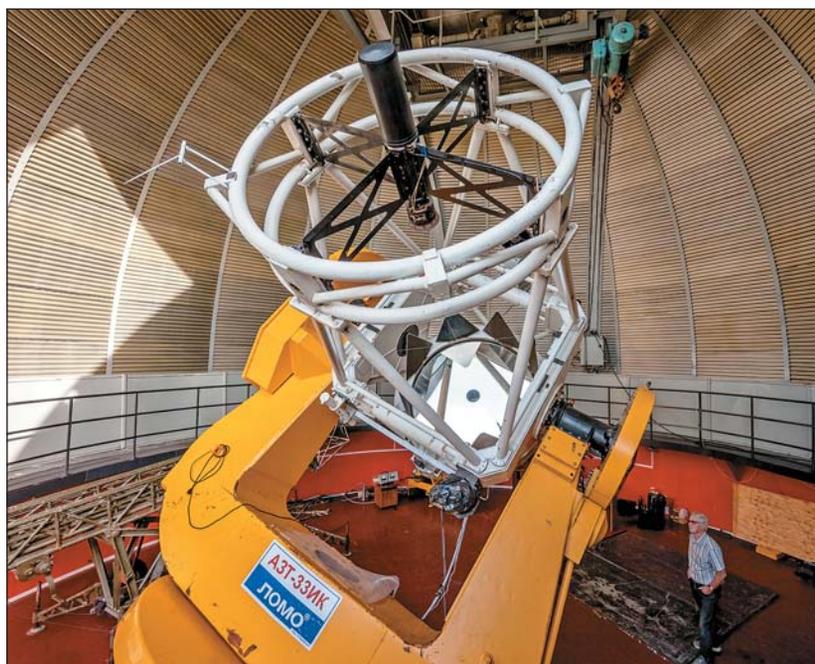
Потенциально опасные для Земли астероиды необходимо классифицировать как можно раньше, хотя бы на расстоянии  $\sim 0.2$  а.е. (30 млн км). Это примерно месяц пути до нашей планеты. Стандартные телескопы с диаметром зеркала 0.5 м не способны обнаруживать слабые объекты на таком расстоянии, а широкоугольному телескопу диаметром 1.5 м эта задача под силу. Он может различать на звездном небе неподвижные объекты 23–24-й звездной величины и движущиеся — не ниже 20-й. При этом в нем заложена возможность съемки участков звездного неба со сравнительно большим угловым полем —  $3^\circ$ .

Телескоп будет передавать координаты изучаемых объектов своему инфракрасному «со-

брату», что повысит эффективность исследований. В ИК-диапазоне мы видим гораздо больше космических объектов, чем в обычном, оптическом. Скажем, небесные тела, скрытые облаками космической пыли, в оптическом диапазоне недоступны для глаз исследователей. То же относится и к звездам, находящимся далеко от нашей планеты. Благодаря АЗТ-33ИК эти объекты станут доступнее для изучения. Инфракрасный телескоп дает возможность проследить процесс образования новых звезд, с ним также можно решать «приземленные», прикладные задачи — к примеру, идентифицировать и проводить траекторные наблюдения за орбитальными объектами, находящимися в тени Земли, отслеживать космический мусор. Одним словом, парное использование телескопов существенно усилит контроль за космосом.

Создание астрокомплекса в Саянах стало результатом успешной кооперации СО РАН, Государственной корпорации «Роскосмос» и предприятий отечественной промышленности.

По материалам пресс-службы Иркутского научного центра СО РАН



Инфракрасный телескоп АЗТ-33ИК.

Фото В.Короткоручко

### Аналитический комплекс для исследования твердых топлив

Низкосортное твердое топливо (НТТ) для производства тепловой и электрической энергии считают перспективным источником вторичных материальных ресурсов, которые весьма эффективно заменяют традиционные. Вовлечение НТТ в хозяйственный оборот способно смягчить антропогенное воздействие на окружающую среду, а также повысить энергонезависимость регионов от привозного ископаемого сырья. Для России возвращение этого ресурса в топливный баланс особенно актуально, поскольку 43 из 85 субъектов РФ зависят от привозных энергоносителей.

К низкосортному топливу относят древесные отходы, шлам-лигнин, некоторые виды угля, сланцы, торф, твердые бытовые отходы, остаток сточных вод. Они содержат высокую долю балласта — влаги, минеральных веществ, кислорода в органической массе топлива. И это обстоятельство усложняет переработку. Такое топливо сжигать в котельной нерентабельно и к тому же опасно с экологической точки зрения. Ему можно найти лучшее применение: например, газифицировать, а полученный газ использовать для отопления и генерации электроэнергии. Но для этого нужно исследовать физические процессы, протекающие при термодобготовке и горении топливных частиц.

В Институте систем энергетики им.Л.А.Мелентьева СО РАН (г.Иркутск) для получения информации о закономерностях процессов горения используют высокоточное оборудование. Недавно

в лаборатории термодинамики отдела теплосиловых систем установили новый прибор синхронного термического анализа STA 449 F1 немецкой фирмы «Netzsch», который дополнил линейку уже действующих в институте термоанализаторов. Их приобретали поэтапно в течение последних 10 лет, и сейчас вместе с масс-спектрометром они составляют единый комплекс. Универсальность STA состоит в возможности совмещать в одном эксперименте два метода — дифференциально-сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа, что обеспечивает быструю и усовершенствованную интерпретацию результатов. Прибор, по сути представляющий собой компактную нагревательную печь, работает в широком диапазоне температур (от комнатной до 2400°C) практически в любой среде — окислительной, инертной, углекислотной, паровой. При этом одновременно может регистрировать с помощью масс-спектрометра газообразные соединения, образующиеся в результате термолитиза.

Мы используем приборы термического анализа, чтобы исследовать механизм и кинетику (скорость протекания реакций) процессов термохимической конверсии низкосортных твердых топлив, в частности древесно-угольных смесей. Полученная в результате информация позволяет спрогнозировать поведение топлива, т.е. ход его выгорания в газогенераторе. В нашей лаборатории созданы математические модели для расчета процесса газификации угля и древесины в поточных и слоевых газогенераторах\*. Внедрение в практику технологий газификации позволит повысить КПД использования низкосортного сырья в качестве энергетического топлива.

Сфера действия STA, конечно, не ограничивается этим кругом задач. Высококчувствительный синхронный термический анализ, проводимый в режиме реального времени, прекрасно подходит для выявления остаточных количеств растворителей в лекарствах, для измерения концентраций добавок в полимерах и керамиках, для проведения пожарно-технических экспертиз. Этими и другими аналитическими возможностями на-



Прибор синхронного термического анализа STA 449 F1 в Институте систем энергетики им.Л.А.Мелентьева СО РАН.

\* Донской И.Г., Свищев Д.А., Шаманский В.А., Козлов А.Н. Математическое моделирование процесса ступенчатой пылеугольной газификации // Научный вестник НГТУ. 2015. Т.58. №1. С. 231–245; Kozlov A.N., Svishchev D.A., Donskoy I.G., Keiko A.V. Thermal analysis for numerical thermodynamic modeling of solid fuel conversion // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2012. V.109. №1. P.1311–1317.

шего комплекса пользуются специалисты многих институтов СО РАН, Уральского федерального университета и коммерческих структур.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №16-19-10227).

© Козлов А.Н.

Институт систем энергетики им.Л.А.Мелентьева СО РАН  
г.Иркутск

## Геофизика

### Почему «поют» землетрясения?

В пустынной местности Абу-Дабаб, что располагается недалеко от египетского побережья Красного моря, по наблюдениям обитающих здесь бедуинов, периодически слышен раздающийся из-под земли гул, который сопровождается тряской. Это явление даже получило свое название: «поющие землетрясения». Однако обычно подземные толчки, вызванные тектоническими процессами, происходят в диапазоне частот, которые не воспринимаются органами слуха человека. Так почему в Абу-Дабабе их можно слышать? Разгадку феномена нашли ученые Новосибирского государственного университета и их коллеги из Университета короля Сауда (г.Эр-Рияд, Саудовская Аравия), опубликовавшие результаты томографического исследования местности\*.

Согласно полученным данным, под «гудящим» районом находится разлом, протянувшийся до Красного моря, в который постоянно поступает вода. Сверху его закрывает монолитная «крышка» толщиной 5 км, образованная изверженными сотнями миллионов лет назад породами. Вода выступает своеобразной смазкой, поэтому при сдвигах разлома «крышка» не ломается. Поскольку глыба состоит из прочных, хорошо консолидированных пород, внутри нее сейсмический сигнал почти не затухает. Таким образом, она «проводит» звук землетрясений на поверхность в слышимом для человека диапазоне частот. Этим и объясняется причина «концертов» в Абу-Дабабе.

По материалам пресс-службы Новосибирского государственного университета

## Палеогеография

### Климатические циклы в характеристиках ленточных глин озер Хакасии

Донные отложения озер часто называют естественными архивами климатических изменений. Состав осадков связан с породами питающей провинции, которые обуславливают терригенный сток; соленостью озерной воды, определяющей наличие ха-

рактерных примесей; органическим веществом со специфическим набором микроэлементов и эоловой составляющей. Природные вариации этих факторов приводят к формированию тонкой слоистой структуры осадка, несущей информацию об изменениях окружающей среды.

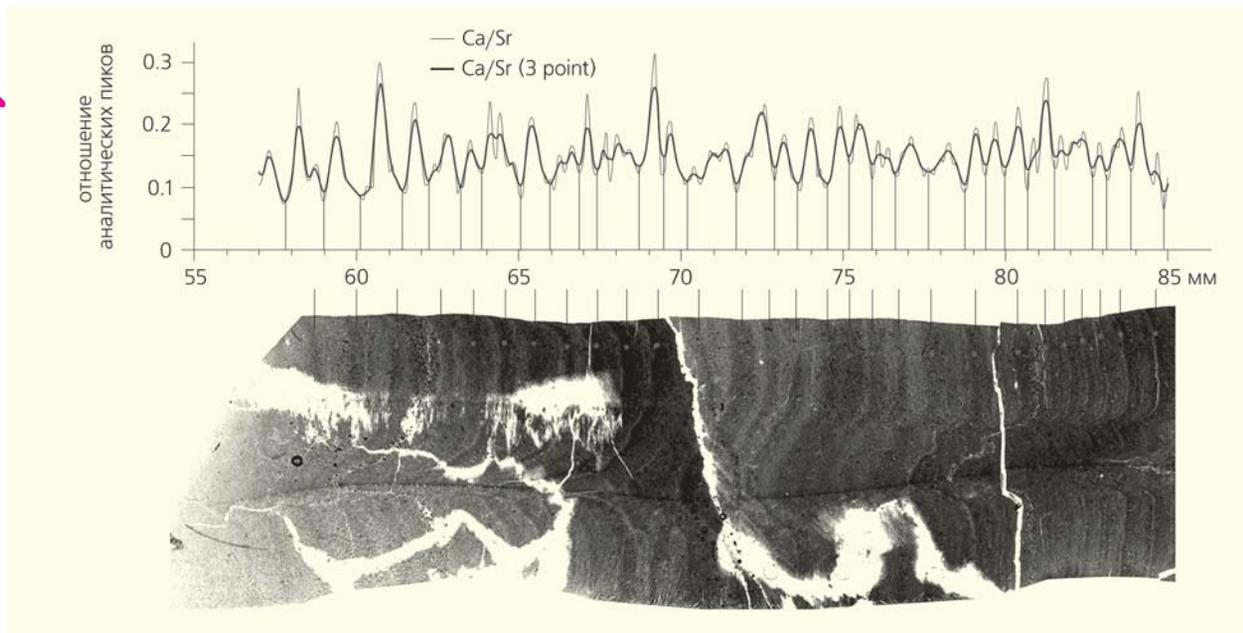
Осадочные разрезы с годовой слоистостью (ленточные глины, или «варвы») по детальности сравнимы с древесно-кольцевыми хронологиями и имеют большую мощность (отвечающую тысячелетиям). Озера с годично-стратифицированными осадками относят к наиболее важным палеоархивам, проливающим свет на изменения климата, которые происходили в прошлом. Сотрудники Института геологии и минералогии им.В.С.Соболева СО РАН, Института ядерной физики им.Г.И.Будкера (ИЯФ) СО РАН (г.Новосибирск) и Института биофизики (ИБФ) СО РАН (г.Красноярск), используя методики аналитической микростратиграфии и микроанализа на пучках синхротронного излучения, провели исследование кернов ленточных глин ряда озер Хакасии (Шира, Беле, Утичье) и получили временные ряды, отражающие динамику процессов осадкообразования и изменения природных условий региона в течение последних тысячелетий с годовым разрешением.

Отбор проб осадочных слоев осуществляли с помощью ящика-пробоотборника, что обеспечило получение ненарушенных колонок 20 см донных отложений, которые при скорости осадконакопления около 1 мм/год соответствуют временному интервалу последних 200 лет. Для отбора слабоконсолидированных верхних слоев использовали пробоотборник-замораживатель, созданный в ИБФ СО РАН, а для длинных (до 3 м) кернов, перекрывающих временные интервалы в несколько тысяч лет, — мобильный пробоотборный комплекс и набор гравитационных трубок.



Схема накопления осадка в пресном водоеме. Два основных источника вещества терригенного и органогенного происхождения с небольшим вкладом аэрозольной компоненты по-разному реагируют на погодно-климатические вариации, что отражается на химическом составе осадка.

\* Khrepy S.E., Koullakov I., Al-Arifi N. Crustal structure in the area of the cannon earthquakes of Abu Dabbab (Northern Red Sea, Egypt), from seismic tomography inversion // Bull. of the Seismol. Soc. of Amer. 2015. Doi:10.1785/0120140333.



Вариации Ca/Sr-отношения вдоль образца донных отложений о.Беле (2012 г.), совмещенные с фотографией шлифа.

Временные шкалы строили на основе подсчета годовых слоев, при этом правильность гипотезы о варьировании структуры донных отложений проверяли независимым датированием современных осадков по изотопам  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и литолого-геохимическим микроанализом годовых слоев, а точность подсчета на тысячелетних временных интервалах дополнительно верифицировали по радиоуглеродным датировкам.

Концентрацию химических элементов в керне определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа на пучках синхротронного излучения в Сибирском центре синхротронного и терагерцевого излучения ИЯФ СО РАН, где на базе ускорителя ВЭПП-3 действует станция элементного анализа. В результате сканирования получили непрерывную, с шагом 0.1 мм, запись сигналов, характеризующих концентрации различных химических элементов (в каждой точке их было более 30) вдоль всего исследованного интервала колонки.

Микроаналитические исследования проводили на твердых образцах донных осадков, пропитанных эпоксидной смолой. Для детального изучения внутреннего строения отдельных годовых слоев использовали фокусирующую рентгеновскую оптику. Размер пятна возбуждающего рентгеновского излучения составляет 10–15 мкм (при сканировании это дает десятки точек на год), что позволяет получить информацию о распределении макро- и микроэлементов внутри годового слоя и выделить геохимические индикаторы, маркирующие разные сезоны.

Перевод литолого-геохимических данных в климатические производили с помощью так называемой трансферной функции, используемой

для палеореконовструкций, которая была откалибрована по инструментальным наблюдениям за 1910–2015 гг. (данные метеостанции г.Минусинска) и аппроксимирована на всю глубину опробования керна. Палеореконовструкции строили также методом «ближайшего соседа», основанным на оценке сходства квалифицируемого объекта с ближайшим к нему прототипом и включении его в тот же класс. Такое сочетание методов расчета реконструкций повышает точность результата и позволяет ввести количественные оценки уровня погрешностей реконструируемой величины на разных временных интервалах.

Для поиска климатических циклов и оценки их периодичности использовали традиционные математические приемы обработки данных с помощью метода Фурье и вейвлет-анализа, а также методик разложения временных рядов литолого-геохимических параметров и итоговых реконструкций на эмпирические моды.

Анализ палеореконовструкций показал наличие устойчивых циклических изменений климата Южной Сибири с квазипериодичностью 2–3 года, 6–7, 11–12, 18–27, 55–60, 150–180, 360–370, 750–800 и ~1200 лет. Часть из них можно формально сопоставить с известными (именными) солнечными циклами Швабе–Вольфа длительностью 11 лет, Хейла (22 года), Фритца (60 лет) и Жюсса (180–200 лет). Полученные оценки могут быть использованы при создании прогнозов будущих изменений природной среды.

© Дарьин А.В.,

кандидат геолого-минералогических наук  
Институт геологии и минералогии им.В.С.Соболева СО РАН  
г.Новосибирск

# «Некоторая история вопроса»

П.М.Бородин,  
доктор биологических наук  
Институт цитологии и генетики СО РАН  
Новосибирск

*До нас всегда была некоторая история вопроса, знакомство с которой есть мера интеллигентности ученого (с.14).*

Сергей Георгиевич Инге-Вечтомов написал замечательную книгу, в которой изложил *свой* взгляд на полутора-вековую историю генетики. Это живой, ироничный (иногда до желчности), пристрастный рассказ о том, как все происходило (как возникали идеи и формировались научные школы, кто их создавал и развивал) и что в результате получилось. Рассказчику нет дела до консенсуса, до принятой в истории таблицы о рангах ученых (великий, выдающийся, крупный, известный и т.д.) и идей (революционная, эпохальная, значительная). Инге-Вечтомов и сам сыграл (и продолжает играть) в науке далеко не последнюю роль, поэтому лучше любого историка знает истинную цену всем этим рангам, причем, в отличие от многих из нас, любит генетику как таковую, а не себя в ней. Простейший индикатор: в именном указателе книги против Инге-Вечтомова С.Г. указаны всего лишь три страницы — 240, 244, 248.

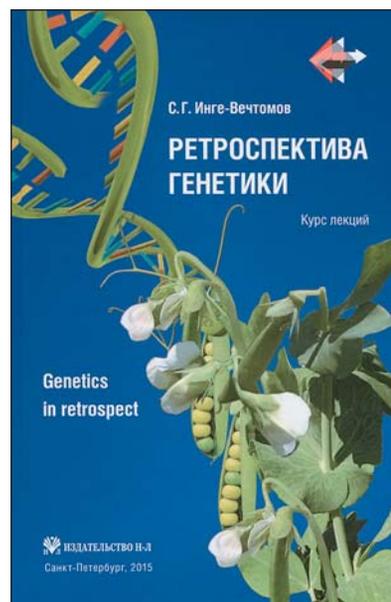
Книга называется очень точно. Это именно ретроспектива — взгляд современного генетика на эволюцию идей о механизмах наследственности и изменчивости от их зарождения до сегодняшнего состояния.

Отдельное и очень важное место в книге занимает первая глава. В ней автор точно, немногословно и без псевдофилософской абракадабры очерчивает основы научного метода, его возможности и пределы, разницу между его принципами и их реальным воплощением. На со-

временных печальных примерах Сергей Георгиевич показывает, как пренебрежение этими принципами или их слишком вольная трактовка приводит к профанации науки, к ее превращению в лженауку.

Вся остальная книга посвящена макро- и микроэволюции генетических идей. Практически в каждой главе книги прослежено происхождение новых идей от ранее высказанных соображений. Автор показывает нам их изменчивость, обусловленную темпераментами и взглядами ученых (образованием, областью интересов, принадлежностью к той или иной культуре). Из школьного учебника мы знаем, что законы Менделя переоткрыли К.Корренс, Э.Чермак-Зейзенегг и Г.де Фриз. Но как по-разному они это сделали, как по-разному они их интерпретировали! Как по-разному генетики относились к дарвиновской теории эволюции, к хромосомной теории наследственности. Со страниц книги Инге-Вечтомова встают яркие образы ключевых фигур истории генетики — классиков и современников. Он дает живые и далеко не парадные портреты людей, которые, за редкими и широко известными исключениями, очень симпатичны автору, и он деликатно, без громких слов и превосходных степеней передает свое отношение читателям.

В книге множество прекрасных портретов ученых, которые в большинстве своем были на удивление красивыми людьми. Интересно, это только в генетике так или в других науках та же ситуация? Особенно приятно, что в книгу включены качест-



**С.Г.Инге-Вечтомов.**  
РЕТРОСПЕКТИВА ГЕНЕТИКИ:  
КУРС ЛЕКЦИЙ.

СПб.: Издательство Н-Л, 2015.  
336 с.

венные и хорошо воспроизведенные фотографии, а не рисунки, которые обычно помещают в школьных и университетских учебниках (должно быть, для того, чтобы до смерти пугать слабонервных детей или служить бездельникам моделями для пририсовки усов).

И все-таки главное в книге не персоналии, а идеи.

Сергей Георгиевич очень ярко и драматургически точно показывает нам борьбу идей. Да, иногда это была борьба амбиций, но не она интересует автора. И в том достоинство книги. Он не навешивает ярлыков, не назначает героев и злодеев мировой и отечественной генетики. Его мало интересует политика: «Она нуждается в отдельном комментарии, от которого мы здесь воздержимся» (с.24). Его в первую очередь интересует борьба идей. И здесь, как и в биологической эволюции, мы наблюдаем самую острую борьбу между сходными идеями. Мы видим, как они «мутируют» и «рекомбинируют», как происходит отбор идей, наилучшим образом объясняющих факты.

Инге-Вечтомов дает филогенетический анализ генетики: возникновение, дивергенция, конвергенция и вымирание (!) отдельных школ мысли (менделисты и биометрики, панадапционисты и нейтраллисты). Он детально прослеживает сигнальную преемственность (в терминологии его учителя М.Е.Лобашева) между разными школами.

Одним словом, собрание лекций Инге-Вечтомова читается, как роман, и остается только завидовать его студентам.

Теперь, после того как я сформулировал свое однозначно восторженное отношение к книге, я имею полное право и обязанность заняться перечислением крупных и мелких к ней претензий. Этому разделу можно бы предпослать цитату из рецензируемой книги: «ловить гения на «ошибках» всегда приятно ученым меньшего мас-

штаба» (с.55), но воздержимся из-за ее двусмысленности.

Я уже позавидовал студентам, которые слышали эти лекции вживую, теперь пора им почувствовать. Автор не стал облегчать им подготовку к экзаменам и не дал ни введений, ни заключений ни к одной из лекций («но тут профессора застиг звонок, и он прекратил дозволенные речи»), хотя короткие связки между главами были бы очень полезны.

Несколько претензий по иллюстрациям. Если основная цель книги — показать филогению идей и научных школ, то в нее так и просятся их филогенетические древеса. Как прекрасно выглядели бы эти деревья с мощными корнями и раскидистыми кронами, переплетенными за счет гибридизации идей, и с горизонтальными переносами понятий! К сожалению, я нашел только одно дерево — интеллектуальную родословную Бэтсона из публикации А.Стертеванта (с.82, рис.26).

Книгу Инге-Вечтомова украшают иллюстрации, взятые из самых важных публикаций генетиков. Однако выбор тех, а не иных иллюстраций мне не всегда понятен. Так, например, в главу о Ф.Гальтоне я бы дал не довольно тривиальный черно-белый супрематический квадрат анцестральной наследственности (с.94, рис.31), а гениальный рисунок из статьи 1886 г.\* с распределением роста у родителей и потомков — с гирьками на блоках, которые тянут признаки к популяционной средней.

Обсуждая эволюцию идей, Инге-Вечтомов иллюстрирует их самыми важными работами отцов-основателей. Проблема в том, что наши учителя были настолько яркими и разносторонними людьми, что в их наследии всегда что-то остается вне поля зрения историка. Автор очень подробно описывает

генетические работы гениального А.С.Серебровского, его прозрения о механизмах хромосомных перестроек и эволюционной роли дупликаций. К сожалению, Сергей Георгиевич ничего не говорит своим студентам о фантастической попытке Серебровского создать периодическую систему мутаций, учредить логичную и прекрасную генетическую номенклатуру. Каждой системе признаков присваивается десятичный код, каждому двузначному коду — слоговой аналог. Заметьте, не буквенный, а слоговой — для благозвучия. В итоге мы можем заменить безумные и сбивающие с толку названия генов вроде *fushi tarazu* (он же BG:DS07876.1) и *sonic hedgehog* (он же 9530036011Rik, Dsb, HHG-1, Hbg1), на осмысленные и ясные *dique*, *suke*, и *trudiqu*. Я сознательно не раскрываю тайну этих генов. Найдите, прочитайте книгу Серебровского «Избранные труды по генетике и селекции кур» (1976) и получите огромное удовольствие.

У каждого из нас есть любимые учителя из совсем уж великих, и мы склонны болезненно реагировать на обвинения в их адрес. Я впадаю в ярость, когда Дарвина обвиняют в плагиате у А.Р.Уоллеса и Э.Блита. Инге-Вечтомов считает «мышинной возней» попытки Р.Фишера переписать менделевские расщепления (с.55–58). Он просто кипит от возмущения и щедро рассыпает по страницам восклицательные знаки. По-моему, он это делает зря. Излишняя гладкость менделевских расщеплений, выявленная Фишером, может указывать на то, что Мендель не вывел свои законы из наблюдений. Он сделал гораздо более важную и по тем временам редкую вещь: поставил очень точный опыт, чтобы проверить свою «строгую рабочую гипотезу» о том, как должны наследоваться признаки, и был счастлив, когда получил ожидаемый результат. Здесь самое интересное — откуда взялась гипотеза. Но этого, по-мое-

\* Galton F. Regression towards mediocrity in hereditary stature // Journal of the Anthropological Institute. 1886. V.15. P.246–263.

му, никто не знает. Я подозреваю, что у Инге-Вечтомова есть свои представления, но он их оставляет при себе.

В своей замечательной ретроспективе генетики Инге-Вечтомов очень ярко излагает свою версию сложных взаимоотношений между генетикой и эволюционной биологией. Он справедливо называет их «любовью не с первого взгляда». Хотя у каждого генетика есть свой взгляд на историю этого романа и его плоды, я согласен с автором по абсолютному большинству пунктов. Есть, однако, некоторые детали, на которые я хотел бы обратить внимание. Инге-Вечтомов время от времени упоминает синтетическую теорию эволюции (СТЭ), ее постулаты и переживаемый (или пережитый?) ею кризис. Насколько я знаю, специалисты, работающие в области эволюционной биологии и особенно эволюционной генетики, никогда никаких постулатов и законов СТЭ не выдвигали и не делают этого и сейчас. Обычно этим занимались и занимаются до сих пор два класса писателей: авторы учебников и критики СТЭ. Авторы учебников придумывали удобные для запоминания и потому до профанации упрощенные формулировки. Критики СТЭ сочиняли удобные для опровержения постулаты, а затем их радостно и легко опровергали. Ироничная ситуация в том, что аналогичная история происходила с генетикой до той поры, пока ее называли менделизмом. Тогда тоже любили разоблачать постулаты менделизма и указывать на его кризис. Как только генетика выросла из менделизма, исчезли постулаты и как-то сам собой рассосался кризис.

Аналогичная история с эволюционной биологией. Она выросла из дарвинизма, возмужала до неodarвинизма, переболела постнеodarвинизмом. Из СТЭ она тоже давным-давно (по моим прикидкам, уже 60 лет как) выросла. В том-то и прелесть эволюционной биологии, что

в ней нет железных постулатов, что она постоянно меняется, аккумулируя факты и идеи других наук. Люди, которые говорят о Кризисе СТЭ и необходимости Нового Синтеза (каждое слово с большой буквы), не замечают, что таких синтезов уже было немало — с молекулярной биологией, исторической географией, биологией развития, геномикой, этологией, теорией игр и прочая, и прочая. Инге-Вечтомов справедливо указывает на один из них — синтез эволюционной генетики с экологией и рождение экологической генетики и симбиогенетики. Автор ничего не говорит о том (но мы-то знаем), что в зарождении и развитии этих молодых наук он сам сыграл решающую роль.

Я разделяю довольно скептическое отношение Сергея Георгиевича к модным сейчас попыткам использовать туманный термин «эпигенетика» для решения всех проблем (с.285). Тем более странным мне кажутся его ссылки на откровенно спекулятивные публикации Е.Яблонки (E.Jablonka) и М.Лэмб (M.Lamb) об «эпигенетических механизмах эволюции» (с.127). В последней главе Инге-Вечтомов очень своевременно предостерегает от навязывания классикам науки наших сегодняшних представлений и описывает забавные казусы, к которым оно приводит (с.284). К еще более неприятным казусам приводят попытки приложения вымерших идей классиков науки к современным открытиям.

Нехромосомная наследственность никоим образом не служит основанием для оправдания ошибочной идеи Ю.А.Филиппенко о том, что «носителями родовых особенностей являются совсем особые зачатки, чем те гены, которые сосредоточены в хроматине половых клеток, и заключают в себе особенности видов, подвидов и других низших единиц систематики», т.е. что геном обеспечивает микро-, а плазмон — макроэволюцию (с.190).

Метилирование ДНК, фосфорилирование и ацетилирование гистонов и прочая эпигенетика не имеют никакого отношения ни к Дарвинову пангенезису, ни к Ламарковой модели эволюции с ее стремлением к совершенству. Поэтому я категорически не согласен с утверждением Инге-Вечтомова о том, что «мы вынуждены найти и вычленил ламаркистский параметр в эволюции». Да, я знаю, что Е.В.Кунин в «Логике случая»\* тоже предлагает рассматривать ламарковский режим эволюции наравне с райтовским и дарвиновским. От этого попытки реанимации идеи Ламарка не становятся продуктивными. Инге-Вечтомов в первой главе «Ретроспективы генетики» справедливо исключает ссылки на авторитеты из инструментов научного метода.

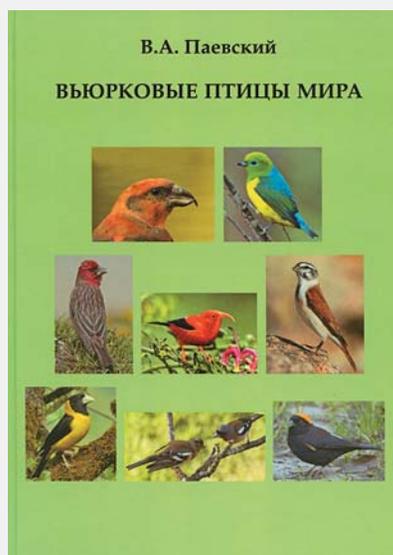
К безусловному достоинству «Ретроспективы генетики» я отношу тот факт, что лысенковщине в ней посвящено две страницы (с.220–222). К науке это явные отношения не имеет и большего внимания не заслуживает.

В заключение повторю: Инге-Вечтомов написал замечательную ретроспективу генетики, лучшую из всего, что было написано по-русски на эту тему. Я не очень хорошо представляю ситуацию в мировом состоянии истории генетики, но, по-моему, и на других языках не было напечатано ничего подобного, хотя биографий генетиков и политических историй было много. Книга Инге-Вечтомова уникальна тем, что она — история генетических идей. Те замечания и возражения, которые я привел, — отражение моих взглядов на те или иные идеи. Я не исключаю, что большинство генетиков, прочитав книгу, примут сторону автора и уж точно получат огромную пользу и удовольствие от этого чтения. ■

\* Подробнее о книге Е.В.Кунина см.: *Боринская С. А. Эволюция сквозь призму геномики // Природа. 2014. №10. С.80–89. — Примеч. ред.*

**Зоология**

**В.А.Паевский.** ВЬЮРКОВЫЕ ПТИЦЫ МИРА. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 272 с.

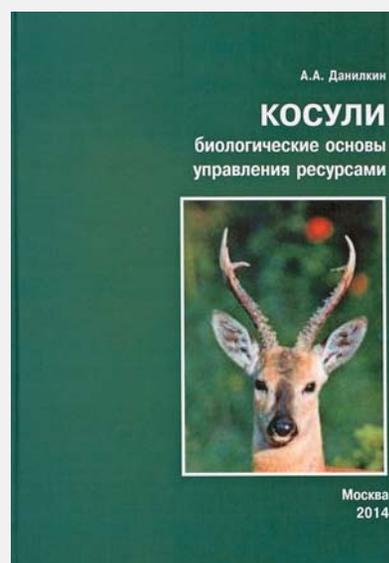


Монография обобщает научные сведения о птицах семейства вьюрковых (Fringillidae) отряда воробьинообразных (Passeriformes). Она сочетает краткий обзор мировой литературы со сводкой работ, выполненных автором и его коллегами на птицах этого семейства. Вьюрковые — обширная группа, представители которой распространены в Евразии, Африке, Северной и Южной Америке, наибольшее разнообразие наблюдается в горах южной Палеарктики. В книге нет отдельных очерков по каждому из 218 видов, изложение построено на разделах по периодам годового цикла. Представлены сведения о систематике и классификации семейства, размерах и массе тела птиц, характерных чертах морфологии, есть информация о линьке оперения, местообитании, пищевом поведении, численности и ее колебаниях, возрастнополовом составе популяций, территориальных и других формах поведения, биологических особенностях и экологии репродуктивного периода, различных формах сезонных передвижений, скорости миграции, смертности и продолжительности жизни. Особое внимание уделено последним результатам исследований филогении вьюрковых молекулярно-генетическими методами. Дан полный систематический каталог вьюрковых птиц с учетом всех современных молекулярных исследований и филогенетических кладограмм.

**Зоология. Охрана природы**

**А.А.Данилкин.** КОСУЛИ (БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 316 с.

Европейская и сибирская косули относятся к важнейшим охотничьим и рекреационным видам России. Их ресурсы скудны, но при разумном управлении реально увеличить в несколько раз численность и добычу этих копытных. Фундаментальная монография «Европейская и сибирская косули» была опубликована в 1992 г. Обобщению новых сведений по биологии этих животных, появившихся за прошедшие десятилетия в отечественных и зарубежных публикациях, а также результатов собственных 40-летних исследований автора посвящена эта книга. Научные сведения объединены в таблицы, что позволяет использовать книгу в качестве учебного пособия. Характеристика рода и видов *Capreolus* основана на анализе морфологических разделов капитальных монографий и на морфометрическом материале из сборов автора и коллекций зоомузеев России и стран Европы и Азии. Рассмотрены не только научные основы, но и проблемы управления ресурсами косуль в охотничьем хозяйстве. Многие выводы автора не согласуются с официальным курсом и действующими нормативно-правовыми актами, но они восприняты практиками, что вселяет надежду на возможность реформирования отечественного охотничьего хозяйства. Завершает книгу небольшой альбом цветных фотографий, среди которых надо отметить пять таблиц с аномальными рогами самок и самцов косули сибирской.



## Палеонтология

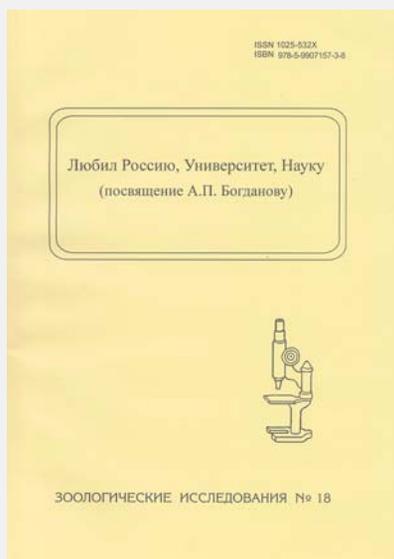
**М.С.Архангельский, А.В.Иванов.** КАЛЕЙДОСКОП ИСЧЕЗНУВШИХ МИРОВ. М.: Изд-во «Университетская книга», 2016. 220 с.

Это второе издание прекрасного альбома, но выпущенное под новым названием (рецензию на первое издание, «Картины прошлого Земли. Палеоэкологические этюды», см.: *Комаров В.Н.* Древние существа Земли и среда их обитания // *Природа*. 2016. №2. С.83–86). Книга дополнена текстовым разделом об эволюции лошадиных. Появилось много новых иллюстраций с изображениями древних амфибий (ихтиостеги, двинозавра), рептилий (плиозавра, ихтиозавров, водного крокодила, летающих ящеров, мелких рогатых динозавров, гигантских хищных и растительноядных ящеров) и млекопитающих (разнообразных хищных копытных кондилартр, предка сирен и др.), а также с пейзажами пермского (с ящерами на фоне извергающихся вулканов) и триасового (с почти беззвездным небом) периодов. Нескольких иллюстраций, бывших в первом издании, не стало: долихозавра — плавающего родственника варана, алексейизавра — древнейшего плезиозавра, парафталмозавра — летающего ящера и др. Размер некоторых картин увеличен на разворот, а пейзаж с анантерасидом, наоборот, обрезан с разворота на страницу. В новых иллюстрациях, как и в большинстве прежних, рисунок реконструкции древнего животного совмещен с фотографией подходящего ландшафта, что создает дополнительный эффект реальности.



## История науки

**ЛЮБИЛ РОССИЮ, УНИВЕРСИТЕТ, НАУКУ (ПОСВЯЩЕНИЕ А.П.БОГДАНОВУ).** М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 213 с. (Зоологические исследования №18).



Сборник посвящен Анатолию Петровичу Богданову — выдающемуся российскому естествоиспытателю, педагогу, просветителю, заведовавшему кафедрой и Музеем зоологии Московского университета более трех десятков лет. Книга разделена на две части, которым предшествуют своеобразные эпиграфы, взятые из входящих в соответствующую часть статей и отражающие те или иные качества личности Богданова, его вклад в формирование российской естественнонаучной традиции. Первую часть составляют фрагменты книги Анатолия Петровича о его учителе К.Ф.Рулье, статьи учеников Богданова (А.А.Тихомирова и Н.Ю.Зоографа) о его жизненном пути и воспоминания членов его семьи (дочери О.А.Богдановой и снохи Н.И.Богдановой). Во вторую часть объединены шесть статей, авторы которых (ныне работающие в учреждениях — детищах Богданова) с современных позиций характеризуют его вклад в становление отечественного естествознания, зоологии, музейного дела и просвещения. В приложении собраны фотографии и рисунки разных персон и объектов, имеющих отношение к Анатолию Петровичу и его научно-просветительской деятельности. Сборник был задуман и организован по результатам Чтений памяти А.П.Богданова, посвященных его 180-летию, которые прошли в ноябре 2014 г. в Зоологическом музее Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

# Сложные вопросы о функциях и истории организмов

Д.Л.Гродницкий,

доктор биологических наук

Красноярский краевой институт повышения квалификации и профессиональной переподготовки работников образования

А.Г.Пономаренко, А.П.Расницын,

доктора биологических наук

Институт палеонтологии имени А.А.Борисяка РАН

Александр Флеминг, когда волей случая обнаружил способность плесневого гриба подавлять рост бактериальных колоний [1], не мог знать об антибиотиках, — такое понятие в науке 1920-х годов не существовало. Он просто задал себе вопрос: «Почему это так?». Не прошло и полвека, как была разработана технология промышленного производства пенициллина, спасшего многие жизни.

Этот хрестоматийный пример показывает, что вопросы, на которые трудно ответить сейчас, в дальнейшем могут послужить основой для серьезных исследований. Приведем небольшой перечень подобного рода важных вопросов. На одни из них, хотя заданы они давно и подкреплены фактами, можно ответить предположительно (не количественно, а качественно), на другие — пока вовсе нет ответов. Надеемся, будущие биологи (сегодняшние студенты) смогут их найти.

## Вопросы с предположительными ответами

*Почему вымирают таксоны, а не экологические группы — жизненные формы [2]?* На самом деле с той или иной вероятностью вымиранию подвержены все — и особи, и таксоны любого ранга, и жизненные формы. Просто понятие жизненной формы нечетко определено, ее могут иметь представители разных таксонов. Когда исчезла какая-либо жизненная форма при вымирании одной систематической группы, то эта же форма обычно легко возрождается в другом таксоне (в отличие от вымершего). В конце концов жизненная форма дерева моложе, чем таксон «высшие растения», а травы — еще моложе. Однако исчезают и жизненные формы. Например, уникальные пресноводные триасовые плауновидные растения рода *Pleuromeia* (у некоторых видов не было листьев) обладала плавающим вертикально, как поплавков, фотосинтезирующим стволом и служила, как можно полагать, эдификатором пресноводных консорциев, включавших печеночники вроде современной риччии, зеленые водоросли и цианобактерии. (Эти консорциевы — аналоги современных озерных плавающих островов, которые так же могут образовываться на самой разной основе — стволах упавших деревьев на севере, тростнике на юге.) Эта жизненная форма вымерла вместе с таксоном, для которого она была характерна [3]. Зеленый голый ствол был у многих карбоновых голосеменных, часто коропад-

ных, как эвкалипт (но у него ствол без хлорофилла), а сейчас таким признаком обладают только травянистые — например, многие хвощи. Вымерли и крупномерные поедатели спорангиев голосеменных — предки крылатых насекомых [4]. Так или иначе, соотношение эволюционной устойчивости таксонов и жизненных форм требует отдельного внимания.

*Почему африканская саванна — прибежище для более сотни только современных видов парнокопытных (прежде всего — газелей и антилоп), а в американской прерии (аналог саванны как травяного сообщества) живут лишь парнокопытные бизон и вилорог? Возможный ответ: потому что непарнокопытные млекопитающие (лошади) — прямые конкуренты парнокопытных за еду (траву) — исторически развивались на американском континенте [5]. Однако этот ответ порождает следующий вопрос: почему американские лошади вымерли, а их место, кроме двух упомянутых видов, никто не занял? При этом в Евразии существовало разнообразное животное население травяных биомов — лошади, быки, антилопы, верблюды, слоны? То же было и в Северной Америке, а остались только бизон да вилорог. Наш ответ может навести на соображение, что саванна и степь — сравнительно молодые экосистемы, возникшие в кайнозое [6], и не исключено, что их животное население в разных местах возникало отчасти независимо из местной фауны.*

Возможен и другой ответ. Значительная часть равнинной Америки в плейстоцене была занята

Канадским ледниковым щитом; свободными остались прибрежная и центральная равнины (Coastal plain и Central Lowland). И вилорог, и бизон способны жить в горных степях, тогда как большинство антилоп (как и евразийских копытных) — равнинные животные. В плиоцене, т.е. до оледенений, известна масса видов вилорогов.

*Почему среди млекопитающих есть летающие и планирующие карпофаги и микрозоофаги, но нет хотя бы планирующих макрозоофагов?* А ведь как соблазнительно было бы маленькой кунице спланировать на небольшую съедобную зверушку со скалы или с высокого дерева! Не похоже, чтобы в поиске ответа на этот вопрос можно использовать размерные соображения. Масса тела мелких куниц составляет до 100 г у ласки, 350 г у горностая, 580 г у перевязки, 800 г у европейской норки, 820 г у колонка, а питающийся плодами крылан калонг весит до 900 г. Опять же, млекопитающие-планеры существуют: те же летяговые (грызуны, близкие к белкам), но и они питаются семенами. Возможно, потому, что, обретя летательную перепонку, маленький хищник вынужден был бы отказаться от своего обычного наземного способа охоты, поскольку во многом утратил бы необходимую подвижность (приземлившись летила заметно более неуклюжи, чем летающие и лазающие по древесному стволу; на земле скорости и вертикали мешает перепонка).

*Почему не существуют организмы, которые бы одновременно использовали все возможности миозина для активного передвижения и хлорофилла для питания воздухом [7]?* Потому что для работы мышц, без которых невозможно перемещаться, необходимо количество энергии, много большее, чем можно получить посредством фотосинтеза. Например, сравнение размеров эвглени и вольвокса указывает на существование компромисса между фотосинтезом и передвижением: малый размер означает большое отношение поверхности к объему. Следовательно, у маленькой подвижной эвглени отношение площади хлоропластов к массе тела (а значит, и относительный выход энергии) выше, чем у крупного малоподвижного вольвокса. Опять же, пример кораллов и тридакн показывает, насколько у сидячих форм востребован фотосинтез (у упомянутых существ он осуществляется симбиотическими водорослями). Дополнительный вопрос («на засыпку»): благоволи бы подсчитать, сколько энергии в выбранных вами единицах нужно для перемещения в пространстве, и сколько энергии можно получить от солнечного света, учитывая массу тела, которое намерено перемещаться? Ответа пока нет.

*Почему нет позвоночных животных, столь же специализированных гермафродитов, как, например, моллюски (правда, не все) [7]?* Возможно,

потому что специализированный гермафродитизм все-таки характерен для организмов с ограниченной способностью или невозможностью передвигаться во взрослом состоянии (преобладает у растений); его практически нет у насекомых, зато у паразитических червей гермафродитизм обычен. Чтобы избавиться от затруднений, которые оба пола вынуждены преодолевать для необходимой встречи, гораздо эффективнее партеногенез и вегетативное размножение.

*Почему насекомые — маленькие, а наземные позвоночные — большие?* В основном, конечно, из-за того, что с уменьшением размера позвоночных животных увеличиваются теплотери на единицу поверхности тела. У насекомых, во-первых, скелет — наружный, который выполняет не только опорную, но и защитную функции. Он облегает все тело и при той же массе должен быть многократно тоньше, чем внутренний. При пропорциональном увеличении вес растет быстрее толщины (и прочности) покровов, т.е. для нормального функционирования скелет должен расти быстрее, вытесняя содержимое. Во-вторых, у членистоногих нет замкнутой кровеносной системы, и кислород доносится к клеткам слепыми трубками — трахеями, т.е. может достигать клеток только с помощью диффузии (у насекомых нет дыхательных движений), скорость которой определяется при прочих равных абсолютной длиной трубки. По достижении определенных размеров диффузия становится неэффективной. В-третьих, у позвоночных все вегетативные функции осуществляются органами, расположенными между точками опоры, а у насекомых (и у паукообразных) — позади них, в брюшке, поддержание которого осуществляется задними конечностями — длинными рычагами. Относительная сила мышц при увеличении размеров резко падает — достаточно сравнить относительную «грузоподъемность» муравья и слона: слон может нести бревно, которое весит много меньше его, а муравей — пойманное насекомое или стебель травы, которые много тяжелее муравья. Поскольку мышечная сила растет пропорционально площади поперечного сечения мышцы, то рост размеров при сохранении «прочих равных» требует непосильного увеличения опорно-двигательной системы. В итоге, действуют все три фактора, но какой из них более важен для ограничения абсолютных размеров наземных членистоногих? Вопрос требует специального исследования в отношении разных систематических групп.

*Вопрос, близкий к предыдущему: почему малые размеры членистоногих очень мало перекрываются с крупными размерами тетрапод?* Различие планов строения предполагает, что у членистоногих основания ног сближены, а у тетрапод

расставлены. Бег со скученными основаниями ног в смысле скорости и маневренности эффективен только при мелких размерах.

Бег четвероногих разнообразен, хотя основан на едином (кроме иноходи) порядке толчков ногами (левая задняя — правая передняя — правая задняя — левая передняя): аллюр, рысь, галоп; иноходь (правые передняя и задняя — левые передняя и задняя). Разница в том, что во время аллюра в воздухе находятся одна или две ноги, при рыси — две, при галопе в каждом кинематическом цикле есть фаза, когда ни одна из ног не соприкасается с землей.

Шесть ног насекомых во время бега переставляются одновременно по три: левая передняя, правая средняя, левая задняя — правая передняя, левая средняя, правая задняя. Триангуляция дает безусловную устойчивость: тело постоянно имеет три точки опоры. Тетраподы для достижения устойчивости используют плоскость (лапу) вместо точки опоры. Площадь лапы может значительно уменьшаться (лошадиное копыто), но только на вершине эволюционной ветви и только при больших размерах тела. Возможно, дело в большой инерции, когда крупные размеры делают непредсказуемые дестабилизирующие помехи вроде порывов ветра несущественными в сравнении с инерцией тяжелого тела; к насекомым это относиться не может.

Приведенное объяснение — иллюстрация к понятию «единство типа»: органы тела не могут изменяться независимо друг от друга, что ограничивает возможности эволюционного формообразования и сохраняет единый план строения в пределах каждого типа существ. Однако объяснение не является исчерпывающим, поскольку создает возможность поиска ответов на очередные вопросы. Например, какими способами разные животные регулируют расположение точки (точек) приложения движущей силы относительно центра тяжести во время быстрой локомоции (бега, а безотносительно ног — полета)?

## Вопросы без ответов

*Почему насекомые, в отличие от наземных позвоночных, практически никогда не переходят к быстрой четвероногой локомоции [8]?* Четвероногие насекомые существуют: дневные бабочки многоцветницы и бархатницы, клопы-водомерки, богомолы, сетчатокрылые-мантиспы. Однако они — скорее исключение из правила: бабочки не склонны передвигаться на своих четырех ногах и предпочитают летать, а водомерки бегают по воде, а не по твердому субстрату (в чем различие между твердой поверхностью и пленкой поверхностного натяжения в отношении опоры?). Кстати, богомолы — существа малоподвижные и на тверди стоят на четырех ногах — средних и зад-

них, держа своеобразно устроенные передние в характерной «молельной» позе, однако когда ходят, то опираются на «локти» передних ног — суставы между бедром и голенью.

*Почему у пауков восемь, а не шесть ног, хотя у клещей, относящихся к тому же классу паукообразных, бывает и шесть, и четыре?*

*Почему злаки, одна из самых продвинутых и успешных групп растений, столь бедны по части приспособлений к распространению семян? Есть, конечно, исключения, — например, ковыли с их летучими семенами, но обычно семена злаков падают в почву там, где созрели. Почему? И как это не помешало их эволюционному успеху по всему миру?*

В Австралии — основном месте обитания сумчатых животных — есть крысы и настоящие мыши, непреднамеренно завезенные европейскими колонизаторами; эти грызуны ведут синантропный образ жизни, как и на других континентах. Однако почему нет зерноядных форм среди сумчатых млекопитающих? Отсутствие таких форм оставило экологическую нишу незанятой, и этим обстоятельством воспользовались возникшие много позже попугаи.

*Почему вне Африки живет множество различных оленей, а в Африке их нет, хотя олени как лесные животные могли бы, кажется, обитать в лесах и на лесных опушках Африканского континента?*

*Почему в Африке встречается один вид крокодила — нильский (*Crocodylus niloticus*), а везде, где эти животные есть (в Юго-Восточной Азии, Австралии, Новой Гвинее, Северной и Южной Америке), разнообразие видов значительно: настоящие крокодилы, гавиалы, аллигаторы?*

*Почему у животных сохраняется половое размножение, если отказ от него дает совершенно очевидные выгоды? Без него не нужно тратить вещество и энергию на бесполезных самцов и ресурсоемкое половое поведение, поиск партнера и т.д. Преимущества полового процесса не очевидны: множество вторично партеногенетических видов благоденствует, и возможно, долгое время (целый партеногенетический отряд коловраток *Bdelloidea* и многие другие группы, включая, по крайней мере, часть огромного семейства жуков-долгоносиков и ящериц)?*

*Почему два десятилетия назад повсеместно исчезли постельные клопы (хотя вши как были, так и остались) и рыжие тараканы (прусаки), докучавшие людям столетиями? Предположение об исключительной действенности современных*

инсектицидов не убеждает: например, в Северной Америке прусак благополучно приспособился к любого типа химическим обработкам и погибает только при непосредственном контакте с ядом. При этом американский прусак имеет нетипичную окраску: он не рыжий, а белесоватый.

*Почему многочисленные, притом неродственные животные с необычайно цепким хвостом (обезьяны, хамелеоны, дикобразы, еноты) характерны для тропических лесов Нового, но не Старого света [9]?*

*Почему все типы животных возникли в водной среде в кембрии—ордовике, когда на суше могли существовать только самые низшие животные формы, населявшие прибрежные скопления гниющих водорослей, выброшенных прибоем, а для эволюционной дифференциации растений потребовался выход на сушу [10]? Иными словами, почему типы животных не возникали позже?*

*Что делала эволюция три с лишним миллиарда лет до того, как 570 млн лет назад вдруг*

*и почти одновременно — с геологической точки зрения — появилось все основное зоологическое разнообразие Земли (на уровне типов, конечно, т.е. самыми грубыми мазками, но все же)? Впрочем, это совсем не уникальная ситуация. Что делало человечество миллион, а то и четыре миллиона лет до того, как несколько тысячелетий назад появились первые цивилизации современного типа (шумерская, египетская, финикийская и другие), и развитие пошло со все ускоряющимися темпами? Частный случай: Галилей (1564–1642) считал своим учителем Архимеда (около 287–212 лет до н.э.). Между учеником и учителем — почти два тысячелетия, так почему за это время цивилизованное человечество столь мало думало о полезной ему механике? Теперь темпы развития уже просто бешеные: кто-то из авторов этого текста в школе писал перьевой ручкой, макая ее в чернильницу-непроливайку (кто из читателей видел это чудо инженерной мысли?), а теперь он рутинно пользуется компьютером и читает про автомашины, бегающие по улицам без водителя. Окончательный вопрос: почему развитие бывает таким неравномерным?*

Для внятных ответов потребуются новые методы исследований и, что особенно важно, количественные. Таких методов пока нет, но то, что затруднительно или невозможно сегодня, может стать доступным завтра; истории науки и техники известно очень много таких примеров. Путь труден, но победа всегда стоит недешево, иначе к ней неинтересно было бы идти, да и вопрос, ответ на который заранее ясен, едва ли заслуживает внимания [11]. ■

## Литература

1. Моруа А. Жизнь Александра Флеминга. М., 1961.
2. Раун Д., Стэнли С. Основы палеонтологии. М., 1974.
3. Пономаренко А.Г. Эволюция экосистем континентальных водоемов // Проблемы водной энтомологии России и сопредельных стран. Воронеж, 2007. С. 228–259.
4. Историческое развитие класса насекомых. М., 1980.
5. Ковалевский В.О. Палеонтология лошадей. М., 1948.
6. Жерихин В.В. Избранные труды по палеоэкологии и филогенетике. М., 2003.
7. Waddington C.H. The principle of archetypes in evolution // Mathematical challenges to the neo-Darwinian interpretation of evolution. Philadelphia, 1967. P.113–115.
8. Gans C. Arthropod locomotion as seen through a «vertebrate» eye // Locomotion and energetics in arthropods. N.Y., 1981. P.527–539.
9. Уоллес А.П. Тропическая природа. М.; Л., 1936.
10. Raff R.A. The shape of life. Genes, development, and the evolution of animal form. Chicago; London, 1996.
11. Краткий миг торжества. О том, как делаются научные открытия. М., 1989.

# Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутонные изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

# ПРИРОДА

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы  
**О.О.АСТАХОВА**

**М.Б.БУРЗИН**

**Т.С.КЛЮВИТКИНА**

**К.Л.СОРОКИНА**

**Н.В.УЛЬЯНОВА**

**М.Е.ХАЛИЗЕВА**

**О.И.ШУТОВА**

**А.О.ЯКИМЕНКО**

Литературный редактор  
**Е.Е.ЖУКОВА**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Перевод:  
**С.В.ЧУДОВ**

Графика, верстка:  
**С.В.УСКОВ**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

Учредитель:  
Президиум Российской академии наук

Издатель: ФГУП «Академиздатцентр «Наука»  
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

Адрес редакции: 119049,  
Москва, Мароновский пер., 26  
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77  
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 18.04.2016  
Формат 60×88 1/8  
Бумага офсетная. Офсетная печать  
Усл. печ. л. 11,16. Уч. изд. л. 12,2  
Тираж 366 экз.  
Заказ 148  
Цена свободная

Отпечатано ФГУП «Академиздатцентр «Наука»,  
(типография «Наука») 121099, Москва, Шубинский пер., 6

[www.ras.ru/publishing/nature.aspx](http://www.ras.ru/publishing/nature.aspx)

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.

**в следующем номере**



11 июля 2016 г. исполняется 100 лет со дня рождения академика Александра Михайловича Прохорова, лауреата Ленинской и Государственных премий, дважды Героя Социалистического Труда. Все знают его как одного из основателей квантовой электроники, лазерной физики и техники, лауреата Нобелевской премии по физике за 1964 г. совместно с Николаем Геннадьевичем Басовым и Чарлзом Таунсом. На самом деле круг научных интересов ученого был крайне широк: радиофизика и радиоспектроскопия, физика ускорителей, нелинейная оптика и физика твердого тела, оптическая связь на волоконных световодах, спектроскопия сверхвысокого разрешения, микроэлектроника, применение лазеров в медицине и экологии, физика магнитных явлений, физика тонких пленок и физика поверхности, разработка приборов для наблюдения сверхбыстрых процессов, адаптивная оптика и др. И в каждой из областей вклад Прохорова более чем весом. Его отличительные черты как исследователя — глубокие фундаментальные знания, неисчерпаемый интерес к познанию законов природы, удивительная научная интуиция, позволявшая ему находиться у истоков новых перспективных направлений в физике (и не только в ней), стремление использовать неизвестные ранее физические явления в прикладных задачах, настоящий организаторский талант. О том, что сохранила память об Александре Михайловиче, какая судьба выпала его открытиям и идеям, в следующем номере расскажут его коллеги и ученики.

