

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

12 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.Куни** (**E. Koonin**, США), академик, доктор геологоминералогических 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. Высокогорья хребта Баджал. См. в номере:
Шлотгауэр С.Д., Кондратьева Е.В. *Баджал. Феномен дальневосточных гор.*

Фото И.П.Щегловой

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Птица. Белый нефрит со следами
ожелезнения. Китай. Империя Хань (206 до н.э. — 220 н.э.). См. в номере:
Портнов А.М., Дронова Н.Д. *Неповторимый нефрит.*

Фото Н.Д.Дроновой



«Наука»

В НОМЕРЕ:

3 Андреев Я.А., Логашина Ю.А.,
Лубова К.И., Василевский А.А.,
Козлов С.А.

**Боль, воспаление
и другие неприятности:
обратная сторона ощущений**

За восприятие болевых стимулов чувствительными нейронами отвечают специальные мембранные белки, так называемые болевые рецепторы. Многие патологические состояния связаны с нарушением работы этих рецепторов, и они являются важной мишенью для разработки новых анальгетических препаратов.

10 Сернова Н.В., Гельфанд М.С.

**Истории, прочитанные
в митохондриальных геномах:
слоны, медведи, люди...**

Интрогрессия — это форма гибридизации, при которой гены одного вида проникают в генофонд другого. Интрогрессия митохондриальных геномов ведет к тому, что филогении, построенные по митохондриальным и ядерным маркерам, оказываются несогласованными. Три случая митохондриальной интрогрессии охватывают африканских слонов, бурых и белых медведей и древних людей.

18 Портнов А.М., Дронова Н.Д.

Неповторимый нефрит

В наше время высококачественных фальсификаций нефрит остается редким минералом, который невозможно подделать. Древние китайские фигурки из него отличаются уникальными художественными качествами. Диагностика подлинности таких камнерезных изделий — исключительно важная для современного антикварного рынка процедура.

24 Малахов В.В., Богомолова Е.В.

**Новый взгляд на строение
и происхождение полости
тела многоклеточных**

Благодаря электронной микроскопии накопилось много новых данных, меняющих наши представления о природе и происхождении полостей тела у билатерально-симметричных животных. Какие же типы полостей тела существуют, чем они отличаются, как произошли и какие функции выполняют?

Вести из экспедиций

40 Медведков А.А.

**Как глобальное потепление меняет
природу сибирской тайги?**

Научные сообщения

48 Шлотгауэр С.Д., Кондратьева Е.В.

**Баджал. Феномен
дальневосточных гор**

Заметки и наблюдения

55 Комаров В.Н.

Гармония хаоса олистостромов

Времена и люди

60 Ушакова М.Г., Думанская И.О.

**Георгий Ушаков —
вот такая история с географией**

Времена и люди

66 ВСПОМИНАЯ ВИТАЛИЯ ЛАЗАРЕВИЧА

К 100-летию со дня рождения Гинзбурга

Кузнецов В.Д.

Живая физика (68)

Кочаровский Вит.В., Кочаровский Вл.В.

**Научное общение
как работа и жизнь (71)**

Дорман Л.И.

**На научной орбите
в эпоху Гинзбурга (75)**

84 **Новости науки**

Наземный мониторинг озона на миллиметровых волнах. Розанов С.Б. (84). Новые находки из средневекового некрополя Суздальского Ополя. Макаров Н.А., Зайцева И.Е., Угулава Н.Д. (85).

87 **Новые книги**

88 **Тематический и авторский
указатели за 2016 год**

CONTENTS:**3 Andreev Y.A., Logashina Y.A.,
Lubova K.I., Vassilevski A.A., Kozlov S.A.****Pain, Inflammation, and Other
Troubles: Back Side of Sensation**

Dedicated membrane proteins, so-called pain receptors, underlie pain stimuli perception by sensory neurons. Many pathological states are associated with malfunction of these receptors, and they are an important target for the development of new analgesic drugs.

10 Sernova N.V., Gelfand M.S.
**Histories Written in Mitochondrial
Genomes: Elephants, Bears,
Humans...**

Introgression is a form of hybridization when genes from one species incorporate into the genetic pool of the other. Introgression of mitochondrial genomes results in the inconsistency of phylogenetic trees of mitochondrial or nuclear markers. Three cases of mitochondrial introgression cover African elephants, brown and polar bears, and Denisovans.

18 Portnov A.M., Dronova N.D.
Inimitable Jade

Now when there are so many high-quality fabrications, jade remains a nonforgeable rare mineral. Ancient Chinese jade figures have unique art quality. Originality test of such lapidary works is a vitally important procedure for modern antiquarian business.

24 Malakhov V.V., Bogomolova E.V.
**New Insight into the Structure
and Origin of Metazoan Body Cavity**

Thanks to electron microscopy, much new data was collected that changes our insight into the nature and origin of body cavity of bilaterian animals. So, what types of body cavity exist, how do they differ from each other, how did they originate and what are their functions?

Notes from Expeditions**40 Medvedkov A.A.**
**How Does Global Warming Change
the Wildlife of Siberian Taiga?****Scientific Communications****48 Shlotgauer S.D., Kondrateva E.V.**
**Badgal. Phenomenon
of Far Eastern Mountains****Notes and Observations****55 Komarov V.N.**
Harmony of Olistostromes' Chaos**Times and People****60 Ushakova M.G., Dumanskaya I.O.**
**George Ushakov –
Here's History with Geography****Times and People****66 REMEMBERING VITALY LAZAREVICH**
To the 100th Anniversary of Ginzburg Birth
Kuznetsov V.D.
Living Physics (68)**Kocharovsky Vit.V., Kocharovsky V.V.**
**Scientific Communication
as Work and Life (71)****Dorman L.I.**
**In Scientific Orbit
In Ginzburg Epoch (75)****84 Science News**

Ground-Based Millimeter-Wave Ozone Monitoring. **Roza-nov S.B.** (84). New Findings from Suzdal Opol'e Medieval Necropolis. **Makarov N.A., Zaitseva I.E., Ugulava N.D.** (85).

87 New books**88 Subject and Author Index for 2016**

Боль, воспаление и другие неприятности: обратная сторона ощущений

Я.А.Андреев, Ю.А.Логашина, К.И.Лубова, А.А.Василевский, С.А.Козлов

Говорят, что жизнь — это боль. Хотя в этой фразе содержится нечто негативное, связанное с неприятными ощущениями, переживаниями или даже тяжелыми страданиями, не стоит забывать, что боль (ноцицепция) предупреждает нас об опасности — сигнализирует о нарушениях в организме, который немедленно принимает их устранять. Вместе с тем существует и боль, которая приносит только мучения.

Основная причина появления такой боли — сбой в передаче болевых сигналов (нервных импульсов) от чувствительных нейронов к головному мозгу, который и формирует неприятные ощущения. Когда воздействие неопасных стимулов распознающие нейроны расценивают как опасное, развивается состояние, которое называется гиперчувствительностью. И это не всегда плохо, так как в нужный момент она играет важную роль в процессе выздоровления и восстановления организма. Однако бывает и так, что реального повода нет, а гиперчувствительность ведет к изнурительной хронической боли. В таком случае самые обычные безобидные стимулы (легкое прикосновение или тепло) вызывают аллодинию (от греч. *αλλος* — другой и *οδυνη* — мучение), а болезненные стимулы — боль еще



Ярослав Алексеевич Андреев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории нейрорецепторов и нейрорегуляторов отдела молекулярной нейробиологии Института биоорганической химии имени академиков М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН. Научные интересы связаны с поиском и характеристикой модуляторов болевых рецепторов.

Юлия Александровна Логашина, младший научный сотрудник той же лаборатории. Занимается поиском и характеристикой новых лигандов TRPA1 рецептора.

Ксения Игоревна Лубова, студентка биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Изучает TRP рецепторы и их модуляторы.

Александр Александрович Василевский, кандидат химических наук, руководитель группы молекулярных инструментов для нейробиологии отдела молекулярной нейробиологии Института биоорганической химии имени академиков М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН. Специалист в области ионных каналов и природных токсинов.

Сергей Александрович Козлов, доктор химических наук, руководитель лаборатории нейрорецепторов и нейрорегуляторов того же отдела. Область научных интересов — белковые рецепторы в нервной системе и их лиганды.

© Андреев Я.А., Логашина Ю.А., Лубова К.И., Василевский А.А., Козлов С.А., 2016

Ключевые слова: боль, ноцицепторы, нейропатия, анальгетические пептиды.
Key words: pain, nociceptors, neuropathy, analgesic peptide.

большей интенсивности, гиперальгезию (от греч. *υπερ-* — сверх- и *αλγος* — боль). Часто аномально интенсивная и нередко хроническая боль, которая изматывает и физиологически, и психологически, а также затрудняет выздоровление, возникает в результате таких заболеваний, как артрит, опоясывающий лишай, СПИД, рак костей и др.

Прежде чем винить в аномалиях чувствительные нейроны (ноцицепторы), которые воспринимают, анализируют и передают болевые сигналы, разберемся, как они работают в здоровом организме и что происходит при патологиях.

Почему так больно?

Биологическая функция ноцицепторов состоит не только в регистрации раздражителя и сообщении об этом нашему мозгу, но и в восприятии сигналов от ближайших соседей. Нейроны окружены другими клетками организма и межклеточной средой, за сохранность и правильное функционирование которых отвечает наша нервная система. Поэтому у ноцицепторов имеется множество молекулярных сенсоров (или рецепторов), настроенных на распознавание химических раздражителей, изменения состава и свойств межклеточной среды, выброса сигнальных молекул из близлежащих клеток. Нейрон самостоятельно «вычисляет» вклад каждого такого молекулярного сенсора по силе и длительности стимуляции, и, если стимулы расцениваются как нежелательные, сигнализирует об этом — и нам становится больно; это «нормальная» физиологическая боль (ноцицепция). Патологическая боль возникает как в случае гибели нейронов при повреждении проводящей сети периферической или центральной нервной системы, так и при ошибочной работе самих нейронов, а ошибаются они из-за неправильной работы их сенсоров.

Болевые сенсоры (или рецепторы) — это мембранные белки, которые распознают физическое или химическое воздействие на мембрану нейрона. При этом они являются катион-селективными ионными каналами, то есть обеспечивают проведение положительно заряженных ионов (натрия, калия, кальция) через клеточную мембрану. Активация рецепторов приводит к открытию катионных каналов и возбуждению чувствительных нейронов — возникновению нервного импульса. Подробнее о наиболее изученных болевых рецепторах мы расскажем ниже.

Что происходит, когда, предположим, человек по неосторожности обжег руку горячим предметом? Такое опасное температурное воздействие регистрируют рецепторы, которые располагаются в мембране ноцицептора. Они мгновенно распознают сильную стимуляцию и передают импульс в центральную нервную систему. На столь сильное возбуждение мозг незамедлительно реа-

гирует, и мы рефлекторно отдергиваем руку от горячего предмета. Интересно, что те же сенсоры реагируют на капсаицин — активное вещество жгучего перца, вызывающего «пожар» во рту.

За распознавание ряда опасных химических воздействий отвечают другие рецепторы, которые воспринимают стимулы только с внутриклеточной стороны, поэтому для их активации опасные вещества должны не только проникнуть через кожу, но и попасть внутрь нейрона, «пробравшись» через липидную биомембрану. Если химический ожог вызван кислотой, то работать будет именно тот рецептор, который чувствителен к изменению кислотности среды, и тоже даст сильный ответ, как только кислота достигнет нейрона.

Руку мы отдернули, но за время контакта с горячей поверхностью часть наших клеток погибла, и в ответ на повреждение ткани у нас начинается развиваться воспалительный процесс. В этом тоже принимает участие наша нервная система. Из поврежденных клеток через разорванные цитоплазматические мембраны во внеклеточную среду начинают выделяться характерные для внутриклеточной среды молекулы, в частности аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). На этот случай в нейронах тоже есть свой рецептор, который активируется молекулами АТФ и сигнализирует о том, что рядом с ним произошла гибель клеток и требуется их восстановление. Дело в том, что АТФ, как известно еще со школы, — основная энергетическая молекула организма, и такая «ценность» редко оказывается в межклеточной среде.

Нейрон не просто сигнализирует, он выбрасывает во внеклеточную среду особые биологически активные соединения, медиаторы воспаления, что приводит к длительному развитию нейрогенного воспаления — расширению сосудов и привлечению клеток иммунной системы. Пока идет процесс регенерации и в среде присутствуют медиаторы воспаления, сенсорные нейроны посылают сигнал в центральную нервную систему, где он тоже воспринимается как боль, но уже не такая сильная. Так как поврежденная ткань нуждается в защите, чувствительность нейронов к внешним воздействиям повышается, и даже незначительное механическое или тепловое воздействие будет вызывать сильную болевую реакцию. Это и есть «полезная» гиперчувствительность.

Почти все знают, что к поврежденной ткани рекомендуется приложить холод, чтобы облегчить боль и уменьшить воспаление. В этом эффекте также задействованы нейрональные рецепторы. Главный рецептор «по холоду» — ментоловый (помните «мятный» холодок?) — находится не в тех же нейронах, где располагается «тепловой», а потому ощущения холода и жары передаются различными чувствительными волокнами. Оказывается, информация от разных ноцицепторов «суммируется» в спинном мозгу, сигнал от горячего воздействия корректируется

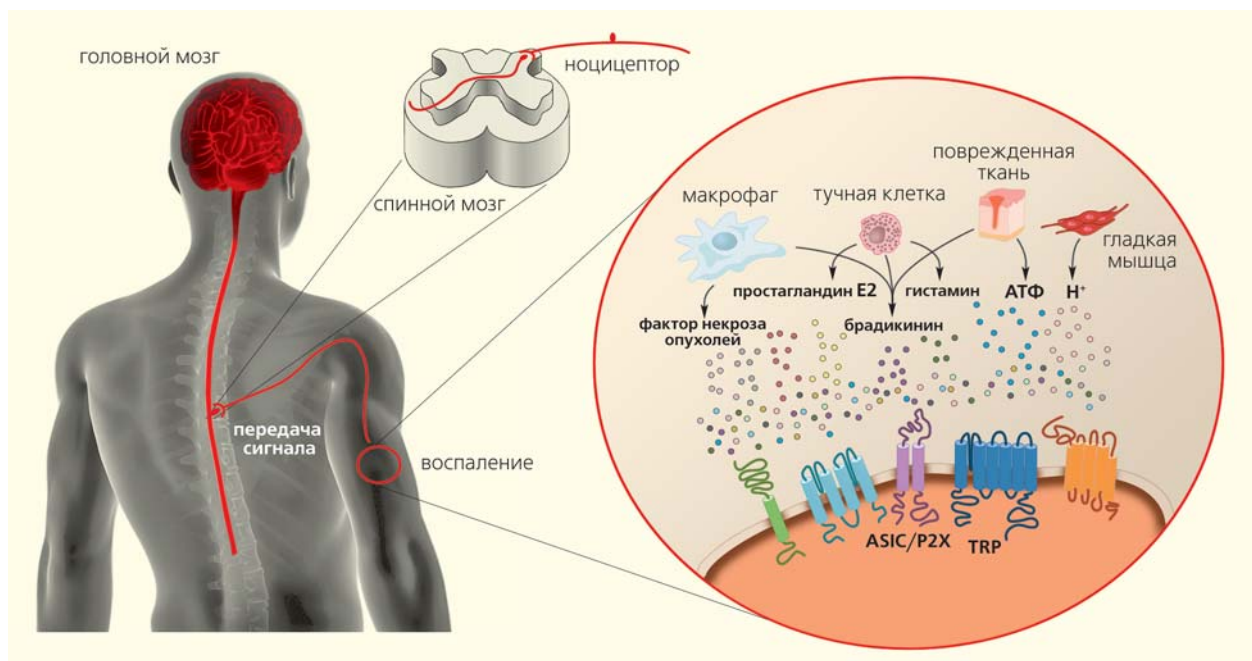


Рис.1. Упрощенная схема прохождения болевого сигнала. Рецепторы располагаются на клеточной мембране чувствительного нейрона. Активация рецепторов может происходить в результате действия химических веществ, высокой или низкой температуры и медиаторов воспаления, образующихся в результате повреждения тканей. Существует много популяций чувствительных нейронов, каждая из которых содержит различные наборы рецепторов, поэтому «чувствует» нейрон только определенные внешние стимулы. Мозг распознает, какой нейрон с каким набором рецепторов был активирован, и в соответствии с внутренним алгоритмом отвечает на болевые ощущения и запускает механизм восстановления повреждения. Активация ноцицептора провоцирует выброс биологически активных веществ, это приводит к развитию нейрогенного воспаления — расширению сосудов и привлечению клеток иммунной системы.

с учетом сигнала от холодного, и именно поэтому приложенный кусочек льда может унять сильную боль.

Описанная схема развития боли сильно упрощена (рис.1). На самом деле, чтобы разобраться в деталях ноцицепции, ученые исследуют каждый рецептор отдельно в изолированных условиях. Эксперименты проводят на клеточных линиях, в которые методами генной инженерии встраивают гены определенных рецепторов. Расскажем немного об изучении и функциях нескольких наиболее важных болевых рецепторов. Как оказалось, они не всегда ориентированы на распознавание и генерацию болевого сигнала, но вовлечены в регуляцию многих других процессов, поэтому умение корректировать их работу различными лекарственными препаратами поможет лечить разнообразные болезни (рис.2).

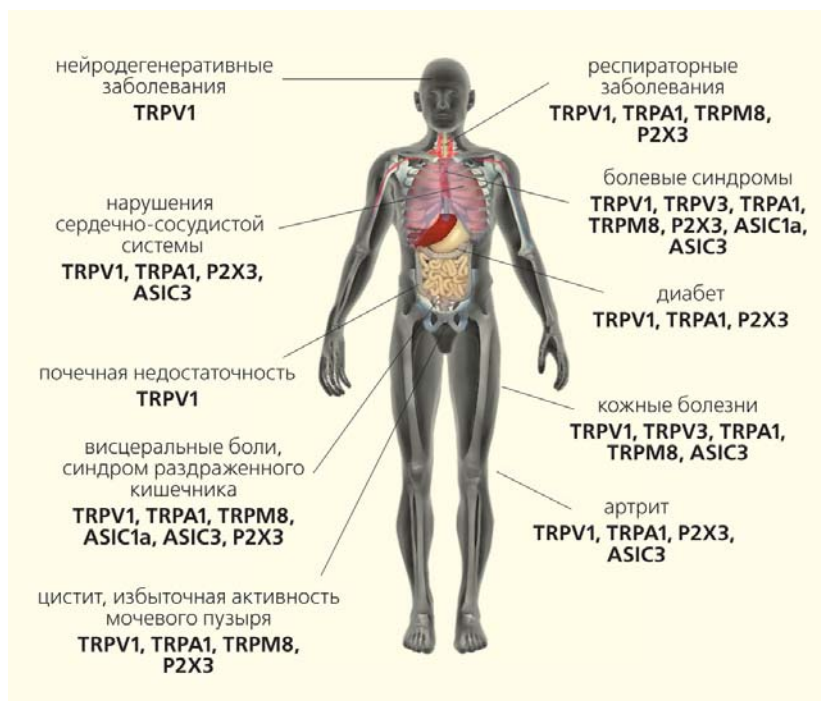


Рис.2. Заболевания человека, при которых установлена неправильная работа болевых рецепторов.

Рецепторы температуры и химических раздражителей

Очень часто в развитии боли и воспаления играют роль чувствительные нейроны, которые отвечают за восприятие высокой температуры. Еще в середине XX века обнаружили, что большие дозы капсаицина вызывают у экспериментальных животных новый тип обезболивания (анальгезии) [1]. После введения капсаицина вначале наблюдается характерная поведенческая реакция, вызванная болью, но затем наступает длительный период потери чувствительности к ряду внешних стимулов. Животные в таком состоянии нормально реагируют на мягкое механическое раздражение, но утрачивают реакцию на многие болевые стимулы, и у них не развивается нейрогенное воспаление. Таким образом, нейроны, отвечающие за восприятие высокой температуры, также отвечают за восприятие химических раздражителей и нейрогенный компонент воспалительного ответа [2]. Стало очевидно, что рецептор, который реагирует на воздействие температуры и капсаицина, может оказаться полезной мишенью для поиска средств, направленных на лечение воспаления

и боли [3]. В конце XX в. этот рецептор был охарактеризован на молекулярном уровне и назван TRPV1 (от англ. transient receptor potential channel vanilloid family member 1 — первый представитель ванилоидного семейства рецепторов переменного рецепторного потенциала), или проще — ванилоидный рецептор 1 (рис.3) [4]. Название «ванилоидные рецепторы» дано не случайно: TRPV1 и другие представители семейства активируются химическими соединениями, содержащими ванилиновую группу (например, капсаицином). Установлено, что TRPV1 — катион-селективный ионный канал, который активируется различными стимулами (температурой выше 43°C, низким pH, капсаицином), а кроме того, его активность регулируется медиаторами воспаления, правда, не напрямую, а через внутриклеточных посредников. Мыши, нокаутные по гену TRPV1 (то есть такие, у которых ген этого рецептора отсутствует или поврежден так, что не работает), значительно медленнее реагируют на тепло, и у них почти не появляется тепловая гиперчувствительность при воспалении [5]. TRPV1 играет важную роль в ряде патологических состояний: при болях, вызванных воспалительным процессом, при онкологических, нейропатических и висцеральных болях, а также при заболеваниях дыхательных путей, панкреатите и мигрени.

Исследования TRPV1 привели к интенсивному изучению подобных рецепторов. Так, был обнаружен еще один ванилоидный рецептор — TRPV3. Интересно, что он реагирует как на приятное тепло, так и на болезненный жар: активность TRPV3 регистрируется при температуре выше 33°C, причем его ответ сильнее на более высокую температуру и возрастает при повторяющейся тепловой стимуляции. Помимо температуры, этот рецептор также активируется камфорой, едкими экстрактами тимьяна, орегано и гвоздики. TRPV3 — еще один кандидат на роль участника в болевой гиперчувствительности, его активность регулируется медиаторами воспаления. Наконец, он напрямую активируется оксидом азота (NO) — вторичным мессенджером, обеспечивающим увеличение чувствительности нейронов к стимуляции. Также следует отметить наличие TRPV3 в клетках кожи кератиноцитах, где его активация приводит к выбросу воспалительного

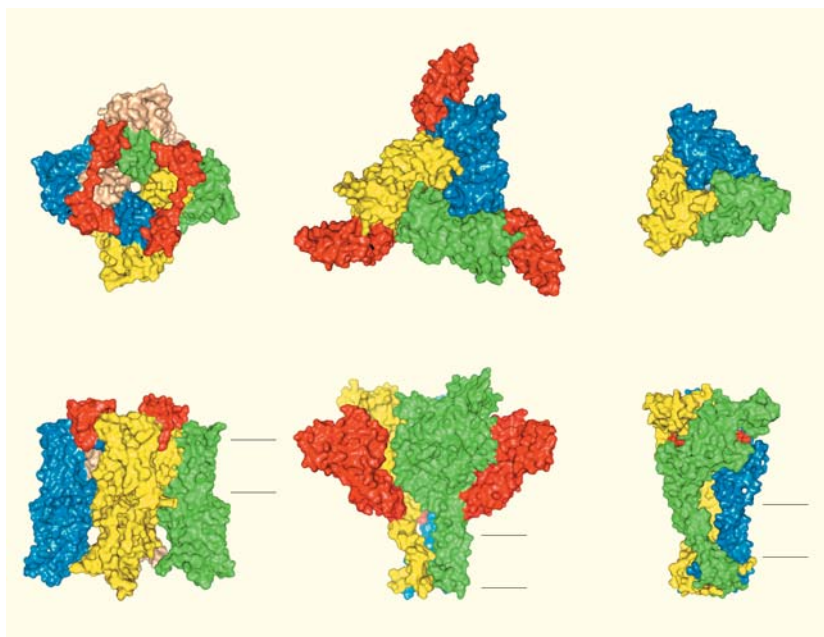


Рис.3. Пространственная организация болевых рецепторов. Верхний ряд — вид «сверху» (из внеклеточного пространства), нижний ряд — «сбоку» (со стороны мембраны, примерное положение границ которой отмечено схематично линиями). Слева показан рецептор TRPV1 крысы в комплексе с токсином из яда паука, фиксирующим рецептор в активированном состоянии (ионный канал открыт). В центре кислоточувствительный рецептор ASIC1a курицы в комплексе с токсином из яда змеи, который тоже стабилизирует открытое состояние канала. Справа показан АТФ-чувствительный рецептор P2X3 человека в комплексе с природным агонистом АТФ (ионный канал открыт). Токсины и АТФ выделены красным. Субъединицы рецепторов раскрашены в разные цвета; хорошо видно, что TRPV1 тетрамер, а ASIC1a и P2X3 тримеры.

медиатора интерлейкина-1, что подчеркивает важную роль этого рецептора в воспалительных заболеваниях кожи [6].

TRP-рецепторы — тетрамеры (рис.3), то есть образованы четырьмя полипептидными цепочками. При этом могут собираться как гомомеры, то есть рецепторы, сформированные одинаковыми цепочками (например, TRPV1 или TRPV3, описанные выше), так и гетеромеры из разных цепей. Гетеромерные рецепторы (например, построенные из цепочек TRPV1 и TRPV3) обладают различной чувствительностью к тепловым стимулам, пороговая температура их активации лежит между значениями, пороговыми для гомомерных рецепторов.

Интересна история открытия холодого рецептора TRPM8 (здесь «М» означает «меластатин», что указывает на функцию рецепторов этого семейства в меланоцитах — клетках кожи, ответственных за пигментацию). Вначале был обнаружен кодирующий его ген, активность которого повышалась при раке простаты и некоторых других онкологических заболеваниях [7]. Много позже была показана способность TRPM8 реагировать на ментол (компонент мяты) и ряд других «освежающих» веществ, а также на понижение температуры (ниже 26°C). Теперь этот рецептор считается основным сенсором холода в нервной системе [8]. Исследования выявили, что TRPM8 отвечает за широкий диапазон восприятия холодных стимулов — от приятной прохлады до болезненного холода и холодной гиперчувствительности. Такое разнообразие функций объясняется существованием нескольких субпопуляций чувствительных нейронов, которые используют TRPM8 как многофункциональный сенсор холода, настроенный на определенную температуру при участии внутриклеточных сигнальных систем.

Самый непонятный и очень важный рецептор TRPA1 (здесь «А» означает «анкирин», что указывает на наличие в структуре рецепторов этого семейства большого числа «анкириновых повторов», особых белковых элементов) находят в чувствительных нейронах кожи, клетках эпителия кишечника, легких и мочевого пузыря, причем TRPA1 часто соседствует с TRPV1 [9]. Вещества, активирующие TRPA1, вызывают жжение, механическую и термическую гиперчувствительность, а также нейрогенное воспаление. Гиперэкспрессия гена, кодирующего TRPA1, ведет к возникновению хронического кожного зуда и аллергического дерматита. Наследственное заболевание «синдром эпизодической боли», которое характеризуется неожиданно возникающей изнурительной болью при голодании или физической нагрузке, связано с мутацией в этом рецепторе, приводящей к его избыточной активности [10].

Основная функция TRPA1 — распознавание химических и воспалительных агентов, и их ассо-

циация столь велика, что с правильной работой этого рецептора связаны почти все жизненные процессы нашего организма. В дыхательной системе он распознает летучие вредные вещества: слезоточивый газ, озон, альдегиды (акролеин, компоненты корицы), сераорганические соединения (жгучие компоненты горчицы, лука и чеснока), вызывая кашель, чихание и образование слизи. В кишечнике TRPA1 регистрирует присутствие воспалительных агентов. Гиперактивность мочевого пузыря при диабете вызвана активацией этого рецептора акролеином, который накапливается в моче. Выявлено участие TRPA1 в возникновении мигрени под влиянием сигаретного дыма и формальдегида у некоторых людей [11].

Воздействие на рецепторы чувствительных нейронов, участвующие в восприятии температуры, с помощью лекарственных средств приводит к облегчению боли и воспаления. Именно так, не зная о молекулярных мишенях, народная медицина в разное время применяла настойки перца (TRPV1), горчицы (TRPA1), мяты (TRPM8) и гвоздики (TRPV3) для лечения ряда воспалительных заболеваний.

Пуриновые рецепторы

Мы уже упоминали, что организму очень важно знать о повреждении тканей. При травмах, когда нарушается целостность органов и происходит гибель клеток, при ишемии или воспалении в межклеточное пространство попадают молекулы АТФ. Этот кофермент множества реакций обеспечивает энергией многие процессы в клетке; он слишком ценен для функционирования клеток, поэтому редко выбрасывается за их пределы. Восприятие повышения локальной концентрации АТФ осуществляют пуриnergические рецепторы (P2X), являющиеся катион-селективными ионными каналами, они запускают болевой ответ, возникающий вследствие разрушения тканей, деформации органов и развития опухолей [12]. Для чувствительных нейронов характерны подтипы P2X2 и P2X3, важная роль последнего в развитии боли при воспалении показана в исследованиях на нокаутных мышах. Также известно, что P2X-рецепторы имеют принципиальное значение для многих физиологических процессов, таких как регуляция тонуса сосудов, вкусовая рецепция и т.д.

Рецепторы кислоты

Для регистрации кислотности во многих типах клеток нервной системы присутствуют так называемые кислоточувствительные ионные каналы (acid-sensing ion channels, ASIC). Считается, что они осуществляют передачу сигнала, связанного с локальным изменением pH при нормальной

нейрональной активности в центральной нервной системе. Однако задействованы они и в патологических процессах. В последнее время рецептор подтипа ASIC1a рассматривается как один из основных факторов гибели нейронов в центральной нервной системе при ишемических состояниях. При ишемии и гипоксии усиливается гликолиз, в результате чего происходит накопление молочной кислоты и последующее «закисление» ткани. «Выключение» рецептора ASIC1a вызывает нейропротекторное действие в модели ишемии, что было показано на нокаутных мышцах [13]. В периферической нервной системе и тканях внутренних органов ASIC ответственны за чувствительность к боли, возникающей при тканевом ацидозе в мышцах, при сердечной ишемии, повреждении роговицы, воспалении, новообразованиях и местной инфекции [14]. В нейронах периферической нервной системы в основном представлены рецепторы подтипа ASIC3, активность которых также необходимо понижать для купирования боли.

В отличие от TRP-рецепторов, P2X-рецепторы и ASIC являются тримерами (рис.3), т.е. собраны из трех полипептидных цепочек. Но точно так же эти рецепторы могут быть гомомерами и гетеромерами, что увеличивает их разнообразие и спектр выполняемых функций.

Как победить боль?

Так что же делать, если мы испытываем боль? Если это боль острая или хроническая, терпеть ее нельзя, и необходимо использовать обезболивающие средства, чтобы вернуть нашу систему ноцицепции в нормальное состояние, а себя — к жизни в самом прямом смысле этого слова. В настоящее время для обезболивания применяется множество лекарственных препаратов различных фармакологических групп. Основное место в этом ряду занимают нестероидные противовоспалительные средства (НПВС), антиконвульсанты и антидепрессанты, а также наркотические анальгетики (морфин и другие опиаты и опиоиды). Имеющиеся в настоящее время анальгетические средства влияют главным образом на пути передачи и распространения боли. Для специфического регулирования рецепторов боли, описанных выше, пока препаратов на рынке лекарств нет.

Первой «болевогой» мишенью для фармацевтических компаний стал рецептор TRPV1, поскольку содержащие его чувствительные нейроны играют роль интеграторов многих стимулов, воспринимающихся как боль. Скрининг химических библиотек и рациональный дизайн лигандов на основе знаний о сайте связывания капсаицина позволили создать значительное количество высокоэффективных низкомолекулярных ингибиторов TRPV1. Эти соединения обладали обезболиваю-

щим эффектом, но приводили к развитию гипертермии — повышению температуры тела (на 1,5–3°C). Гипертермия стала основной причиной отказа фармакологических компаний от развития лекарственных препаратов на основе полных антагонистов рецептора TRPV1. Однако если ингибировать этот рецептор лишь частично, повышение температуры тела можно избежать. И такие частичные ингибиторы TRPV1 нам, под руководством академика Е.В.Гришина (1946–2016), удалось найти в яде морской анемоны *Heteractis crispa*. В яде анемоны обнаружено сразу три пептида, ингибирующих TRPV1 и не повышающих температуру тела [15, 16], но наиболее мягким эффектом обладал пептид, получивший название АРНСЗ. Он имеет сильный анальгетический эффект в дозах 0.01–0.1 мг/кг массы тела и слабо понижает температуру тела (всего на 0.6°C) [17]. По силе обезболивания он сопоставим с морфином, но не вызывает наркотического действия и привыкания. По данным доклинических исследований, пептид полностью пригоден для дальнейших клинических испытаний, так как никакие побочные эффекты на лабораторных животных не были обнаружены. Более того, понижение температуры тела необходимо, например, для обеспечения нейропротекции у выживших после остановки сердца, и гипотермическое действие пептида может служить дополнительным бонусом.

Работая под руководством Гришина, мы также обнаружили ингибитор P2X3-рецепторов. Это тоже оказался пептид, которому было дано имя РТ1, а найден он был в яде паука *Alopecosa marikovskyi* [18]. Кстати, РТ1 уже успешно прошел лабораторные и доклинические испытания, так что через какое-то время он вполне может стать одним из первых принципиально новых анальгетиков, специфично ингибирующих «болевые» рецепторы. Для третьего из упомянутых подобных рецепторов, ASIC3, нами также был найден ингибитор: пептид Ugr 9-1; источником стал яд морской анемоны *Urticina grebelnyi* [19].

Заметим, что в природных ядах часто находят токсины с обратным эффектом, то есть вещества, активирующие рецепторы боли. С точки зрения биологии ядовитых животных это понятно: «болевые» токсины используются ими в целях защиты. Например, в яде китайского птицеида *Haplopelma schmidti* содержится сильнейший активатор TRPV1, а из яда техасской коралловой змеи *Micrurus tener* получен активатор ASIC1a. Сейчас уже научились извлекать пользу из таких веществ: их применяют как молекулярные инструменты, чтобы «замораживать» болевые рецепторы в активированном состоянии и исследовать их структуру (рис.3) [20, 21]. С другой стороны, обнаружение полезных молекул в природных ядах — тоже довольно распространенное явление, и несколько природных токсинов (или веществ, созданных на их основе) сегодня применяются в медицине как

лекарства. Вот где обретает особый смысл известное изречение средневекового алхимика Парацельса: «Все есть яд, и ничто не лишено ядовитости; одна лишь доза делает яд незаметным».

* * *

Рецепторы чувствительных нейронов представляют собой заманчивую, но сложную мишень для создания лекарств. Препараты, если они обла-

дают хорошей селективностью к этим рецепторам, будут приняты потребителями с большой радостью, так как почти все современные средства ограничены в применении из-за побочных эффектов. Работы по поиску селективных препаратов ведутся, в том числе и в нашей стране, и при благоприятном стечении обстоятельств такие лекарства уже скоро смогут появиться в аптеках.

Долгих вам лет жизни без боли! ■

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №14-24-00118).

Литература

1. Palermo N.N., Brown H.K., Smith D.L. Selective neurotoxic action of capsaicin on glomerular C-type terminals in rat substantia gelatinosa // *Brain Res.* 1981. V.208. P.506–510. Doi:10.1016/0006-8993(81)90585-0.
2. O'Neill J., Brock C., Olesen A.E. et al. Unravelling the mystery of capsaicin: a tool to understand and treat pain // *Pharmacol. Rev.* 2012. V.64. P.939–971. Doi:10.1124/pr.112.006163.
3. Andreev Y.A., Vassilevski A.A., Kozlov S.A. Molecules to selectively target receptors for treatment of pain and neurogenic inflammation // *Recent Pat. Inflamm. Allergy Drug Discov.* 2012. V.6. P.35–45. Doi:10.2174/187221312798889266.
4. Caterina M.J., Schumacher M.A., Tominaga M. et al. The capsaicin receptor: a heat-activated ion channel in the pain pathway // *Nature.* 1997. V.389. P.816–824. Doi:10.1038/39807.
5. Caterina M.J., Leffler A., Malmberg A.B. et al. Impaired nociception and pain sensation in mice lacking the capsaicin receptor // *Science.* 2000. V.288. P.306–313. Doi:10.1126/science.288.5464.306.
6. Nilius B., Bíró T., Owsianik G. TRPV3: time to decipher a poorly understood family member! // *J. Physiol.* 2014. V.592. P.295–304. Doi:10.1113/jphysiol.2013.255968.
7. Tsavaler L., Shapero M.H., Morkowski S., Laus R. Trp-p8, a novel prostate-specific gene, is up-regulated in prostate cancer and other malignancies and shares high homology with transient receptor potential calcium channel proteins // *Cancer Res.* 2001. V.61. P.3760–3769.
8. McKemy D.D. The molecular and cellular basis of cold sensation // *ACS Chem. Neurosci.* 2013. V.4. P.238–247. Doi:10.1021/cn300193h.
9. Zygmunt P.M., Högestätt E.D. TRPA1 // *Handb. Exp. Pharmacol.* 2014. V.222. P.583–630. Doi:10.1007/978-3-642-54215-2_23.
10. Kremeyer B., Lopera F., Cox J.J. et al. A gain-of-function mutation in TRPA1 causes familial episodic pain syndrome // *Neuron.* 2010. V.66. P.671–680. Doi:10.1016/j.neuron.2010.04.030.
11. Benemei S., Fusi C., Trevisan G., Geppetti P. The TRPA1 channel in migraine mechanism and treatment // *Br. J. Pharmacol.* 2014. V.171 P.2552–2567. Doi:10.1111/bph.12512.
12. Surprenant A., North R.A. Signaling at purinergic P2X receptors // *Annu. Rev. Physiol.* 2009. V.71. P.333–359. Doi:10.1146/annurev.physiol.70.113006.100630.
13. Xiong Z.G., Zhu X.M., Chu X.P. et al. Neuroprotection in ischemia: blocking calcium-permeable acid-sensing ion channels // *Cell.* 2004. V.118. P.687–698.
14. Осмаков Д.И., Андреев Я.А., Козлов С.А. Кислоточувствительные рецепторы и их модуляторы // *Успехи биол. химии.* 2014. Т.54. С.231–266.
15. Andreev Y.A., Kozlov S.A., Koshelev S.G. et al. Analgesic compound from sea anemone *Heteractis crispa* is the first polypeptide inhibitor of vanilloid receptor 1 (TRPV1) // *J. Biol. Chem.* 2008. V.283. P.23914–23921. Doi:10.1074/jbc.M800776200.
16. Козлов С.А., Андреев Я.А., Мурашев А.Н. и др. Новые полипептидные компоненты с анальгетической активностью из морской анемоны *Heteractis crispa* // *Биоорг. химия.* 2009. Т.35. С.789–798.
17. Andreev Y.A., Kozlov S.A., Korolkova Y.V. et al. Polypeptide modulators of TRPV1 produce analgesia without hyperthermia // *Mar. Drugs.* 2013. V.11. P.5100–5115. Doi:10.3390/md11125100.
18. Grishin E.V., Savchenko G.A., Vassilevski A.A. et al. Novel peptide from spider venom inhibits P2X3 receptors and inflammatory pain // *Ann. Neurol.* 2010. V.67. P.680–683. Doi:10.1002/ana.21949.
19. Osmačov D.I., Kozlov S.A., Andreev Y.A. et al. Sea anemone peptide with uncommon β -hairpin structure inhibits acid-sensing ion channel 3 (ASIC3) and reveals analgesic activity // *J. Biol. Chem.* 2013. V.288. P.23116–23127. Doi:10.1074/jbc.M113.485516.
20. Gao Y., Cao E., Julius D., Cheng Y. TRPV1 structures in nanodiscs reveal mechanisms of ligand and lipid action // *Nature.* 2016. V.534. P.347–351. Doi:10.1038/nature17964.
21. Bacconguis I., Boblen C.J., Goebbring A. et al. X-ray structure of acid-sensing ion channel 1-snake toxin complex reveals open state of a Na(+)-selective channel // *Cell.* 2014. V.156. P.717–729. Doi:10.1016/j.cell.2014.01.011.

Истории, прочитанные в митохондриальных геномах: слоны, медведи, люди...

Н.В.Сернова, М.С.Гельфанд

Практически во всех клетках эукариот есть митохондрии — органеллы, которые нужны в первую очередь для синтеза АТФ. История симбиоза бактерий, родственных риккетсиям, и предка эукариот, в результате которого возникли митохондрии, очень интересна, однако здесь речь пойдет не о ней. Для нас сейчас будет важно лишь то, что у митохондрий есть свой собственный геном (у млекопитающих его размер 15–20 тыс. пар нуклеотидов), что у животных он передается строго по материнской линии и что в каждой клетке присутствуют десятки и даже тысячи митохондрий, а стало быть, в любом образце количество копий митохондриального генома на несколько порядков превышает число копий любого фрагмента ядерного генома. Это особенно существенно при анализе древних образцов, в которых сохранилось мало неповрежденной ДНК.

Мы будем обсуждать интрогрессию митохондриальных геномов. Интрогрессия — это форма гибридизации, при которой гены одного вида проникают в генофонд другого. В результате образуются гибриды первого поколения, способные к возвратному скрещиванию с одним или обоими родительскими видами. Если возвратное скрещи-



Наталья Васильевна Сернова, кандидат физико-математических наук, магистр протеомики и биоинформатики Женевского университета. Научные интересы: биоинформатика, регуляция транскрипции, сравнительная геномика, эволюция млекопитающих.



Михаил Сергеевич Гельфанд, доктор биологических наук, член Европейской академии, заместитель директора Института проблем передачи информации имени А.А.Харкевича РАН, профессор факультета биоинженерии и биоинформатики Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов — биоинформатика, сравнительная и функциональная геномика, молекулярная эволюция, системная биология, метагеномика.

Ключевые слова: систематика, гибридизация, интрогрессия, видообразование, медведи, слоны, денисовец.

Key words: systematics, hybridization, introgression, speciation, bears, elephants, Denisovan.

вание происходит многократно в последовательных поколениях, то может возникнуть поток вариантов некоторых генов от одного вида к другому. Такой прием часто используется в селекции, когда требуется передать некий признак от одного вида другому, например устойчивость к болезням от дикого вида к культурному сорту: производят многократные возвратные скрещивания с культурным сортом, а отбор ведут по данному признаку. Постепенно в большинстве локусов остаются только аллели культурного сорта, а локусы,

от которых зависит желаемый признак, наследуются от дикого вида — и в результате получается новый устойчивый сорт.

Однако интрогрессия может происходить и в результате естественной гибридизации. Известно, что межвидовая гибридизация характерна для 10% видов животных, в частности для 6% видов млекопитающих [1]. Если все потомки родителей, принадлежащих к разным видам, далее скрещиваются с представителями только одного из них, причем многократно в ряде последовательных поколений, то возникает однонаправленный поток вариантов генов от вида, который представляет собой донора, в популяционную систему, служащую реципиентом. Таким образом, интрогрессия — это такая гибридизация, при которой поток генов и рекомбинация доходят до видового уровня. При этом из-за упомянутых особенностей наследования митохондриального генома у животных и из-за отсутствия рекомбинации их митохондриальной ДНК оказывается легко следить за интрогрессией именно митохондриальных генов. Особый интерес представляет так называемый митохондриальный захват, когда в какой-либо популяции все митохондриальные геномы происходят от одного вида, а все ядерные — от другого. Следует отметить, что это довольно строгое определение: никогда нельзя гарантировать, что в геноме гибридов не сохранилось фрагмента ядерного генома второго вида хотя бы у части особей, поскольку для этого надо проводить подробное генотипирование большого числа ядерных геномов, что долго и дорого.

Интрогрессия митохондриальных геномов ведет к тому, что филогении, построенные по митохондриальным и ядерным маркерам, оказываются несогласованными. В недавнем обзоре [2] обобщили 126 случаев полной и неполной митохондриальной интрогрессии у животных. Большинство из этих случаев описано уже в XXI веке. Причины интрогрессии могут быть разными: селективное преимущество, демографические особенности, смещение зоны гибридизации, влияние человека, у насекомых — заражение вольбахией и разнообразные связанные с этим эффекты, например искажение соотношения полов. Чаще всего, по-видимому, действует комбинация причин. Особый интерес представляют случаи полной интрогрессии, когда на всем ареале подавляющее большинство особей имеет митохондрии, геномы которых практически совпадают с митохондриальными геномами другого вида. Такого не замечали у земноводных, зато наблюдали четыре подобных случая у птиц, пять — у рыб и два — у насекомых. Четыре случая было отмечено у млекопитающих: митохондриальный геном тара (*Hemitragus jemlabicus*) у предка диких европейских коз *Capra* spp. [3], белохвостого оленя (*Odocoileus virginianus*) у чернхвостого (*O. hemionus*) в Северной Америке [4], расы Carlit

обыкновенной землеройки, или бурозубки (*Sorex araneus*), у иберийской (*S. granarius*) [5] и, наконец, бурого медведя (*Ursus arctos*) у белого (*U. maritimus*) [6]. О медведях речь пойдет ниже, а сначала обсудим слонов.

Африканские слоны: один или два вида?

По морфологическим особенностям африканские слоны делятся на две группы: саванные (*Loxodonta africana*), которые живут в сухой саванне, и лесные (*L. cyclotis*), которые обитают во влажных лесах. Вопрос о статусе этих групп до сих пор остается открытым. Некоторые авторы считают эти группы подвидами [7], в то время как другие относят их к разным видам [8–13]. Расхождение лесных и саванных слонов произошло от 2.5 млн лет назад (по ядерной ДНК) до 5.5 млн лет назад (по митохондриальной ДНК) [9].

Ареалы этих двух групп не разделены, и существует обширная зона контакта, на которой возможна гибридизация. В ряде популяций, например, в регионе Серенгети в Восточной Африке, большинство саванных слонов имеют митохондриальный геном лесных [10]. Это объясняют межвидовыми скрещиваниями лесных самок с саванными самцами с последующей интрогрессией. Возможный сценарий, который учитывает хорошо изученные особенности социального поведения африканских слонов [14], выглядит следующим образом [8–10].

Слоны живут большими стадами — до нескольких десятков особей. Стадо включает только самок разного возраста и их неполовозрелое потомство и возглавляется старшей самкой-матриархом. Все слоны в стаде родственны по материнской линии и имеют одинаковый митохондриальный геном. Самцы слонов, достигшие половой зрелости (12 лет), изгоняются из стада. Они тоже могут объединяться в группы, которые состоят из самцов разного возраста и где главенствуют крупные половые самцы.

Когда самка достигает репродуктивного возраста (10–12 лет) и у нее начинается эстральный цикл, она уходит из стада на период до нескольких недель для встречи с самцом. Затем возвращается в материнское стадо и через 22 месяца рождает детеныша, которого выкармливает около двух лет, т.е. в течение почти четырех лет самка репродуктивного возраста не готова к новому контакту. Для спаривания самки предпочитают крупных самцов.

Распределение слонов по группам не приводит к полному разделению родственников мужского и женского пола, поэтому слоны способны распознавать сородичей. Учитывая, что саванные самцы предпочитают избегать инбридинга [15] и что они крупнее лесных слонов и репродуктивно над ними доминируют, а эстральные самки

встречаются редко, не исключено, что в таких условиях лесные самки заполняют освободившуюся нишу и составляют конкуренцию саванным самкам. Здесь уместно вспомнить, что корреляция между внутривидовым потоком генов и межвидовым отрицательна [16].

После спаривания с саванным самцом лесная самка возвращается в материнское стадо лесных слонов. Через 22 месяца на свет появляется гибрид с митохондриальным геномом лесных слонов и ядерной ДНК саванных и лесных слонов поровну. Гибридная самка начнет передавать митохондриальный геном следующим поколениям по материнской линии. Каждое возвратное скрещивание лесных или гибридных самок с саванными самцами будет уменьшать долю ядерной ДНК лесного слона наполовину. И через много поколений у ги-

бридов ядерная ДНК саванного слона полностью заменит ядерную ДНК лесного слона. К тому же саванные самцы почти вдвое крупнее лесных, а значит, пользуются преимуществом при спаривании в том числе и с лесными и гибридными самками. Кроме того, гибридные самцы могут обладать пониженной плодовитостью согласно правилу Холдейна: если при скрещивании разных подвидов или рас жизнеспособность потомства зависит от пола, более редким (или вообще отсутствующим) будет гетерогаметный пол, то есть у млекопитающих — самцы [17].

Эта модель хорошо объясняет, почему в областях, далеких от зоны контакта двух групп, практически нет ни слонов с промежуточной морфологией, ни особей со смешанным — саванным с лесным — ядерным геномом, в том числе среди са-

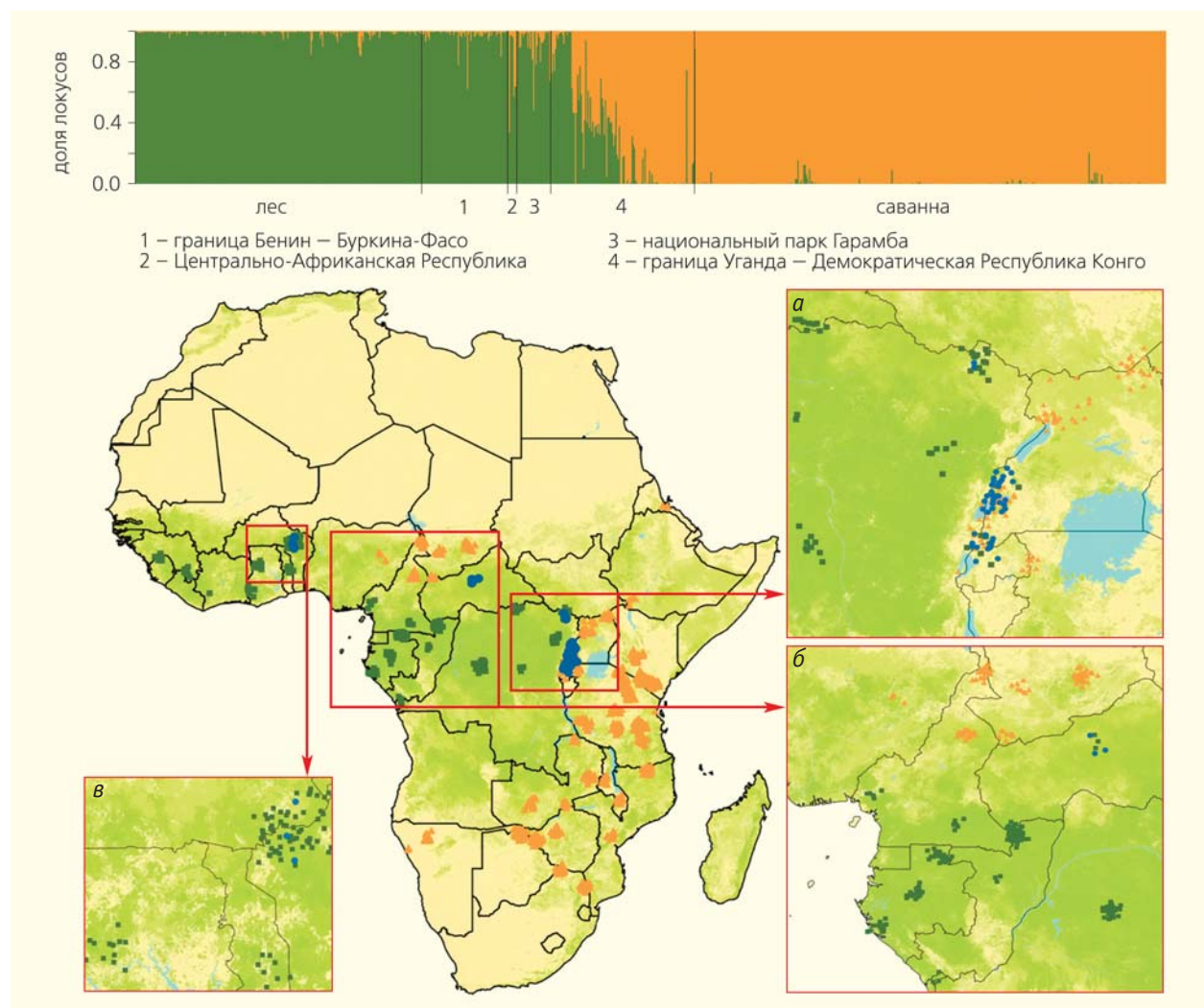


Рис.1. Гибридизация лесных и саванных слонов в зоне контакта [20]. Вверху — доля локусов лесного (зеленый цвет) и саванного (оранжевый) происхождения у лесных слонов, в четырех гибридных популяциях и у саванных слонов. Внизу — вероятное происхождение особей по данным генотипирования в Африке в целом, в области границы Уганды и Демократической Республики Конго (а), в Центрально-Африканской Республике (б) и в Западной Африке (в). Зеленые квадраты — лесные слоны, оранжевые треугольники — саванные слоны, синие кружки — гибриды.

ванных слонов с митохондриальным геномом лесного типа. Однако она наталкивается на противоречие: поскольку самки слона возвращаются в материнское стадо, гибридные самки оказываются в стаде с лесными, а значит, не могут передать свою митохондриальную ДНК саванным слонам. Тем более не могут этого сделать гибридные самцы, ведь митохондриальный геном наследуется только по материнской линии.

Возможно, этот парадокс объясняется изменениями популяционной структуры и ареала слонов под влиянием климатических изменений и деятельности человека — хозяйственной и охоты, в том числе браконьерской. Есть наблюдения, что, когда численность натального стада у саванных слонов по тем или иным причинам падает, матриарх может принимать самок из других, неродственных групп [18]. Так, например, в Уганде, где популяция слонов существенно сократилась из-за браконьерства, самки с разными митохондриальными гаплотипами сформировали новые социальные группы [19]. Кроме того, раз гибридные самки имеют ядерную ДНК саванного слона, они могут быть морфологически близки к саванным сородичам, а потому их не изгоняют из стада, когда они оказываются в зоне симпатрии.

Однако недавний подробный анализ четырех популяций слонов из контактных зон показал более сложную картину [20] (рис.1). Среди гибридных особей ни одна не оказалась гибридом первого поколения. Это доказывает, что гибриды саванных и лесных слонов фертильны. Однако, когда построили филогенетические деревья по маркерам митохондрий (строго материнское наследование) и Y-хромосом (строго отцовское), стало очевидно, что гибридизация шла в обоих направлениях: геномы и саванных, и лесных слонов образовали по две четко выделенные ветви, так что геномы гибридных особей могли принадлежать и одной, и другой.

Тем не менее все авторы последних исследований склонны считать лесных и саванных слонов разными видами [9, 20]. По мнению Эрнста Майра, гибридизация в зоне контакта необязательно означает, что мы имеем дело с одним видом — гибридами. Генетическая цельность двух видов вполне может сохраняться [21]. В случае африканских слонов это и наблюдается: вдали от зоны контакта нет никаких следов смешения, кроме митохондриальной интрогрессии, а морфологически виды, несмотря на нее, различны.

Бурые и белые медведи: один или два вида?

Ответ кажется очевидным. Конечно, два — достаточно сходить в зоопарк и посмотреть. Однако...

Ученые из Института арктической биологии Университета Аляски исследовали популяцию бу-

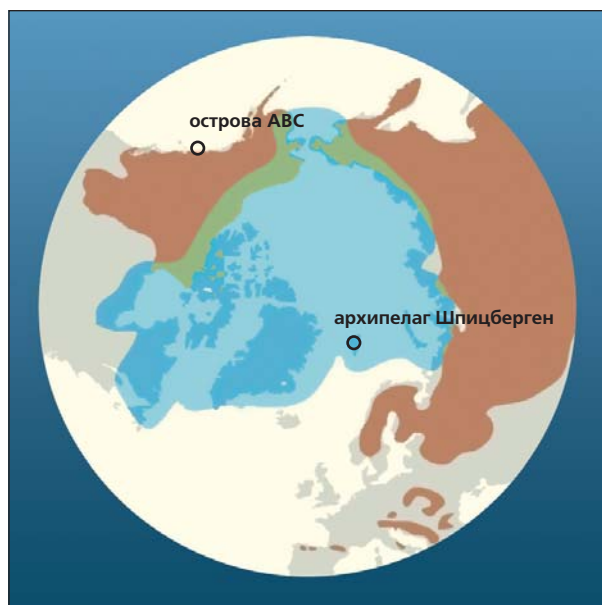


Рис.2. Ареалы бурого (коричневый цвет) и белого (голубой) медведей [22, с доп.]. Острова ABC — острова Адмиралти, Баранова и Чичагова архипелага Александра у берегов Аляски. Зелеными показаны области, где два вида могут время от времени встречаться, — на землях Северного полярного круга, на западе Северной Америки и в Восточной Сибири.

рых медведей с архипелага Александра у берегов Аляски (с островов Адмиралти, Баранова и Чичагова, которые по первым латинским буквам называют островами ABC; рис.2). В 1996 г. они заметили, что митохондриальные геномы этих медведей больше похожи на митохондриальные геномы белых медведей (*Ursus maritimus*), чем бурых (*U. arctos*) из других популяций [23]. Несколько гипотез пытались это объяснить: происхождением белых медведей из древней прибрежной популяции бурых, которая сохранилась только на островах ABC [23], интрогрессией митохондриальных генов бурых медведей с островов ABC в геном белых [24] и, наоборот, интрогрессией митохондриальных генов белых медведей в геном бурых [25, 26]. Предположение, что белые медведи недавно произошли от бурых, казалось бы, подтвердилось, когда секвенировали митохондриальный геном древнего (130–110 тыс. лет назад) белого медведя из челюстной кости, найденной на архипелаге Шпицберген [27]. Оказалось, этот геном очень близок к точке ответвления митохондриальных геномов современных белых медведей и ближайших к ним бурых медведей с островов ABC.

Получается, белые медведи — это не отдельный вид, а ветвь бурых медведей, которая отделилась сравнительно недавно, не более 150 тыс. лет назад, и сильно изменилась морфологически? Более обширный анализ митохондриальных геномов указывает на еще более фантастический сценарий. Действительно, митохондриальные геномы древ-

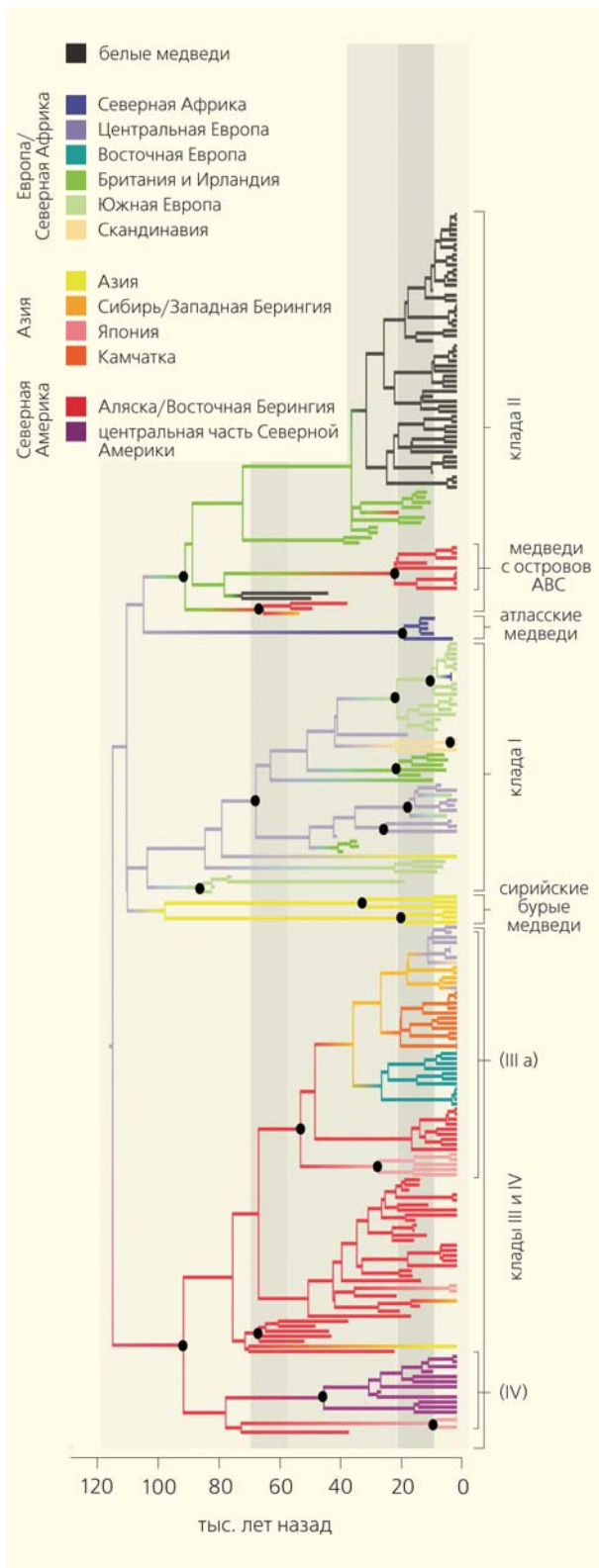


Рис.3. Митохондриальное дерево современных и древних белых и бурых медведей [6]. Цветом показано происхождение образцов. Фон обозначает периоды теплого (светло-серый) и холодного (темно-серый) климата, определенные по содержанию изотопов кислорода в морской воде.

них белых медведей из Скандинавии ближе всего к геномам медведей с островов АВС. В то же время митохондриальные геномы современных белых медведей существенно ближе к геномам вымершей ветви бурых медведей из Ирландии — расхождение этих двух линий произошло менее 40 тыс. лет назад [6] (рис.3). Следует отметить, что эти же данные интерпретировали заново уже иначе — как интрогрессию митохондриальных генов белого медведя в геном бурого [22]. Правда, это не объясняет, почему эта ветка находится в глубине большой клады бурых медведей.

Анализ же ядерных геномов показывает, что белые медведи разделились с бурыми примерно 600 тыс. лет назад [28] (рис.4). Согласно этой работе, в ядерных геномах не наблюдается следов (недавних) гибридизаций между белыми и бурыми медведями, однако согласно другим исследованиям 5–10% ядерного генома бурых медведей с островов АВС происходят из генома белого медведя, а расхождение видов отнесено на 4 млн лет назад [29]. Вообще, имеет смысл отметить важное последствие гибридизации, которое, однако, существенно затрудняет датировки: она ведет к тому, что различные геномные локусы имеют разную историю. Так, еще в одной работе расхождение бурых и белых медведей датируется примерно 400 тыс. лет назад, хотя также отмечен существенный поток генов белого медведя в геном медведей с островов АВС. Наконец, следует заметить, что во многих работах отмечается меньшая эффективная численность популяции белых медведей по сравнению с бурыми и эффект бутылочного горлышка — эпизоды резкого сокращения численности популяции после разделения с бурыми [26, 28, 29]. Расхождение Y-хромосом белого и бурого медведя, для которых не заметно признаков интрогрессии, датируется приблизительно 1.1 млн лет назад [30] (рис.5). Вопрос о потоке ядерных генов бурого медведя в геном белого остается противоречивым: отмечались как следы слабого потока [29], так и полное его отсутствие [31]. При этом поток генов белого медведя шел и в геномы материковых бурых медведей с Аляски, хотя и был слабее [31]. Полный список оценок дан в обзоре [22].

Положительный отбор в геномах белых медведей затронул гены, связанные с формированием жировой ткани, развитием сердечной мышцы и свертываемостью крови, а также пигментацией меха [26]. В то время как интрогрессии в геном бурого медведя подвергся ген *ALDH7A1*, который регулирует осмотический стресс: это могло иметь приспособительное значение для прибрежной (островной) популяции бурых медведей [29].

Один из главных, принципиальных открытых вопросов, который слабо обсуждается в литературе, — произошло ли полное закрепление интрогрессировавших митохондриальных генов бурого медведя во всей популяции белых медведей под

действием отбора или же в силу случайного дрейфа. Второй вопрос — была ли первоначально популяция бурых медведей с островов АВС популяцией белых медведей с почти тотальной интрогрессией ядерных генов бурых медведей за счет самцов, приплывавших с материка [31], или же популяцией бурых медведей, в геном которой интрогрессировали митохондриальные гены белых медведей в результате одной или нескольких гибридизаций с самками белого медведя.

Ко второму вопросу стоит добавить, что географическое распределение митохондриальных гаплотипов и белых медведей, и бурых высоко структурировано, что отражает привязанность самок к месту рождения, тогда как гаплотипы Y-хромосомы перемешаны из-за частых миграций самцов [30]. С одной стороны, это косвенно свидетельствует о том, что случайный дрейф митохондриального генома должен быть затруднен. С другой стороны, его могли облегчать колебания численности и эффект бутылочного горлышка.

Хотя основные факты — полную интрогрессию митохондриальных генов бурого медведя в геном белого (возможно, неоднократно), значительный поток ядерных генов белого медведя в геном бурых медведей с островов АВС (и возможно, с Аляски), значительные колебания численности белых медведей — по-видимому, в целом можно считать твердо установленными, детали этой эволюционной истории нуждаются в прояснении. Как и всегда, нужно больше геномов — и современных, из разных популяций, и древних.

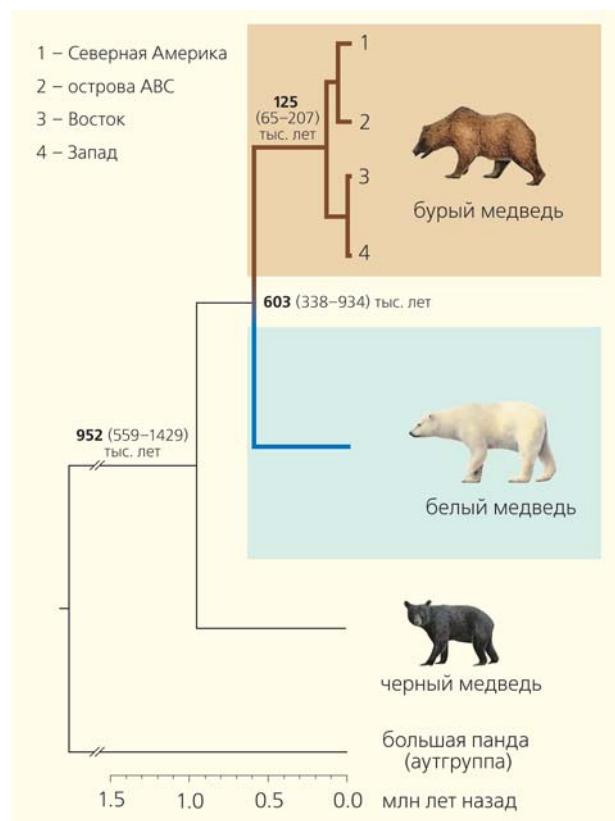


Рис.4. Филогенетическое дерево ядерных геномов белых (*Ursus maritimus*), бурых (*U.arctos*) и черных (*U.americanus*) медведей [28]. Белые и бурые медведи — сестринские группы, которые разделились около 603 тыс. лет назад.

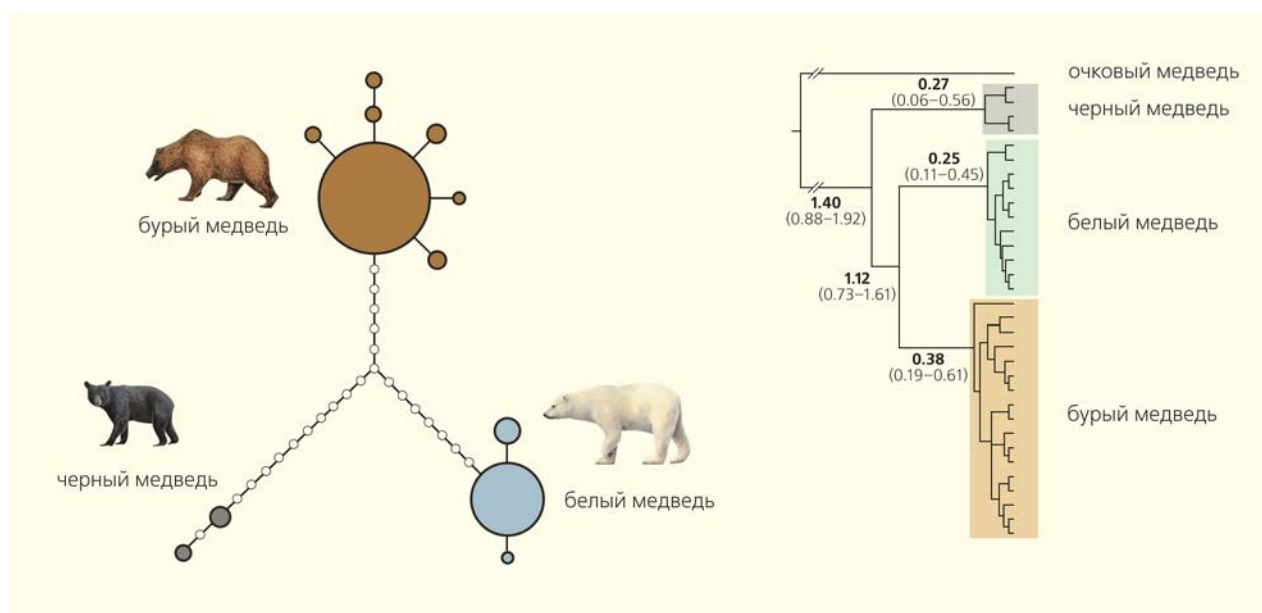


Рис.5. История Y-хромосом белых (*Ursus maritimus*), бурых (*U.arctos*) и черных (*U.americanus*) медведей [30]. Слева — сеть гаплотипов. Площадь кружка пропорциональна количеству наблюдений, пустые кружки — предполагаемые предковые гаплотипы. Справа — филогенетическое дерево. В узлах указаны наиболее вероятные датировки расхождения в млн лет назад. Предполагаемое время расхождения с очковым медведем (*Tremarctos ornatus*) — 6 млн лет назад.

И снова люди

Пожалуй, одна из основных загадок геномной эволюции древних людей — происхождение денисовцев. Мы уже писали об этом вопросе в предыдущих статьях [32, 33], однако полезно вернуться к нему именно в контексте обсуждаемых здесь несовпадений истории ядерных и митохондриальных геномов.

Денисовцы по ядерному геному — сестринская группа с неандертальцами, однако разошлись с ними вскоре после отделения от кроманьонцев. Оценки неточны, но в первом приближении разделение кроманьонцев и денисовцев + неандертальцев произошло примерно 650 тыс. лет назад, а денисовцев и неандертальцев — около 450 тыс. лет назад. Нам известен один ядерный геном из Денисовой пещеры на Алтае (возраст — примерно 50 тыс. лет) и несколько митохондриальных геномов оттуда же, самый старый из которых датируется 110 тыс. лет назад. Кроме того, известны фрагменты денисовского генома, которые сохранились в геномах австралонезийцев. Денисовский вариант гена *EPAS1* практически зафиксировался в популяции тибетцев. Все это указывает на обширность ареала денисовцев.

А вот по митохондриальному геному денисовцы разделились с ветвью неандертальцев + кроманьонцев около миллиона лет назад. Этот геном ближе всего к митохондриальному геному человека возрастом около 430 тыс. лет из пещеры Сима де лос Уэсос в Испании. Однако получается парадокс: ядерный геном из пещеры Сима де лос Уэсос ближе к неандертальскому, чем к денисовскому (авторы оригинальной статьи [34] не приводят оценок времени расхождения). Таким образом, нет никакого простого сценария, который бы включал лишь интрогрессию, чтобы объяснить

эти наблюдения. Авторы предполагают, что митохондриальные геномы из Денисовой пещеры и Сима де лос Уэсос — прямые потомки геномов древнего выходца из Африки, предка неандертальцев и денисовцев, кем бы он ни был с антропологической точки зрения, а митохондриальные геномы неандертальцев — результат поздней интрогрессии африканского же происхождения. В пользу этой гипотезы говорит то, что в геноме алтайского неандертальца обнаружены кроманьонские фрагменты, причем это следы гибридизации, предшествовавшей выходу из Африки предка современных европейцев и азиатов [35]. Однако такие фрагменты отсутствуют в геномах других неандертальцев, в то время как митохондриальные геномы всех неандертальцев очевидно образуют единую ветвь на филогенетическом дереве. Кроме того, возникают проблемы с датировкой: носитель кроманьонских фрагментов в геноме алтайского неандертальца отделился от остальных кроманьонцев примерно 250 тыс. лет назад (до начала разделения современных популяций в Африке), а разделение митохондриальных ветвей кроманьонцев и неандертальцев датируется примерно 500 тыс. лет назад. Получается, это не могло быть результатом одного события. Альтернативное объяснение состоит в том, что источник митохондриальной ДНК денисовцев и человека из пещеры Сима де лос Уэсос — неизвестные представители рода *Homo* (*H. erectus*?). Однако оно также не дает простого ответа на вопрос, где, когда и с кем произошла эта гибридизация.

* * *

Удивительно не то, что мы не знаем ответов на многие вопросы. Удивительно то, что мы можем эти вопросы задавать и надеемся получить на них ответы. ■

Н.В.Сернова благодарна своей маме Натальи Владимировне Серновой за вдохновение и помощь. М.С.Гельфанд благодарен фонду «Эволюция» за поддержку научно-популярных лекций, подготовка к которым помогла лучше осознать изложенный материал.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 14-24-00155).

Литература

1. Mallet J. Hybridization as an invasion of the genome // Trends Ecol. Evol. 2005. V.20. P.229–237. Doi:10.1016/j.tree.2005.02.010.
2. Toews D.P.L., Brelsford A. The biogeography of mitochondrial and nuclear discordance in animals // Mol. Ecol. 2012. V.21. P.3907–3930. Doi:10.1111/j.1365-294X.2012.05664.x.
3. Ropiquet A., Hassanin A. Hybrid origin of the Pliocene ancestor of wild goats // Mol. Phylogenet. Evol. 2006. V.41. P.395–404. Doi:10.1016/j.ympev.2006.05.033.
4. Catbey J.C., Bickham J.W., Patton J.C. Introgressive hybridization and nonconcordant evolutionary history of maternal and paternal lineages in North American deer // Evolution. 1998. V.52. P.1224–1229. Doi:10.2307/2411253.
5. Yannic G., Dubey S., Hausser J. et al. Additional data for nuclear DNA give new insights into the phylogenetic position of *Sorex granarius* within the *Sorex araneus* group // Mol. Phylogenet. Evol. 2010. V.57. P.1062–1071. Doi:10.1016/j.ympev.2010.09.015.

6. Edwards C.J., Suchard M.A., Lemey P. et al. Ancient hybridization and an Irish origin for the modern polar bear matriline // *Curr. Biol.* 2011. V.21. P.1251–1258. Doi:10.1016/j.cub.2011.05.058.
7. Debruyne R. A case study of apparent conflict between molecular phylogenies: the interrelationships of African elephants // *Cladistics.* 2005. V.21. P.31–50. Doi:10.1111/j.1096-0031.2004.00044.x.
8. Roca A.L., Georgiadis N., O'Brien S.J. Cyto-nuclear genomic dissociation and the African elephant species question // *Quat. Int.* 2007. V.169–170. P.4–16. Doi:10.1016/j.quaint.2006.08.008.
9. Roca A.L., Isbida Y., Brandt A.L. et al. Elephant natural history: a genomic perspective // *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 2015. V.3. P.139–167. Doi:10.1146/annurev-animal-022114-110838.
10. Roca A.L., Georgiadis N., O'Brien S.J. Cytonuclear genomic dissociation in African elephant species // *Nat. Genet.* 2005. V.37. P.96–100. Doi:10.1038/ng1485.
11. Grubb P., Groves C.P., Dudley J.P. et al. Living African elephants belong to two species: *Loxodonta africana* (Blumenbach, 1797) and *Loxodonta cyclotis* (Matschie, 1900) // *Elephant.* 2000. V.2. P.1–4.
12. Groves C.P., Grubb P. Do *Loxodonta cyclotis* and *L.africana* interbreed? // *Elephant.* 2000. V.2. P.4–7.
13. Comstock K.E., Georgiadis N., Pecon-Slatery J. et al. Patterns of molecular genetic variation among African elephant populations // *Mol. Ecol.* 2002. V.11. P.2489–2498. Doi:10.1046/j.1365-294X.2002.01615.x.
14. Sukumar R. The living elephants: evolutionary ecology, behavior, and conservation. Oxford: Oxford University Press, 2003.
15. Archie E.A., Hollister-Smith J.A., Poole J.H. et al. Behavioural inbreeding avoidance in wild African elephants // *Mol. Ecol.* 2007. V.16. P.4138–4148. Doi:10.1111/j.1365-294X.2007.03483.x.
16. Petit R.J., Excoffier L. Gene flow and species delimitation // *Trends Ecol. Evol.* 2009. V.24. P.386–393. Doi:10.1016/j.tree.2009.02.011.
17. Haldane J.B.S. Sex ratio and unisexual sterility in hybrid animals // *Journ. of Gen.* 1922. V.12. P.101–109. Doi:doi:10.1007/BF02983075.
18. Gobush K., Kerr B., Wasser S. Genetic relatedness and disrupted social structure in a poached population of African elephants // *Mol. Ecol.* 2009. V.18. P.722–734. Doi:10.1111/j.1365-294X.2008.04043.x.
19. Nyakaana S., Abe E.L., Arcander P. et al. DNA evidence for elephant social behaviour breakdown in Queen Elizabeth National Park, Uganda // *Animal Conservation.* 2001. V.4. P.231–237. Doi:10.1017/S1367943001001275.
20. Mondol S., Moltke I., Hart J. et al. New evidence for hybrid zones of forest and savanna elephants in Central and West Africa // *Mol. Ecol.* 2015. V.24. P.6134–6147. Doi:10.1111/mec.13472.
21. Mayr E. Principles of systematic zoology. New York: McGraw-Hill, 1969.
22. Hassanin A. The role of Pleistocene glaciations in shaping the evolution of polar and brown bears. Evidence from a critical review of mitochondrial and nuclear genome analyses // *Comptes Rendus Biologies.* 2015. V.338. P.494–501. Doi:10.1016/j.crvi.2015.04.008.
23. Talbot S.L., Shields G.F. A phylogeny of the bears (Ursidae) inferred from complete sequences of three mitochondrial genes // *Mol. Phylogenet. Evol.* 1996. V.5. P.567–575. Doi:10.1006/mpev.1996.0051.
24. Rozell N. The brown bear: father of the polar bear? // *Alaska Science Forum.* 1996. Article #1314. <http://www2.gi.alaska.edu/ScienceForum/ASF13/1314.html>
25. Cabill J.A., Green R.E., Fulton T.L. et al. Genomic evidence for island population conversion resolves conflicting theories of polar bear evolution // *PLoS Genet.* 2013. V.9. e1003345. Doi:10.1371/journal.pgen.1003345.
26. Liu S., Lorenzen E.D., Fumagalli M. et al. Population genomics reveal recent speciation and rapid evolutionary adaptation in polar bears // *Cell.* 2014. V.157. P.785–794. Doi:10.1016/j.cell.2014.03.054.
27. Lindqvist C., Schuster S.C., Sun Y. et al. Complete mitochondrial genome of a Pleistocene jawbone unveils the origin of polar bear // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2010. V.107. P.5053–5057. Doi:10.1073/pnas.0914266107.
28. Hailer F., Kutschera V.E., Hallström B.M. et al. Nuclear genomic sequences reveal that polar bears are an old and distinct bear lineage // *Science.* 2012. V.336. P.344–347. Doi:10.1126/science.1216424.
29. Miller W., Schuster S.C., Welch A.J. et al. Polar and brown bear genomes reveal ancient admixture and demographic footprints of past climate change // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2012. V.109. E2382–E3290. Doi:10.1073/pnas.1210506109.
30. Bidon T., Janke A., Fain S.R. et al. Brown and polar bear Y chromosomes reveal extensive male-biased gene flow within brother lineages // *Mol. Biol. Evol.* 2014. V.31. P.1353–1363. Doi:10.1093/molbev/msu109.
31. Cabill J.A., Stirling I., Kistler L. et al. Genomic evidence of geographically widespread effect of gene flow from polar bears into brown bears // *Mol. Ecol.* 2015. V.24. P.1205–1217. Doi:10.1111/mec.13038.
32. Гельфанд М.С. Геном неандертальца: открытые вопросы // *Природа.* 2016. №1. С.27–35.
33. Гельфанд М.С. Новости о древних людях // *Природа.* 2016. №11. С.38–43.
34. Meyer M., Arsuaga J.L., de Filippo C. et al. Nuclear DNA sequences from the Middle Pleistocene Sima de los Huesos hominins // *Nature.* 2016. V.531. P.504–507. Doi:10.1038/nature17405.
35. Kublwilm M., Gronau I., Hubisz M.J. et al. Ancient gene flow from early modern humans into Eastern Neanderthals // *Nature.* 2016. V.530. P.429–433. Doi:10.1038/nature16544.

Неповторимый нефрит

А.М.Портнов, Н.Д.Дронова

Нефрит — один из древнейших камней, с которым познакомился человек. Изделия из нефрита находят в раскопках, датируемых 6–7-м тысячелетиями до нашей эры. Его использовали для изготовления амулетов, культовых и бытовых предметов, украшений. В этом минерале сочетаются красивый цвет, вязкость, твердость, глубинное мерцание, свойственное полупрозрачным камням. Его особые свойства позволяли создавать ажурные, тонкие и вместе с тем прочные и долговечные вещи. В наше время высококачественных фальсификаций нефрит остается редким минералом, который невозможно подделать. Подобной синтетики нет, и изготовить ее пока невозможно.

Искусство резьбы по нефриту впервые появилось в Китае. Академик А.Е.Ферсман назвал нефрит национальным камнем Китая. В этой стране к нему проявляют особое уважение, его ценят выше золота, наделяют мистическими свойствами. Нефрит символизирует космическую энергию, совершенство, силу, власть, неподкупность, бессмертие. Его называют камнем неба, земли, мудрости и вечности.

Свойства нефрита

Ювелирно-поделочный нефрит представляет собой плотный, вязкий скрытокристаллический агрегат минералов группы амфиболов — светлого тремолита или зеленого актинолита, имею-



Александр Михайлович Портнов, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры минералогии и геохимии Российского государственного геолого-разведочного университета имени Серго Орджоникидзе (Москва). Круг научных интересов охватывает вопросы минералогии и геохимии.



Нона Дмитриевна Дронова, доктор технических наук, профессор кафедры ювелирного искусства Высшей школы народных искусств (Санкт-Петербург). Область научных интересов — обработка каменных ювелирных изделий, история ювелирного дела.

Ключевые слова: нефрит, древние изделия, Китай, диагностика древности, вторичные изменения поверхности.

Key words: jade, artifacts, China, diagnostics antiquity, secondary alteration of the surface.

щих общий состав $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. На поверхности эти минералы легко выветриваются с выносом кальция. Магний остается и образуется мягкий игольчатый минерал серпентин.

Основные свойства нефрита, влияющие на его качество и цену, — окраска, просвечиваемость, способность принимать причудливую форму и элегантный кошачий изгиб в изделиях. Примесь хрома дает ярко-зеленый, «изумрудный», цвет, железа — голубовато-зеленый, темно-зеленый, желтоватый или оливковый. Редко встречается самый ценный — серовато-белый просвечивающийся нефрит, еще реже — серый и черный.

Китайский историк так описывает нефрит: «Пять цветов у него — белый, как баранье сало или сливки; желтый, как каштаны, сваренные в кипящей воде; черный, как вакса или лак; красный, как гребешок петуха или помада для губ, а самый дорогой — светло-серый, цвета плевка». Ценность камня зависит не только от цвета, но и от распределения окраски, ее яркости, характера жилок и пятен. Ки-

тайцы сравнивают нефрит с мхом, пробившимся сквозь тающий снег, или алой кровью цыплят.

Высокая прочность и вязкость нефрита обусловлены спутанно-волокнистой структурой, крайне редкой в мире камней. Массы тончайших волос превращают нефрит в «каменный войлок». Синтезировать эту уникальную структуру никому не удалось, и до сих пор нет общепринятой точки зрения, как она образуется. Происхождение ее загадочно и указывает на необычность условий кристаллизации нефрита.

Происхождение

Большинство геологов считают нефрит минералом, образующимся на контакте разнородных пород за счет химических реакций с горячими водными растворами. Иногда нефрит возникает в серпентинитах при изменении оливин-пироксеновых глубинных пород. Но лучший по качеству светло-серый минерал встречается на контакте магнезиальных мраморов с гранитами.

Продукты реакций между глубинными высокотемпературными расплавами и более холодными вмещающими породами, которые обычно сложены карбонатами Ca и Mg, называются скарнами. Под действием растворов с кальцием и магнием из гранитов высвобождается кремнезем, «склеивающий» щелочноземельные элементы в различные соли кремниевых кислот, в том числе в амфиболы.

Для образования тонких волосистых кристаллов-вискерсов (бездефектных волокнистых микрорисаллов) нужны свободное пространство, насыщенный флюид и быстрая кристаллизация. Подобные условия создаются редко: чтобы росли такие амфиболовые волосы-вискерсы, нужна зона пониженного давления и высокой температуры, которая заполнена флюидом, насыщенным кальцием, магнием и кремнием. Видимо, оптимальный вариант создается, когда магнезиальные мраморы растворяются в гранитных флюидах. В локальных участках пониженного давления возникают зоны ретроградного кипения, и из пересыщенного пара за счет взаимодействия магния, кальция и кремния растут тремолит-актинолитовые «волосы».

Нефрит возникает на глубине 20–30 км при давлении 40–60 кбар. Растворы в этих условиях надкритические, кислые, с CO₂ и F (светлые нефриты содержат до 0.6% фтора). Поскольку нефрит обогащен легкими изотопами кислорода и водорода, значит, он растет среди пара, богатого легкими изотопами кислорода и водорода. Ученые, открывшие эти особенности, обнаружили в светлом нефрите (в отличие от темного) заметное накопление легких изотопов кислорода и водорода ($\delta^{18}\text{O} = -14.6 \text{ — } -18.6\%$ и $\delta\text{D} = -119.3 \text{ — } -178.5\%$, относительно стандарта SMOW) [1]. Это явление в светлом нефрите Витимской площади в Сибири,



Древнее китайское камнерезное изделие «Бог Солнца» из светло-зеленого нефрита с белыми пятнами вторичных изменений (серпентинизации) на поверхности. Эпоха неолита (культура хуншань, 3–5 тыс. лет до н.э.). Размер фигурки около 7 см.

Здесь и далее фото Н.Д.Дроновой

а также исследование метаморфических корундов и других метаморфических тяжелых минералов показало, что изотопы водорода и кислорода воды фракционируют довольно часто [2–4]. Считается, что наличие в тяжелых минералах легких изотопов неизменно свидетельствует о древней погребенной дождевой воде, всегда богатой легкими изотопами [1–4].

Но вода чрезвычайно подвижна, и легкий изотопный состав ее в древних дождях, корах выветривания или оледенениях вряд ли сохранится в течение сотен миллионов и миллиардов лет в условиях тектонических движений и высоких градиентов температур и давлений. Для возникновения «легкоизотопных» метаморфических минералов нужны особые условия, когда возможно сосуществование жидкости и пара.

Легкие изотопы воды на земной поверхности всегда накапливаются (фракционируются) в парогазовой фазе, а затем остаются в осадках в виде дождя или снега. Однако в глубинах Земли фракционирование также возможно, если в перегретых растворах появятся зоны локального пониженного давления с ретроградным кипением (паром). Тогда газ (пар) может возникнуть на глубине в десятки километров. Особенно сильно это проявлено в водонепроницаемых глинистых породах, где из глин с плотностью около 2.0 г/см^3 образуются тяжелые минералы с плотностью $3.5\text{--}4.5 \text{ г/см}^3$. Подобный метаморфический процесс сопровождается значительной усадкой пород.

Исследователи, обнаружившие легкие изотопы воды в тяжелых минералах кристаллических сланцев, считают аномальное накопление таких изотопов в древних метаморфических минералах (корунде, гематите, ильмените, гранате, дистене и др.) связанным с составом архей-протерозойских или палеозойских дождей [2–4]. Мы же предполагаем, что главная причина накопления легких изотопов — усадка глинистых толщ при их превращении в тяжелые минералы. При этом возникают локальные зоны пониженного давления с ретроградным кипением и концентрацией легких изотопов в воде тяжелых минералов, которые образуются из насыщенного минерализаторами пара [5].

Аналогичное явление происходит и при образовании нефрита. Парадоксальное накопление легких изотопов в высококачественном светлом нефрите позволяет объяснить его загадочную спутанно-волокнистую структуру. Мы считаем, что кристаллизация нефрита начинается с уменьшения объема карбонатных пород при их растворении кислыми растворами в насыщенном кремне-карбонатном паре. Неустойчивые в кислом гранитном флюиде магнезиальные карбонаты растворяются, создавая зоны пониженного давления и ретроградного кипения с концентрацией легких изотопов в парогазовой среде.

Из перегретого магнезиально-кальциево-силикатного раствора отделяется парогазовая фаза, обогащенная легкими изотопами кислорода и водорода. В таких необычных условиях растут из пересыщенного минерализованного пара хорошо различимые под микроскопом жгуты прочных волосистых кристаллов-вискерсов, под давлением сминающихся в вязкий каменный войлок.

Попытки отбить молотком кусок нефрита от окатанной глыбы неизменно заканчиваются плохо: камень звенит, как сталь, а от молотка фейерверком летят раскаленные искры.

Генетические типы нефритовых месторождений относятся как к глубинным, так и к поверхностным (россыпным). Светлый китайский нефрит с давних времен добывался из россыпных месторождений, коренные источники которых до сих пор не обнаружены. Нефриты в магнезиальных

карбонатах известны на п-ове Эйр в Австралии, в предгорьях хребтов Куньлуня в Китае и в бассейне среднего течения р.Витим в России. Они генетически связаны с крупными массивами гранитов и встречаются в метаморфических породах в приконтактных зонах доломитов. Это высококачественные нефриты, от салатно-зеленого до белого, иногда медового и коричневого цвета. В них практически отсутствуют темные включения.

Месторождения

В Древнем Китае главным центром добычи нефрита был город Хотан в Восточном Туркестане. Из коренных месторождений в верховьях р.Яркенда на Памире ежегодно отправляли до 5 т нефрита императору, до тех пор пока его сын не заболел, возлегая на нефритовой кровати. Тогда император запретил ломать в ущельях Яркенда зеленый камень, приказал заковать в цепи и бросить на дороге отправляемую в Пекин глыбу. А добывать нефрит разрешалось только из рек. Рабы, стоя по пояс в воде, перехватывали катящийся по дну камень и выбрасывали его на берег. Нефрит искали босыми ногами, так как устоять на скользких гальках этого камня было невозможно.

Благодаря высокой прочности и устойчивости к химическому и физическому выветриванию нефрит может переноситься водными потоками более чем на 200 км. Разрушение его коренных залежей обычно происходит под воздействием ледниковой эрозии. В результате образуются отшлифованные глыбы массой до нескольких десятков тонн, рассеянные в отложениях морен. При их размыве в долинах рек и накапливаются современные глыбово-валунные россыпи нефрита.

Промышленное значение имеют знаменитые китайские россыпи, расположенные в долинах рек Яркенд и Хотан на северных склонах хребтов Куньлуня. Эти месторождения (вместе с коренными) располагаются в пределах полосы, вытянутой в субширотном направлении на 600 км при ширине 100 км. Геологи выделяют «нефритовый пояс», протягивающийся через прибрежные северо-восточные районы страны (современные провинции Ляонин и Хэбэй), восточные (Шаньдунский п-ов), юго-восточные (современные провинции Цзянсу и Чжэцзян), а также через район среднего течения р.Янцзы (провинции Хубэй и Хунань). Там проходят серии глубинных разломов земной коры, пронизывавших карбонатные осадки вместе с гранитами и вздыбивших недра в виде гигантских хребтов Куньлуня.

Здесь встречаются различные генетические типы нефрита разнообразной окраски, который накапливается в россыпях, как в виде мелких галек, так и в виде крупных валунов и глыб диаметром до 5 м. При переносе и обработке водным по-

током нефрит испытывает естественное обогащение за счет удаления с поверхности обломков и включений менее устойчивых пород. Нефрит из россыпей отличается высоким качеством.

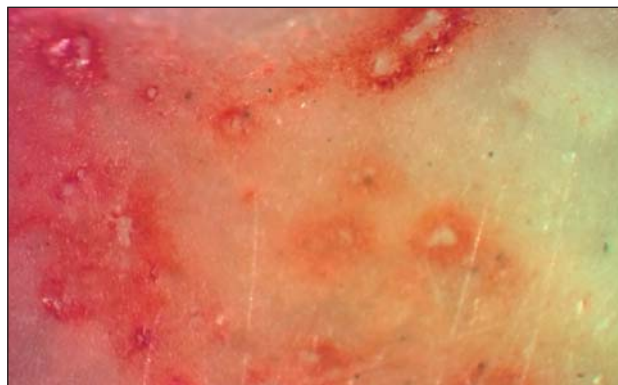
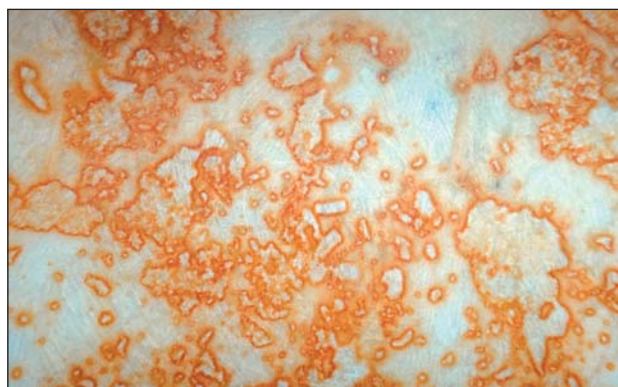
Существуют два основных вида этого камня, цена которых резко отличается: шаньяо — из горных выработок и цзы-эр-ляо — из ручьев и рек. Последний ценится гораздо выше, поскольку за миллионы лет в гальках, как правило, остается только «сердце нефрита» — наиболее твердый и однородный материал. Часто гальки покрыты слоями окрашенного нефрита — пи (корочкой). Такие разности ценятся еще больше.

Древний нефрит

Производство нефритовых изделий на северо-востоке Китая прослеживается приблизительно с 6-го тысячелетия до н.э. Местные мастера на первых порах делали из этого камня примитивные духовые музыкальные инструменты (разновидности свирели), модели топоров или секир. Почти все эти вещи выполнены методом шлифовки и практически лишены орнаментов. Нефритовая пластика представлена фигурками лягушек, черепах и летучих мышей, а также фантастических существ с изображением цикад.

Мы изучали нефритовые изделия неолита — халколита в Северо-Восточном Китае, принадлежащие культуре хуншань, которая получила название по месту раскопок в Хуншаньхоу, проведенных в 1908 г. японским археологом Торией Рюдзо. Архаичные нефритовые резные изделия — важная составная часть этой культуры. Их находки относятся к периоду 5–3-го тысячелетий до н.э. Они распространены в областях Внутренней Монголии и в провинциях Ляонин и Хэбэй [4]. Первая археологическая находка была сделана у горы Хуншань, в г.Чифын Внутренней Монголии. Возраст изделий составлял 5000–8000 лет. В 6–3-м тысячелетиях до н.э. на территории Китая существовало несколько культур, которые настолько активно использовали нефрит, что их называли «нефритовыми».

На сегодняшний день диагностика подлинности камнерезных изделий очень актуальна, поскольку антикварный рынок наполнен имитациями древних неолитических фигурок стиля хуншань. Способы подделки изделий в последние годы становятся все совершеннее. Установление подлинности предметов представляет собой исключительно трудную задачу и требует использования современных методов исследования вещества. Определение технологии, времени и места производства служит основным доказательством



Фигурка мифического животного из белого нефрита (слева). Эпоха Хань (202–9 гг. до н. э.). На поверхности хорошо видны пятна ожелезнения — отложения лимонита и гематита по типу колец Лизеганга, — характерные для древних нефритовых изделий. Увеличение 5 (справа сверху) и 200 (внизу). Размер фигурки ~6 см.

древности камнерезного изделия из нефрита. Важный признак подлинности таких изделий — вторичные изменения на обработанной поверхности нефрита. Микроскопическое изучение позволяет установить характер химического разложения и вторичного изменения резных полированных нефритов, которые происходят в результате экзогенных процессов.

Что же такое вторичные изменения? С выносом кальция из волокон актинолита на поверхности устойчивого нефрита появляются белые порошковые пятна (серпентинизация) и отложения гидроксидов железа (лимонитизация), вызванные процессом выветривания. Чем больше железа в исходном камне, тем сильнее изменения на его поверхности. В фигурках из черного нефрита часто наблюдается пятнистый налет в виде рыжевато-белых бесформенных пятен. Серпентинизацию вызывают и органические кислоты влажной почвы, особенно в древних (более 2 тыс. лет) захоронениях. То, что нефрит подвергается разрушительному действию коррозии в течение длительного времени (5–6 тыс. лет), доказывают археологические находки резных изделий эпохи неолита. Микроскопические исследования показали, что белые пятна вновь образовавшегося минерала располагаются на обработанной поверхности избирательно. Их появление зависит от ориентировки волокон нефрита к плоскости полировки. Когда волокна перпендикулярны, на изделии возникают серпентинитовые пятна, при па-

раллельной ориентировке серпентинизация не происходит и поверхность остается гладкой.

Китайские фальсификаторы, используя современные технологии, копируют древние камнерезные изделия и производят их искусственное старение с помощью плавиковой и других кислот. Но после кислотного травления возникает ямчатая фактура и белый налет, который легко смывается водой. На подлинных же древних предметах белые пятна образуются в теле нефрита и представляют собой серпентин, спутанно-волоконистую структуру которого можно разглядеть под микроскопом. Дополнительный метод диагностики — определение элементного состава продуктов выветривания. Отсутствие в их составе кальция говорит о преобразовании нефрита в серпентин минимум в течение 4–6 тыс. лет.

Еще один метод диагностики нефритовых фигурок культуры хуншань — выявление особенностей обработки. Во времена неолита нефрит обрабатывали с помощью кварцевого песка. Диагностическим признаком древней примитивной шлифовки служит ступенчатый скачкообразный характер пропиленных линий и отверстий и отсутствие ровных обработанных поверхностей. Последние характерны для современных изделий, которые обрабатываются и полируются при больших скоростях и с помощью алмазных инструментов.

К первой половине 1-го тысячелетия до н.э. относятся коллекции нефритовых изделий из усыпальниц знати. Один из самых богатых комплексов IX–VIII вв. до н.э., насчитывающий более полусотни предметов, обнаружен в провинции Шаньси в 1991 г. В него входили ритуальные предметы, зооморфные и антропоморфные подвески и маски, состоящие из множества фигурных пластин, которые прикреплялись к савану. Сложенные вместе, они воспроизводили человеческое лицо.

Новая стадия в истории развития китайского камнерезного дела соотносится с эпохой Сражающихся царств (V–III вв. до н.э.), завершающей эпоху Чжоу. В то время мастера-камнерезы стали использовать металлические инструменты, которые позволяли вырезать узоры из мелких деталей. Наибольшую популярность приобрели «шелкопрядный» и «каплевидный» узоры. Технологии обработки нефрита получили дальнейшее развитие в эпохи Хань (III в. до н.э. — III в. н.э.) и Шести династий (III–VI вв.) Большинство известных сегодня чжоуских и ханьских нефритовых изделий выполнены из привозных минералов, которые доставлялись из Яркенда и Хотана, находившихся на территории современного Синьцзян-Уйгурского автономного района. Нефрит добывался в руслах двух рек с красноречивыми названиями Черный Нефрит (Каракам) и Белый Нефрит (Юрунгам).

Для изделий периодов Шан-Инь и первой половины эпохи Чжоу (XI–III вв. до н.э.) характерны резные предметы с гипергенным ожелезнением



Белые пятна серпентинизации и следы примитивной обработки на поверхности нефрита. Увеличение 5.

нефрита. Тогда многие изделия изготовлялись из светло-желтого и белого нефрита — самых устойчивых к износу. Но при выветривании и выносе кальция из волокон тремолита проявляется микропористая структура новообразованного серпентина. В этих микропорах со временем и откладываются гидроксиды железа в виде темно-бурых образований. В древних захоронениях нефритовые предметы попадают в зону застойных вод, и ржавчина проникает в поверхностный слой минерала в виде диффузионных колец, которые называются кольцами Лизеганга. Их обнаружил в конце XIX в. немецкий химик Р.Э.Лизеганг. Кольца обладают правильной формой и одинаковой толщиной. Они увеличиваются в диаметре, расходясь от центральной точки. Структуры Лизеганга получаются при диффузии раствора через гель или пористый материал, в которых периодически отлагается нерастворимый осадок. Если диффузия идет вглубь вещества, образуются слои, если она начинается в центре поверхности камня, возникают кольца.

Механизм образования структур Лизеганга был предложен в 1887 г. В.Оствальдом. Он считал, что во время реакции периодически происходит отложение осадка из пересыщенного раствора. На древних нефритовых изделиях ржавые кольца Лизеганга покрыты бурыми блестящими кристалликами гематита, что подтверждает наличие образцов в земле в течение 2–3 тыс. лет.

Нередко за древние нефритовые изделия выдаются предметы, обработанные в железистых соединениях под давлением, с последующей шлифовкой мельчайшим речным кварцевым песком и размоченными бамбуковыми палочками. Так, на аукционе в Пекине была продана искусственно состаренная резная пластина из нефрита, выданная за изделие периода Сражающихся царств. Но при такой современной обработке цвет периферийных слоев становится почти красным, а не желто-коричневым, который возникает при долгом нахождении во влажной почве захоронений древних императоров.

Литература

1. Бурцева М.В., Рипп Г.С., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. К оценке источников флюидов, сформировавших нефриты Восточной Сибири // XX симпозиум по геохимии изотопов. Ноябрь 2013 г., г.Москва. М., 2013. С.61–64.
2. Высоцкий С.В., Игнатьев А.В., Левицкий В.И. и др. Новые данные по стабильным изотопам минералов корундоносных образований Северной Карелии (Россия) // Докл. АН. 2011. Т.439. №1. С.95–98.
3. Яковенко В.В. Изотопно-геохимическая систематика корундов и их генезис: Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 2013.
4. Избродин И.А. Минеральный состав и генетические особенности месторождений фосфатсодержащих метаморфизованных высокоглиноземистых пород Ю-3 Забайкалья: Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Улан-Уде, 2006.
5. Портнов А.М. Гул Земли и паровозный гудок // Природа. 2015. №7. С.63–68.

Надо иметь в виду, что после появления бронзовых и железных инструментов древние китайские камнерезчики научились получать точные линии и относительно гладкие поверхности. Но при изучении под лупой можно увидеть, что на вырезанных орнаментах линии гравировки на радиусных участках прерывисты и, в отличие от современных гравированных рисунков, нанесенных с помощью алмазных боров, в них отсутствуют закругления. На древних изделиях прослеживается последовательность изготовления сквозного ажурного рисунка: сначала просверливалось несколько отверстий, а затем их объединяли относительно прямыми пропилами.

Особенность технологий влияет и на общий стиль изделий. Древние предметы имеют прямолинейные рубленые формы линии и угловатые заваленные ребра. Они характеризуются мягким атласным свечением, типичным для примитивной обработки нефрита песком. Иначе говоря, «технологии определяют стиль». В начале XX в. станки по огранке и полировке твердых камней сделали обработку нефрита легкой и быстрой. Современные камнерезные изделия, как правило, обладают глянцевым блеском, имеют четкие ребра и грани, а орнаменты на них нанесены с помощью одной непрерывной линии.

* * *

Древние резные изделия из нефрита отличаются уникальными художественно-декоративными качествами. Они — одни из наиболее востребованных в коллекционировании произведений декоративно-прикладного искусства. Это определяется традиционными эстетическими предпочтениями многочисленного населения Юго-Восточной Азии, и прежде всего Китая.

Разработка «Методики выявления признаков древности камнерезных предметов из нефрита» необходима на сегодняшний день. Диагностика подлинности камнерезных изделий — редкая, но исключительно важная для современного антикварного рынка процедура. ■

Новый взгляд на строение и происхождение полости тела многоклеточных

член-корреспондент В.В.Малахов,
доктор биологических наук
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Дальневосточный федеральный университет (Владивосток)
Е.В.Богомолова,
кандидат биологических наук
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Возникновение целома в онтогенезе

Однослойный шар из клеток (бластула) — типичная стадия эмбрионального развития билатерально-симметричных животных (билатерий). Во многих случаях жгутиковая или ресничная бластула — это первая личиночная стадия, самостоятельно плавающая в толще воды (рис.1). Бластулы, состоящие из одинаковых жгутиковых клеток, характерны для развития иглокожих, полухордовых и даже низших хордовых, например ланцетника (правда, у него жгутиковая бластула не покидает яйцевых оболочек). Бластулообразные личинки характерны для кольчатых червей и моллюсков, хотя у этих животных они состоят из небольшого числа бластомеров — 64–128 клеток. Стенка бластулы впячивается, и формируется первичный кишечник. На этой стадии зародыш билатерий сходен с зародышем кишечнополостных: он состоит из двух эпителиев (энто- и эктодермального), между которыми имеется полость — производное бластоцеля. Разумеется, полость и однослойного зародыша (бластулы), и двуслойного (гастролы) отделена от эпителиев базальной пластинкой. А дальше начинается самое интересное: за счет энтодермального эпите-

ля первичного кишечника формируется третий зародышевый листок — мезодерма, и появляется особая вторичная полость тела — целом.

Современная зоология выделяет четыре крупные группы билатерально-симметричных животных: вторичноротые, линияющие, щупальцевые и трохофорные (рис.2). Формирование целомической мезодермы происходит в этих группах по-разному, но подчиняется некоторым общим зако-

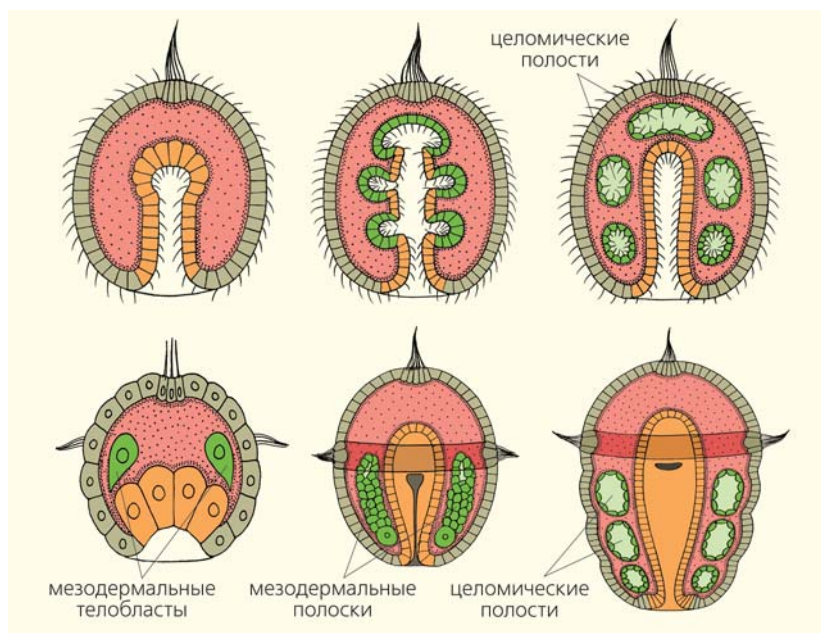


Рис.1. Схема закладки целомической мезодермы (показана зеленым) у вторичноротых (верхний ряд) и первичноротых (нижний ряд) животных. Базальная пластинка здесь и на остальных рисунках обозначена плотным рядом точек.

Окончание. Начало см.: Природа. 2016. №11. С.33–37.

© Малахов В.В., Богомолова Е.В., 2016

Ключевые слова: полость тела, бластоцель, гемоцель, целом, билатерии, эволюция, филогения.

Key words: body cavity, blastocoel, hemocoel, coelom, bilaterians, evolution, phylogeny.

номерностям. Приведем только два примера. У вторичноротых животных (иглокожих, полухордовых и хордовых) стенка первичного кишечника образует выпячивания, которые обособляются в виде отдельных пузырьков (см. рис.1). Стенки этих пузырьков образованы клетками, которые ранее входили в состав первичного кишечника. Теперь эти клетки стали новым зародышевым листком — мезодермой. Полость внутри пузырьков — это и есть вторичная полость тела, или целом. Такой способ его образования зоологи называют энтероцельным, потому что целомическая полость напрямую происходит от полости кишечника. Скорее всего, энтероцельный способ закладки целома в индивидуальном развитии (онтогенезе) повторяет (биологи говорят «рекапитулирует») формирование целома в историческом развитии (филогенезе) билатерий. Дело в том, что у некоторых кишечнополостных, например коралловых полипов, кишечная полость образует многочисленные карманы. Вероятно, в филогенезе эти карманы отделились от центральной части кишечной полости, в результате чего и возникли обособленные целомические мешки*.

У трохофорных животных (например, аннелид и моллюсков) целом формируется иначе. От боковых сторон их первичного кишечника, состоящего из небольшого числа крупных клеток, симметрично обособляются две клетки — мезодермальные телобласты, которые делятся и формируют две мезодермальные полоски (см. рис.1). Впоследствии они фрагментируются так, что в каждом сегменте тела, справа и слева от кишечника, оказывается по две кучки мезодермальных клеток. Затем эти клетки расходятся, и внутри каждой кучки появляется небольшая полость, которая увеличивается и становится зачатком целомической полости. Способ закладки целомической мезодермы у кольчатых червей и моллюсков называется телобластическим. Он не похож на тот способ, каким целомическая мезодерма формируется у хордовых и иглокожих. Тем не менее, между энтероцельным и телобластическим способом закладки целома нет принципиального различия — и клетки целомических мешков у кишечнополостных, и мезодермальные телобласты у трохофорных животных происходят из стенки первичного кишечника. Вероятно, телобласти-

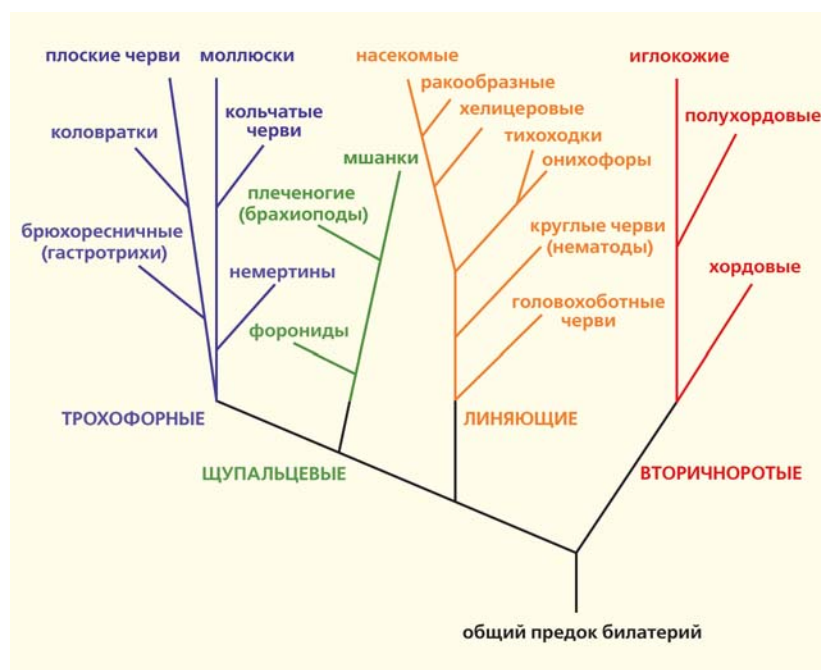


Рис.2. Филогения билатерально-симметричных животных.

ческий способ закладки целомической мезодермы сформировался из энтероцельного при переходе к малоклеточному типу развития.

Судьба бластоцеля и формирование кровеносной системы

При дальнейшем развитии целомические мешки разрастаются, занимают пространство между эктодермой и первичным кишечником, постепенно вытесняя первичную полость тела (рис.3). Ее остатки содержат неклеточный материал — так называемый внеклеточный матрикс (коллаген и другие белки), который может быть жидким (кровь или гемолимфа) или плотным (соединительная ткань). И в том и в другом случае встречаются клетки — потомки мезенхимных клеток бластоцеля. В крови это — амебоциты и эритроциты (если они есть); гемоглобин и другие дыхательные белки могут быть заключены в эритроцитах или просто растворены в плазме крови. Клетки плотной соединительной ткани — это фибробласты и др.

Полость кровеносных сосудов — гемоцель — происходит от первичной полости тела, от бластоцеля. Между гемоцелем и соединительной тканью нет принципиальных различий: и то и другое — производные бластоцеля. Кровь — это тоже соединительная ткань, только жидкая. Гемоцель и плотная соединительная ткань могут контактировать с любыми тканями и органами (эктодермального, мезодермального и энтодермального происхождения), но, разумеется, не непосредственно, а через базальную пластинку.

* Подробнее см.: Малахов В.В. Новый взгляд на происхождение билатерий // Природа. 2004. №6. С.31–39.

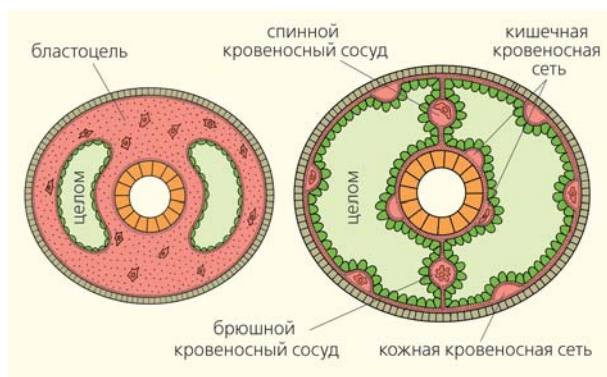


Рис.3. Схема формирования кровеносной системы из остатков бластоцеля (показаны поперечные срезы эмбриона).

При разрастании целомических мешков в эмбриональном развитии билатерально-симметричных животных они смыкаются над и под кишечником. При этом формируются два главных кровеносных сосуда билатерий — спинной и брюшной (см. рис.3). Просвет этих сосудов — это промежуток между базальными пластинками целомических мешков правой и левой стороны. Стенки правого и левого целомических мешков, соприкасающиеся над и под кишкой, образуют дорзентральный мезентерий — брыжейку, на которой подвешен кишечник. Спинной и брюшной кровеносные сосуды также проходят внутри этого мезентерия и поддерживаются им. Сосуды кишечной кровеносной сети образуются как промежутки между базальной пластинкой кишечного эпителия и базальной пластинкой прилежащего целомического эпителия. Промежутки между базальной пластинкой эктодермального эпителия

и базальной пластинкой прилежащего целомического мешка превращаются в сосуды поверхностной (кожной) кровеносной сети.

Как устроена стенка кровеносного сосуда? Непосредственно с кровью контактирует базальная пластинка, а снаружи от нее обязательно располагается какой-то эпителий: например, мезодермальный (у сосудов, проходящих в мезентерии), или мезодермальный и энтодермальный (у сосудов, образующих кровеносную кишечную сеть), или мезодермальный и эктодермальный (у сосудов кожной кровеносной сети). Конечно, это самый простой тип организации кровеносных сосудов, но у многих беспозвоночных они именно так и устроены (рис.4). Строение кровеносных сосудов может усложняться: амебоциты крови могут оседать изнутри на базальную пластинку стенки сосудов. В результате образуется прерывистая (более примитивное состояние) или полная внутренняя клеточная выстилка кровеносных сосудов — эндотелий. Его особенно сложное строение характерно для кровеносных сосудов позвоночных.

Целомические полости происходят от карманов кишечной полости, а мезодермальные клетки, образующие стенки целомических полостей, — от энтодермальных клеток кишечной полости. Как известно, энтодерма кишечнополостных представлена эпителиально-мышечными клетками, из которых исходно и образованы стенки целомических полостей. Эти клетки, одевающие кровеносные сосуды снаружи, обеспечивают сокращение стенок сосудов и способствуют циркуляции крови по кровеносной системе (см. рис.4). У большинства животных особенно мощная мускулатура развивается на спинном кровеносном сосуде, пульсация которого обеспечивает направ-

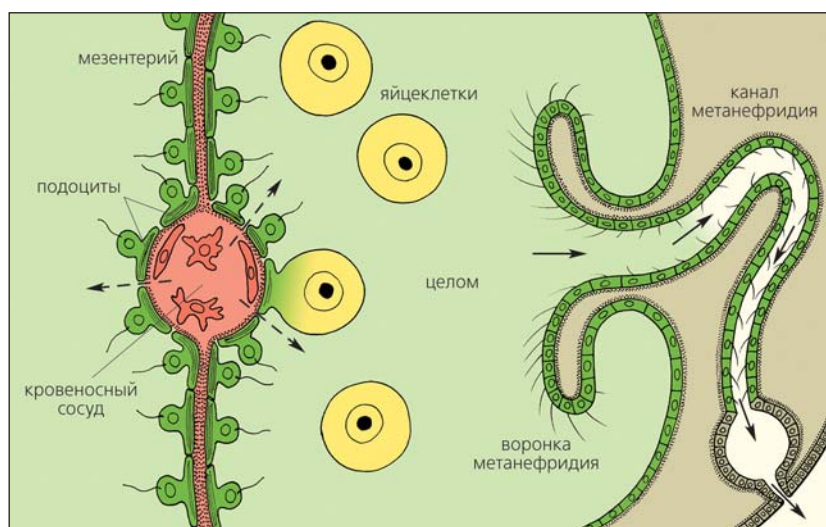


Рис.4. Взаимоотношения кровеносной системы, целома и воронки метанефридия. Штриховыми стрелками показано направления фильтрации из гемоцеля в целом, сплошными — поступление жидкости в воронку метанефридия и ее движение по каналу.

ленное движение крови по сосудам: по спинной стороне кровь движется вперед, а по брюшной — назад. Сердце, как правило, представляет собой модификацию спинного кровеносного сосуда. Единственное исключение — это хордовые животные, у которых сердце располагается на главном брюшном сосуде, а кровь движется в обратном направлении: по брюшной стороне вперед, а по спинной — назад. Однако это различие объясняется тем, что в своем эволюционном развитии хордовые перевернулись, так что исходно спинная сторона стала брюшной, а исходно брюшная сторона — спинной*.

* Подробнее см.: Малахов В.В. Новый взгляд на происхождение хордовых // Природа. 1982. №5. С.12–19.

Целом и бластоцель: строение

Каким бы образом ни закладывался целом, на определенной стадии эмбрионального развития у всех животных мы видим в общем очень сходную картину. Снаружи тело зародыша одето эктодермальным эпителием. По оси зародыша проходит зачаток кишечника — трубка, образованная энтодермальным эпителием. Справа и слева от кишечника находятся целомические мешки, стенки которых образованы мезодермальным эпителием. Промежуток между эктодермой, энтодермой и мезодермой — это производное первичной полости тела, т.е. бластоцеля. Он всегда отделен от перечисленных эпителиев базальными пластинками. В жидкости первичной полости тела имеется некоторое количество белков, в том числе коллаген, и мезенхимных клеток — это мезодермальные клетки, которые выселяются и из энтодермы, и из эктодермы, независимо от формирования целомических мешков. Полость внутри целомических мешков — это вторичная полость тела, или целом, и она никогда не бывает отделена от окружающих ее клеток базальной пластинкой. Ее наличие или отсутствие — важнейший признак, который позволяет отличить первичную полость тела от вторичной (первичная — ограничена базальной пластинкой, а вторичная — нет).

На основе эпителиально-мышечных клеток целомической выстилки в ходе эволюции формируется мускулатура стенки тела билатерально-симметричных животных (рис.5). Самая простая и исходная форма такой мускулатуры — миоэпителий. В этом случае мускулатура стенки тела представлена только эпителиально-мышечными клетками, причем жгутиковыми (ведь и энтодерма кишечнополостных состоит из жгутиковых эпителиально-мышечных клеток). Так обстоит дело, например, у полухордовых, а также у щупальцевых животных — форонид* и брахиопод. У кольчатых червей только личинки и ювенильные особи сохраняют такое простое строение мускулатуры. У взрослых форм можно встретить разные варианты ее организации. Иногда стенка целома представлена одним слоем клеток, в состав которого входят и эпителиально-мышечные, и чисто эпите-

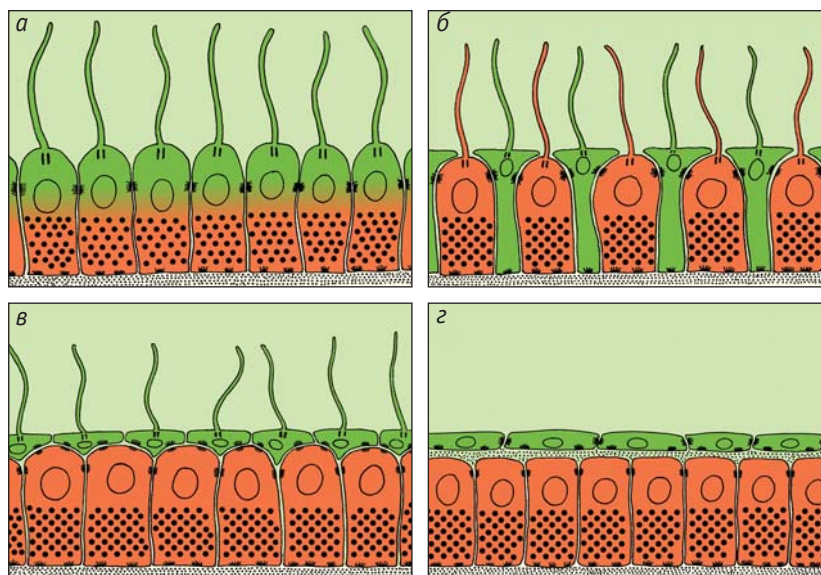


Рис.5. Разные варианты строения целомической выстилки: а — простой миоэпителий, состоящий из эпителиально-мышечных клеток, б — целомическая выстилка, состоящая из эпителиально-мышечных и чисто эпителиальных клеток, в — целомическая выстилка, состоящая из двух слоев (мышечного и эпителиального), которые не отделены друг от друга базальной пластинкой, г — целомическая выстилка, состоящая из двух слоев (мышечного и эпителиального), которые отделены друг от друга базальной пластинкой.

лиальные клетки. В других случаях стенка целома становится двуслойной: непосредственно с базальной пластинкой контактируют мышечные клетки, а над ними лежит слой эпителиальных клеток, обращенных к целомической полости. И наконец, есть кольчатые черви, у которых формируется настоящий целомический эпителий (целотелий), отделенный от мышечных клеток собственной базальной пластинкой (см. рис.5).

Функции целома

Вторичная полость тела (целом) выполняет три основные функции: опорную, выделительную и половую. Опорная функция особенно важна для тех животных, у которых нет твердых скелетных образований, например для кольчатых червей. В этом случае единственной опорной структурой становится жидкость, заключенная внутри целомических мешков. У многощетинковых червей, живущих на поверхности грунта (эврантных полихет), целом представлен цепочкой камер, отделенных друг от друга хорошо развитыми поперечными перегородками — диссепиментами. Такая цепочка камер выполняет функцию упругого стержня, на который опирается мускулатура. Кольчатые черви, живущие в толще грунта, используют гидравлический способ передвижения. Они нагнетают жидкость в передний конец тела, который закрывается в грунте, после чего под-

* Подробнее см.: *Темерева Е.Н., Малахов В.В.* Кто такие форониды // Природа. 2009. №12. С.29–38.

тягивают к нему задний участок. У таких червей диссепименты пронизаны отверстиями или даже вовсе редуцированы, чтобы можно было перекачивать целомическую жидкость то в передний, то в задний конец тела. Таким образом, обширный целом может быть гидроскелетом и, подобно другим вариантам скелета, может выполнять опорную и локомоторную функции.

Выделительная функция целома тесно связана с тем, что эпителиально-мышечные клетки целомической выстилки образуют внешнюю стенку кровеносных сосудов. Сокращение мышечных волокон эпителиально-мышечных клеток вызывает повышение кровяного давления. Под его действием жидкость из кровеносных сосудов, проходя через фильтр, образованный базальной пластинкой, выдавливается в целом (см. рис.4). Базальная пластинка представляет собой своего рода сеть из белковых волокон. Она пропускает воду, минеральные вещества, простые органические молекулы (моносахара, аминокислоты), но задерживает крупные молекулы, например белки. Через базальную пластинку свободно проходят и продукты азотистого обмена (аммиак и/или мочевины), и профильтрованная через нее жидкость — это первичная моча. Как правило, в кровеносной системе есть специализированные участки, где целомические клетки на поверхности сосудов преобразованы в подоциты. Это эпителиально-мышечные клетки с базальными отростками, на которых располагаются многочисленные выросты таким образом, что выросты одной клетки входят в промежутки между выростами другой. Жидкость сначала фильтруется из кровеносного сосуда в целом через базальную пластинку, а потом проходит сквозь узкую щель между выростами соседних клеток, которые поглощают из этой жидкости некоторые вещества.

Из целомической полости продукты обмена выводятся через специальные выделительные органы — метанефридии. Метанефридий состоит из мезодермальной ресничной воронки, которая открывается в целом, и выделительного канала (см. рис.4). Большая часть этого канала тоже мезодермальная, но самые концевые его участки, как правило, эктодермальные. Биением ресничек целомическая жидкость нагнетается в ресничную воронку, далее следует по более или менее длинному, часто извитому каналу нефридия и выводится во внешнюю среду. Пока целомическая жидкость проходит по каналу нефридия, его клетки извлекают из нее полезные для организма вещества (сахара, аминокислоты и др.), так что выделяющаяся во внешнюю среду вторичная моча может сильно отличаться по составу от целомической жидкости.

Половая функция целома определяется тем, что первичные половые клетки входят в состав целомической выстилки (см. рис.4). Обычно эти клетки сидят на кровеносных сосудах, всасывают питательные вещества из крови (разумеется, через фильтр базальной пластинки), растут и превраща-

ются в оогонии, дающие начало яйцеклеткам, или сперматогонии, дающие начало сперматозоидам. На поздних этапах развития половых клеток они выходят из состава целомического эпителия и плавают в целомической жидкости. При нересте яйцеклетки и сперматозоиды выводятся во внешнюю среду через специализированные ресничные воронки — гонодукты.

У кишечнополостных животных кишечная полость выполняет четыре функции: пищеварительную, опорную, выделительную и половую. Поскольку целомические полости, по сути, представляют собой обособившиеся участки кишечной полости, они берут на себя часть ее функций. Три из них (опорная, выделительная и половая) становятся функциями целома, а четвертая (пищеварительная) остается функцией кишечника.

Почему редуцируется целом?

Одна из причин частичной редукации целома — утрата им опорной функции. Некоторые группы животных приобрели твердые скелетные структуры, на которые может опираться мускулатура. Один из лучших тому примеров — появление у моллюсков известковой раковины (одновременно и защитной, и скелетной структуры), к которой прикрепляются мышцы, поэтому целом утрачивает опорную функцию. Но ведь другие функции — выделительную и половую — он сохраняет! Выделительная система у моллюсков состоит из целомической околосердечной сумки — перикарда, в который открываются ресничные воронки длинных извитых нефридиев — так называемых почек моллюсков (рис.б). В перикарде помещаются парные предсердия и желудочек. Через тонкую стенку предсердия (она образована базальной пластинкой и сидящими на ней целомическими клетками-подоцитами) происходит фильтрация жидкости из кровеносной системы в целом. Целомическая жидкость из перикарда поступает в ресничные воронки и выводится во внешнюю среду через почки. Другой отдел целома, который сохраняется у моллюсков, — это так называемый половой целом, т.е., по существу, половая железа (гонада). Здесь, как и положено, из клеток целотелия развиваются яйцеклетки или сперматозоиды, которые выводятся во внешнюю среду через короткие каналы гонодуктов (см. рис.б).

Редукация целома приводит к увеличению объема гемоцеля. Внутренние органы моллюсков помещаются в обширных гемоцельных пространствах, представляющих собой продолжение кровеносных сосудов — лакунах и синусах. Между сосудами, кровеносными лакунами и синусами нет принципиальных различий: все они — производные гемоцеля и заняты кровью. Если эти пространства представляют собой узкие трубки, их называют кровеносными сосудами, если они щелевидные — крове-

носными лакунами, а если это достаточно обширные заполненные кровью полости — кровеносными синусами.

Когда кровь течет только по сосудам, говорят о замкнутой кровеносной системе, а когда кроме сосудов есть лакуны и синусы — о незамкнутой. Между этими системами нет тех принципиальных различий, о которых любят писать в учебниках. В большинстве случаев в кровеносной системе есть и оформленные кровеносные сосуды, и кровеносные лакуны различной формы и объема.

Кровеносную систему кольчатых червей называют замкнутой, потому что кровь у них почти всюду течет внутри оформленных сосудов, а, например, у моллюсков — незамкнутой, поскольку кровь проходит только часть пути по сосудам, а затем изливается в обширные пространства кровеносных лакун и синусов.

Интереснее другое. У моллюсков, утративших обширные целомические полости, в некоторых случаях возникает потребность в гидроскелете. Такое происходит, например, у двустворчатых моллюсков, которые движутся в толще грунта с помощью мускулистой ноги. Происходит это следующим образом: моллюск выдвигает ногу из раковины, раздувает ее, закорявив в грунте, а затем подтягивает тело к ноге (рис.7). Подтягивание тела к ноге осуществляют мышцы-ретракторы. А что обеспечивает ее выдвигание и раздувание? Это происходит за счет закачивания крови в обширные гемоцельные синусы в ноге. Двустворчатые моллюски используют гидравлический способ движения, но в качестве рабочей жидкости выступает не целомическая жидкость, а кровь. Здесь мы видим проявление одного из фундаментальных законов биологии — закона необратимости эволюции. С приобретением раковины у моллюсков редуцировался целом, а когда для осуществления гидравлической локомоции понадобился гидроскелет, восстановить целом уже было нельзя и пришлось использовать гемоцель.

Другая причина редукции целома кроется в прогенезе. Этим термином обозначается биологическое явление, когда организм, не дорастая до взрослых размеров и сохраняя личиночное строение, становится половозрелым. Планктонные личинки кольчатых червей и моллюсков вначале не имеют развитого целома, он формируется на более поздних стадиях онтогенеза. У личинок есть обширная первичная полость тела — гемоцель, в которой помещаются внутренние органы. Для выделения продуктов обмена из гемоцеля у личинок

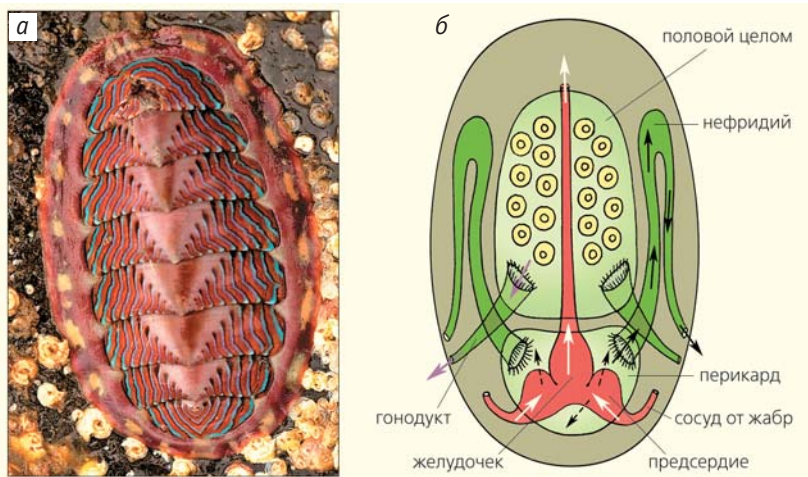


Рис.6. Прimitивный моллюск — хитон (а) и строение его выделительной и половой систем (б). Штриховыми стрелками показано направление фильтрации из предсердий в целом перикарда, сплошными черными — движение жидкости по выделительному каналу нефридия, белыми — направление тока крови, фиолетовыми — путь гамет из полового целома во внешнюю среду.

развиваются особые органы, давно известные в зоологической литературе под названием «протонефридии». У личинок они не мезодермальные, а эктодермальные, так как образуются в результате впячивания покровов. Протонефридий представляет собой вдающийся глубоко в тело канал, замкнутый на вершине, где находится крупная терминальная клетка. У личинок терминальные клетки протонефридиев, как правило, имеют один жгутик и называются соленоцитами (от греч. *σωληνας* — трубка и *κυτταρο* — клетка). Жгутик окружен ворсинками терминальной клетки, а сами ворсинки входят в промежутки между выростами клеток канала протонефридия. Таким образом, вершина протонефридия напоминает корзинку с продольными прутьями — микроворсинками. Все впячивание эктодермы, образующее протонефридий, включая

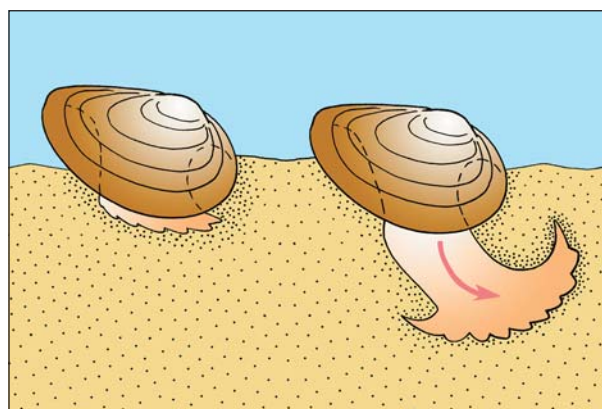


Рис.7. Гидравлическая локомоция двустворчатых моллюсков за счет нагнетания крови (показано стрелкой) в гемоцельные пространства ноги.

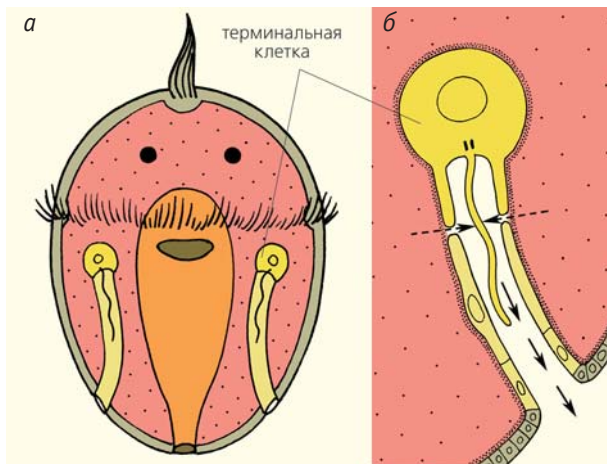


Рис.8. Строение протонефридиев у личинок: личинка многощетинкового червя с двумя протонефридиями (а), продольный разрез протонефридия (б). Штриховыми стрелками показано направление фильтрации, сплошными — движение жидкости по каналу протонефридия.

терминальную клетку, одето базальной пластинкой (продолжение базальной пластинки покровного эктодермального эпителия). Биение жгута терминальной клетки и ресничек на внутренней поверхности канала протонефридия гонит жидкость к выделительной поре. Жидкость из гемоцеля поступает в просвет канала протонефридия через щели между микроворсинками терминальной клетки, при этом жидкость профильтровывается через базальную пластинку (рис.8).

Если представить себе, что личинки станут половозрелыми, не достигая нормальных «взрослых»

размеров и сохраняя личиночное строение большинства систем органов, то у таких организмов в качестве основной полости тела сохранится первичная полость — гемоцель, а в качестве выделительных органов — протонефридии.

Мелкие организмы не могут производить много яйцеклеток и сперматозоидов, поэтому они не могут «позволить себе» наружного оплодотворения и личиночного развития в толще воды, поскольку при этом большое количество яйцеклеток остается неоплодотворенными и множество личинок погибает. Вот почему представители прогенетических групп имеют внутреннее оплодотворение (а значит, и сложную половую систему) и прямое развитие, когда из яйца сразу выходит маленькое животное, похожее по строению на взрослых. Прогенетическое происхождение имеют многие таксоны беспозвоночных, и у представителей большинства этих групп целом оказывается недоразвит и представлен только гонадами; полость тела у них — гемоцель, а выделительные органы — протонефридии. Такая ситуация характерна для архианнелид, коловраток, гастротрих (рис.9).

Большая группа плоских червей включает свободноживущих ресничных червей — турбеллярий и несколько классов паразитических организмов: сосальщиков, ленточных червей и др. Современная зоология рассматривает ресничных червей как объединение относительно примитивных, но близкородственных групп свободноживущих плоских червей. Некоторые формы, которые ранее входили в состав ресничных червей, например бескишечные турбеллярии, в настоящее время вообще не включают в состав плоских червей, а рассматривают как очень примитивную группу, близкую к предкам билатерально-симметричных животных. Большинство ресничных червей — мелкие формы (до 1–2 мм), что служит одним из характерных признаков организмов, имеющих прогенетическое происхождение. В то же время, среди ресничных червей, например среди ветвистокишечных турбеллярий, или планарий, некоторые формы приобрели крупные размеры. Тем не менее даже у турбеллярий, достигающих нескольких сантиметров или дециметров (как, например, у наземных планарий), сохраняется внутреннее оплодотворение и сложная половая система, как у мелких форм. Особенно крупными являются паразитические плоские черви, например некоторые представители ленточных червей, которые достигают длины в несколько метров.

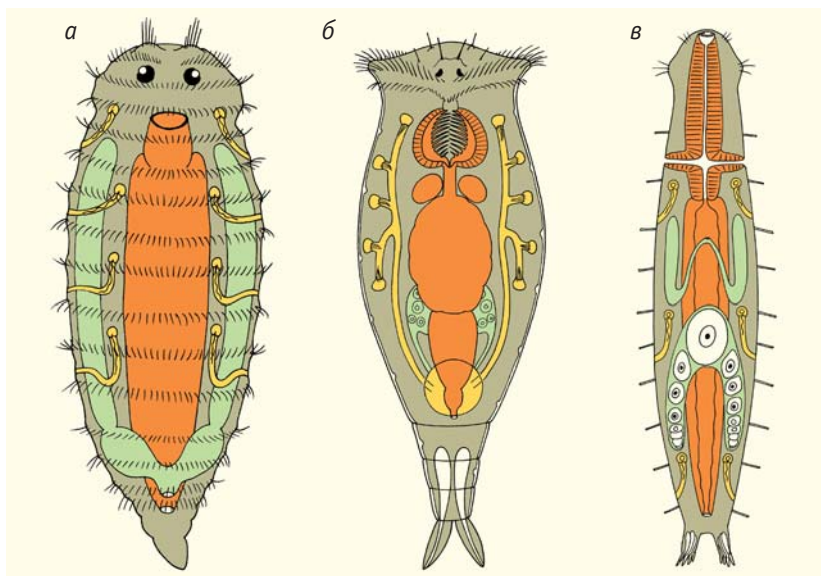


Рис.9. Представители прогенетических беспозвоночных: архианнелида динофилюс (а), коловратка (б), гастротриха (в). Пищеварительная система показана оранжевым цветом, протонефридии — желтым, гонады — зеленым.

В соответствии с их прогенетическим происхождением и мелкие, и крупные плоские черви не имеют сколько-нибудь обширного целома (рис.10). Все, что осталось от целома у плоских червей, — это полость гонад. Стенка гонады у плоских червей образована базальной пластинкой, на внутренней стороне которой располагается видоизмененный целомический эпителий. В его состав входят предшественники половых клеток (только в самой вершине гонады) и вспомогательные клетки, отростки которых со всех сторон окружают растущие половые клетки (см. рис.10,б).

Промежутки между органами у плоских червей заполнены паренхимой, основу которой составляет не клеточный матрикс. Он состоит из коллагена и других соединительнотканых белков и соответствует содержанию гемоцеля, однако в большинстве случаев он не жидкий, а гелеобразный. Этот матрикс выполняет опорную функцию — ведь других скелетных элементов у плоских червей нет. Что касается клеток, то исследования, проведенные с применением электронного микроскопа, показали, что паренхима в значительной степени состоит из клеток, принадлежащих другим тканям [1–3]. Это глубоко погруженные участки железистых клеток, входящих в состав покровного эпителия или половой системы, отростки мышечных клеток или клеток каналов протонефридиев (см. рис.10,в). Собственно паренхимных клеток у плоских червей немного. Это так называемые закрепленные клетки (англоязычные коллеги называют их «fixed cells» — фиксированные), которые прикрепляются своими отростками к другим органам червя, и пигментные клетки, определяющие окраску животного. Еще один важный компонент паренхимы ресничных червей — стволовые клетки (необласти). Эти клетки способны активно делиться и давать начало всем другим типам клеток ресничных червей в процессе роста и регенерации (хорошо известно, что даже крошечный кусочек тела планарии может превращаться в червя с нормальным строением).

У ресничных червей почти все элементы паренхимы (кроме необластов) отделены от соединительнотканного матрикса более или менее выраженными базальными пластинками. У паразитических плоских червей только покровная ткань (тегумент) отделена от паренхимы толстой базальной пластинкой, а все остальные клетки (и даже содер-

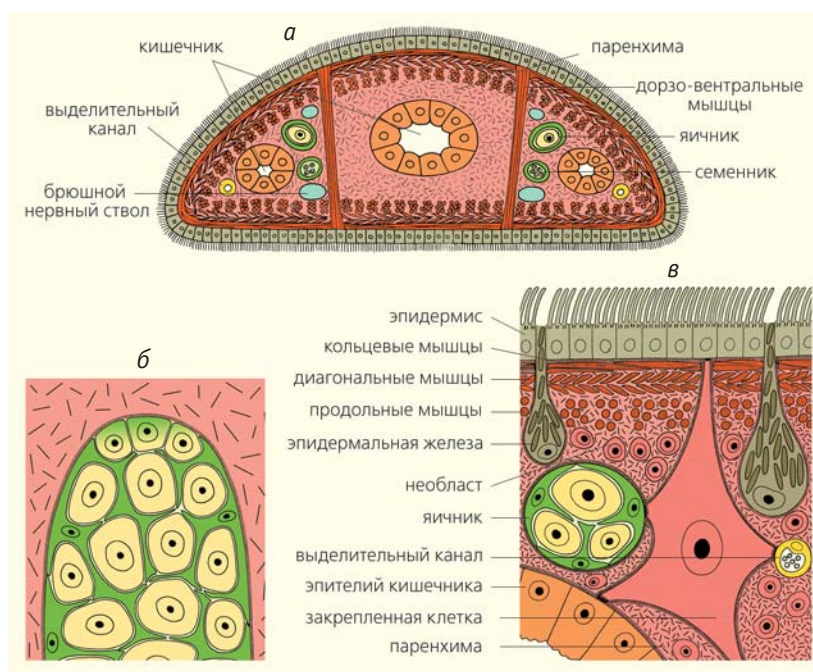


Рис.10. Строение представителя ресничных червей — планарии: схема поперечного среза (а), продольный срез через вершину гонады (б), строение матрикса паренхимы при большом увеличении (в).

жащие ядра отростки тегумента) погружены в соединительнотканый матрикс [4].

Гелеобразный соединительнотканый матрикс паренхимы, видимо, не слишком пригоден для обеспечения распределительной функции. Это не столь существенно для мелких ресничных червей, у которых транспорт веществ на незначительные расстояния эффективно осуществляется путем диффузии. Крупные ресничные черви, не имея распределительной системы, основанной на использовании жидкости гемоцеля (т.е. не имея кровеносной системы) или целома, вынуждены прибегать к специальным ухищрениям. Для распределения питательных веществ у крупных ресничных червей (планарий и ветвистокишечных турбеллярий) служат выросты сильно разветвленного кишечника — своего рода гастроваскулярная система, аналогичная таковой у кишечнополостных, но возникшая независимо (рис.11).

В соответствии со своим прогенетическим происхождением плоские черви обладают протонефридиальной выделительной системой, но она устроена своеобразно. Терминальные клетки плоских червей видоизменены и несут не один, а много десятков жгутиков, собранных в толстый пучок. Работа такого пучка жгутов напоминает мерцание язычка пламени, поэтому и сами терминальные клетки протонефридиев плоских червей называются пламенными клетками (от англ. «flame cells»). [2]. У крупных представителей плоских червей выделительная система очень сложная (см. рис.11). Она состоит из множества разветв-

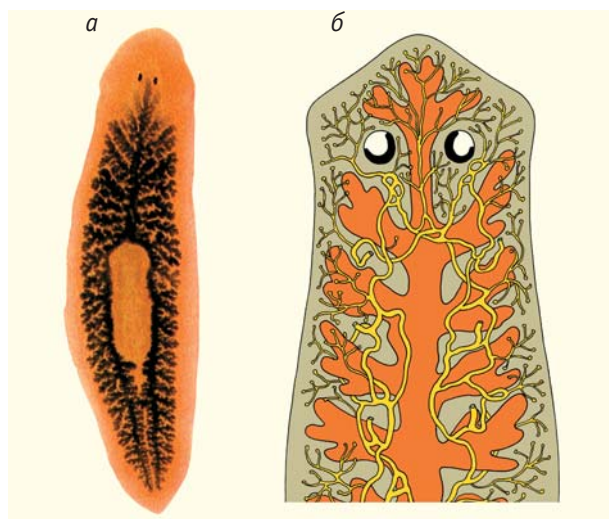


Рис.11. Разветвленный кишечник (а) и протонефридальная система (показана желтым) в переднем конце тела (б) у представителя ресничных червей — планарии.

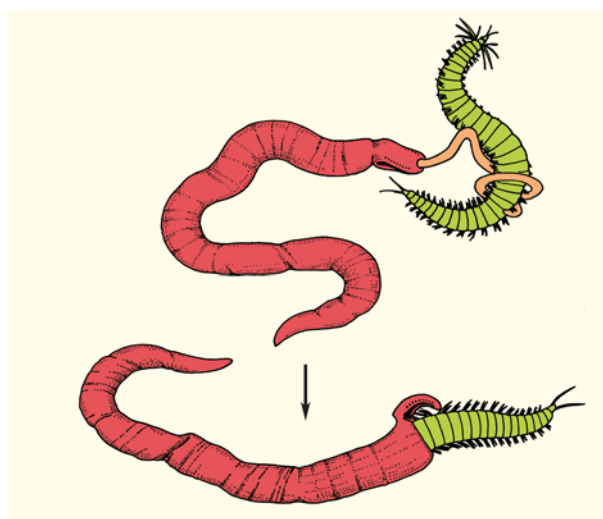


Рис.12. Немертина (пример гипермиарного животного), нападающая на кольчатого червя. Схватив жертву хоботом, она натягивается на добычу, подобно удаву.

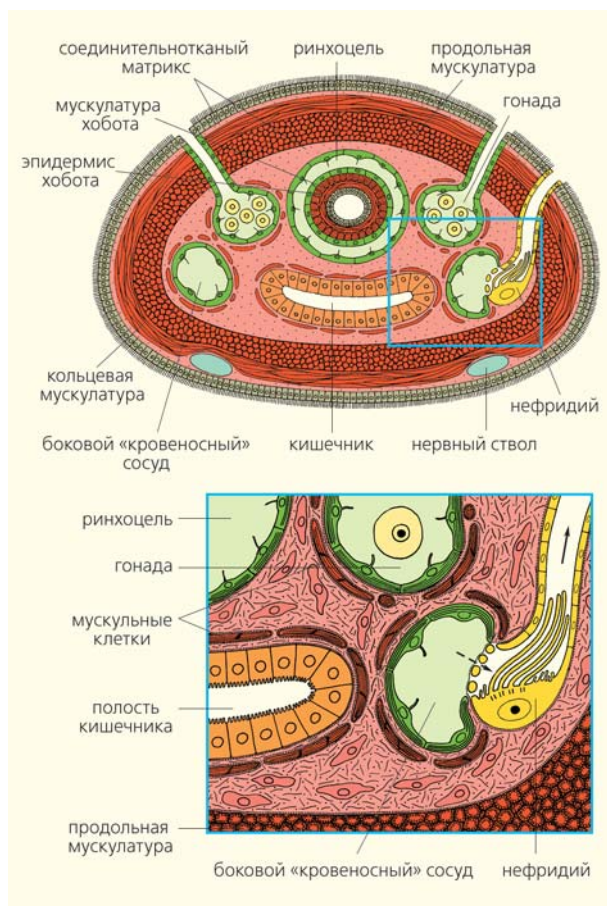


Рис.13. Схема поперечного среза немертины (базальные пластинки не показаны) и фрагмент среза (базальные пластинки показаны). Производные целома показаны зеленым цветом. Штриховой стрелкой показано направление фильтрации, сплошной — движение жидкости по каналу нефридия.

ленных каналов, оплетающих все органы и несущих многие тысячи терминальных клеток.

Еще одна причина редукции целома прослеживается у гипермиарных животных. В свое время известный российский зоолог Л.А.Зенкевич предложил классификацию животных по степени развития мускулатуры: олигомиарные (у которых мускулатура составляет менее 10% объема тела), мезомиарные (от 10% до 30%), полимиарные (от 30% до 50%) и гипермиарные (более 50%) [5]. К последним, например, относятся немертины — преимущественно морские хищные черви, внешне несколько напоминающие больших турбеллярий. Охотятся немертины на крупную добычу — других беспозвоночных, схватывая их с помощью хобота (рис.12). Поймав жертву, которая по размерам зачастую не уступает хищнику, немертина натягивается на добычу, подобно удаву. Хищный образ жизни привел к мощному развитию мускулатуры, которая составляет около 50% от объема тела (у отдельных видов до 60%). Немертины не имеют никаких жестких опорных структур, и главной опорой для мускулатуры у них является соединительная ткань — паренхима. Паренхима немертин состоит из гелеобразного матрикса, который заполняет промежутки между органами и содержит редкие соединительнотканнные клетки.

В классической зоологии считалось, что немертины не имеют целома, но зато обладают хорошо развитой кровеносной системой, правда, организована она весьма необычно. Напомним, главные сосуды кровеносной системы у всех остальных билатерий — спинной и брюшной (см. рис.3). У немертин тоже есть два главных кровеносных сосуда, но не спинной и брюшной, а боковые — правый и левый (рис.13). И это вызывает подозрение: действительно ли это кровеносная

система? Оно усиливается, если обратить внимание на тонкое строение сосудов кровеносной системы немертин. Повторим, у большинства беспозвоночных сосуды кровеносной системы лишены эндотелия и с кровью контактирует базальная пластинка прилежащих эпителиев (в случае спинного и брюшного сосудов это целомический эпителий). У немертин хорошо развитый «эндотелий» сосудов состоит не просто из эпителиальных, а из эпителиально-мышечных клеток с рудиментарными жгутиками [6, 7]. Такое строение заставляет признать, что так называемые кровеносные сосуды немертин — это целомические полости. Заметим, что у немертин они действительно выполняют циркуляторную функцию (в частности, в целомической жидкости растворен дыхательный белок гемоглобин). Таким образом, у немертин целомические каналы замещают кровеносную систему.

Есть ли у немертин другие остатки целома? Как мы уже писали, главным органом при поимке добычи у немертин служит длинный мускулистый хобот. В спокойном состоянии хобот помещается в обширном хоботном влагалище — ринхоцеле, которое тянется по спинной стороне вдоль всего тела. При нападении на добычу мускулатура хоботного влагалища сокращается, и в результате повышения давления в полости ринхоцеля хобот выворачивается*. Ринхоцель — это тоже производное целома, который как со стороны стенки ринхоцеля, так и со стороны ввернутого хобота выстлан специализированным целомическим эпителием — целотелием (см. рис.13).

Нет никаких оснований подозревать прогенетическое происхождение немертин. Это крупные черви, имеющие наружное оплодотворение и свободноплавающих личинок, которые после длительного периода жизни в планктоне подвергаются сложному метаморфозу. Гонады немертин — тоже несомненные производные целома. Они выстланы изнутри целомическим эпителием, состоящим из эпителиально-мышечных клеток (см. рис.13).

Развитие мощной мускулатуры коррелирует с редукцией целома и появлением паренхимы как опорной структуры у еще одной группы червеобразных беспозвоночных — пиявок. Примитивные пиявки (акантобделлиды и рыбы пиявки) имеют обширную целомическую полость, сходную с таковой у других кольчатых червей. У челюстных пиявок (всем известной медицинской пиявки, обычной в водоемах средней полосы ложноконской пиявки, которая поедает водных беспозво-

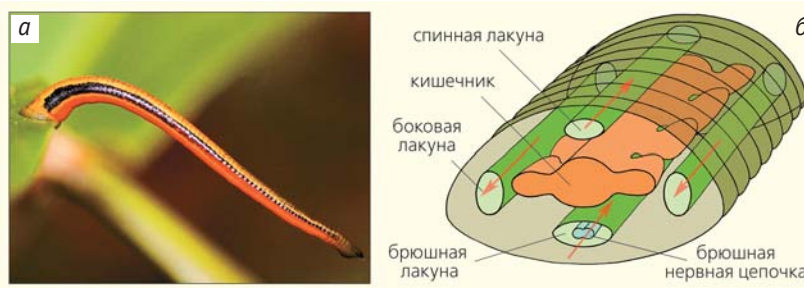


Рис.14. Наземная пиявка *Haemadipsa* (а) и схема «кровеносной» системы челюстных пиявок (б).

ночных, а также наземной пиявки *Haemadipsa*, нападающей в тропиках на людей и животных) мускулатура занимает около 60% объема тела, и их тоже относят к гипермиарным животным. Целомические полости представлены у челюстных пиявок четырьмя главными продольными целомическими лакунами: спинной, брюшной и двумя боковыми (рис.14), которые связаны между собой системой узких каналов — целомических капилляров. Целомическая жидкость содержит гемоглобин. Таким образом, целомические лакуны замещают у челюстных пиявок кровеносную систему, но направление движения жидкости по ним отличается от типичной кровеносной системы: по боковым лакунам «кровь» течет вперед, а по спинной и брюшной — назад (см. рис.14).

Судьба целома и гемоцеля у линяющих животных

Линяющие, или Ecdysozoa (от греч. εκδύσις — линька и ζῷον — животное), — крупная группа животного царства, появившаяся в научной классификации около двадцати лет назад [5]. В состав Ecdysozoa входят настоящие членистоногие (хелицеровые, ракообразные и насекомые), лобоподы — формы, у которых конечности представлены коническими нечленистыми бугорками с крючочками (современные представители этой группы — онихофоры и тихоходки), а также различные червеобразные организмы, мало похожие на членистоногих и лобопод, — это круглые черви (нематоды), приапулиды, киноринхи и др. (см. рис.2). Общая черта Ecdysozoa — строение кутикулы: в отличие от большинства животных, у линяющих она не пронизана микроворсинками клеток эктодермального эпителия, а содержащийся в ней хитин придает покровам жесткость, в результате чего по мере роста животные вынуждены периодически сбрасывать старую кутикулу, заменяя ее новой**. Эти особенности Ecdysozoa

* Подробнее см.: Чернышев А.В. Эволюционная «гонка вооружений» у немертин // Природа. 2009. №3. С.55–62.

** Подробнее о признаках Ecdysozoa см.: Малахов В.В. Революция в зоологии: новая система билатерий // Природа. 2009. №3. С. 40–54.

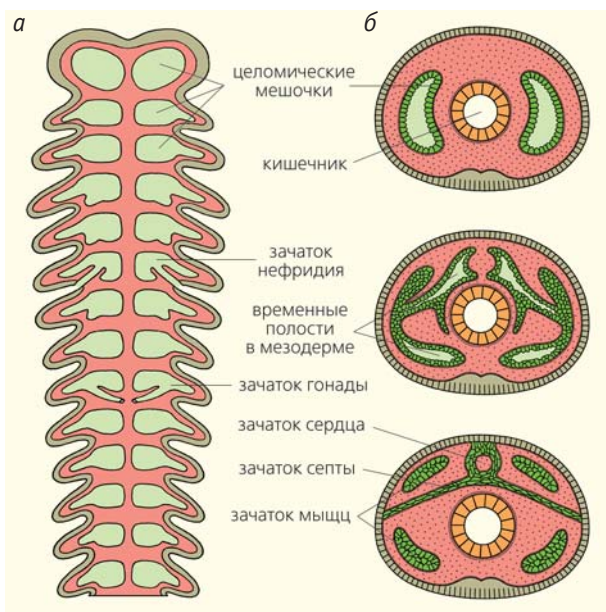


Рис.15. Целомические мешки в эмбриональном развитии членистоногих: закладка целомических мешков у эмбриона скорпиона (а; [8], с изм.), последовательные стадии преобразования мезодермальных зачатков на поперечных срезах эмбриона ракообразных (б; [9], с изм.).

служат одним из доводов в пользу объединения таких разных по внешнему облику и строению животных в одну систематическую группу. У типичных членистоногих кутикула содержит высокие концентрации хитина (до 80%, а обычные значения — 25–50%) и обладает большой жесткостью. Такая кутикула выполняет не только защитные, но и скелетные функции, поэтому говорят, что членистоногие имеют наружный скелет, или экзоскелет, к пластинкам которого прикрепляется мускулатура.

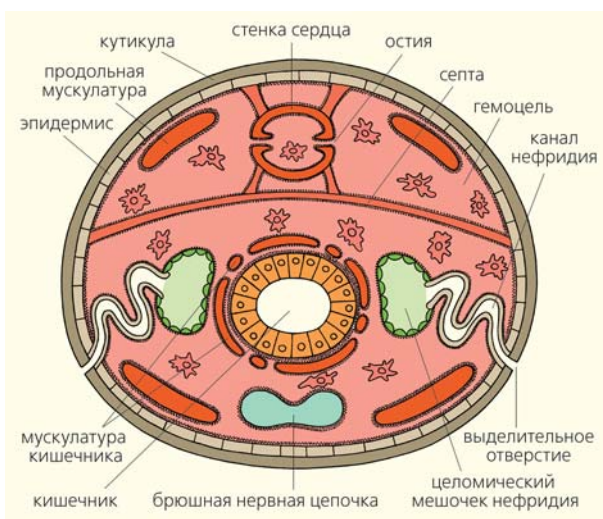


Рис.16. Схема поперечного среза ракообразного.

Мы уже приводили пример того, как появление экзоскелета ведет к редукции целома у моллюсков. Такое же явление наблюдается и у членистоногих. В эмбриональном развитии членистоногих в каждом сегменте закладывается пара мезодермальных зачатков (рис.15). В учебниках нередко пишут, что в развитии членистоногих целомическая полость смешивается с бластоцелем, поэтому их полость тела называют смешанной полостью тела, или миксоцелем. На самом деле это не так. Эмбриональные мезодермальные зачатки разрастаются, и обычно в них появляются временные целомические полости (см. рис.15). В большинстве сегментов эти эмбриональные целомы позднее исчезают за счет сближения их стенок (так что целомический мешочек как бы «схлопывается») и разрастания массы мезодермальных клеток. При этом каких-то разрывов стенок эмбриональных целомов и смешения первичной и вторичной полостей тела не происходит, так что никакого миксоцеля у членистоногих нет. Полость тела членистоногих отделена от всех прилежащих тканей базальной пластинкой, т.е. по своему строению соответствует гемоцелю.

Из мезодермальных клеток, которые входят в состав стенок эмбриональных целомов, у членистоногих формируются продольные мышечные тяжи, мускулатура конечностей и мышечная обкладка кишечника. Правый и левый целомические мешочки образуют выросты, которые растут навстречу друг другу и смыкаются над кишкой, при этом из стенок смыкающихся целомов формируется мышечная трубка, которая тянется вдоль спинной стороны животного, — это сердце членистоногих (см. рис.15). Стенки сердечной трубки выстланы базальной пластинкой как изнутри, так и снаружи. Мезодермальные мешки уплотняются, так что их дорсальная и вентральная стенки соприкасаются, и формируется горизонтальная септа. Она разделяет гемоцель на два отдела: спинной, в котором помещается сердце, и брюшной, где находятся кишечник и брюшная нервная цепочка (рис.16). Септа имеет большое значение в обеспечении направленного движения жидкости гемоцеля: по спинной стороне она течет вперед, а по брюшной — назад.

Жидкость гемоцеля членистоногих обеспечивает распределение питательных веществ, транспортирует продукты обмена от тканей к выделительным органам, обеспечивает газообмен. У ракообразных и некоторых других членистоногих она содержит дыхательные белки (гемоглобин или гемоцианин) и поэтому обычно называется кровью, а у паукообразных и насекомых, как правило, данных белков не содержит и называется гемолимфой. У крупных членистоногих сердце хорошо развито и представляет собой мышечную трубку с боковыми отверстиями — остиями, через которые кровь поступает в сердце, затем течет по спинной артерии, далее — по более или менее слож-

ной системе сосудов и просто в промежутках между органами. У мелких членистоногих система сосудов сильно редуцирована, иногда остается одно только сердце, а у самых мелких насекомых, клещей и ракообразных нет даже сердца, и миграция веществ в гемоцеле обеспечивает путем диффузии.

В некоторых сегментах целом исчезает не полностью. Небольшие целомические мешочки сохраняются и выполняют выделительную функцию, что особенно характерно для водных членистоногих (рис.17). У ракообразных закладывается обычно две пары выделительных целомических пузырьков, из которых у взрослых животных остается одна пара. От каждого пузырька отходит длинный извитой канал, открывающийся в основании второй пары антенн либо второй пары нижних челюстей. У реликтовых водных хелицеровых — мечехвостов — зачатки выделительных органов закладываются в шести сегментах, но у взрослых форм сохраняется только четыре пары выделительных целомов (см. рис.17).

Стенки целомических пузырьков в составе выделительных органов членистоногих образованы базальной пластинкой, на внутренней поверхности которой располагаются клетки целомического эпителия — подоциты. Суть процессов здесь та же, что у целомических животных: из гемоцеля жидкость профильтровывается через базальную пластинку, проходит между отростками подоцитов и попадает в целом, а затем по извитому каналу выводится во внешнюю среду. Разница лишь в том, что у целомических животных гемоцель представлен узкими пространствами кровеносных сосудов, а целом очень обширный; у членистоногих наоборот: гемоцель — обширный, а целом представлен маленькими выделительными пузырьками (рис.18).

У наземных хелицеровых (паукообразных) выделительная функция обеспечивается мальпигиевыми сосудами — это слепые трубчатые выросты заднего участка средней кишки. Продуктом азотистого обмена у паукообразных служит гуанин, который слабо растворим в воде и выделяется в виде кашицы из кристаллов без больших потерь жидкости. Это позволяет паукообразным осваивать разнообразные сухопутные биотопы, в том числе и такие, где экономия воды становится острой необходимостью. Скорпионы, сольпуги, пауки — обычные обитатели пустынь. Тем не менее, наряду

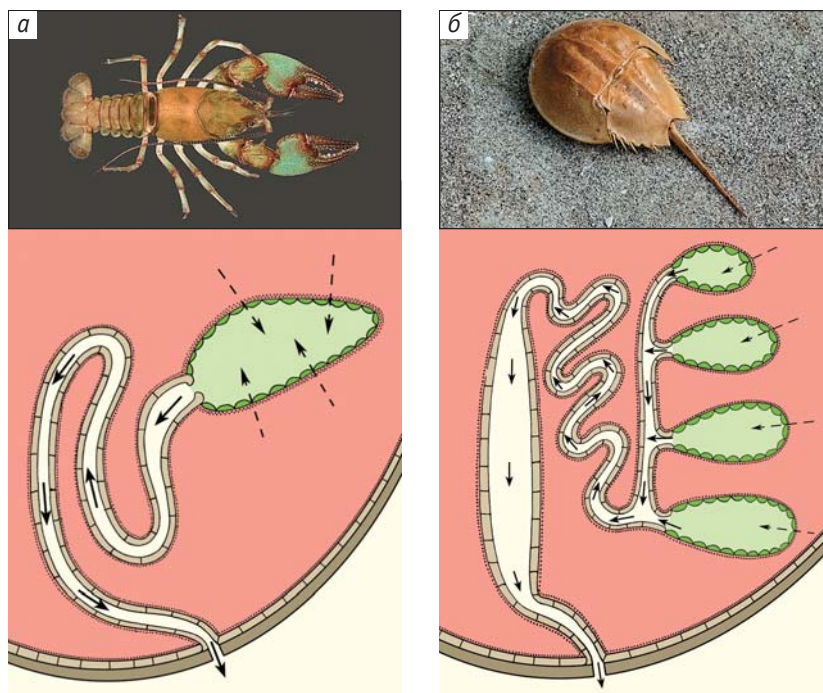


Рис.17. Выделительные органы водных членистоногих: а — речной рак и антеннальная железа ракообразного; б — мечехвост и его выделительный орган с четырьмя целомическими мешочками. Штриховыми стрелками показано направление фильтрации, сплошными — движение жидкости по выделительному каналу.

с мальпигиевыми сосудами у паукообразных сохраняются и так называемые коксальные железы — это рудиментарные целомические мешки, от которых отходят извитые протоки, открывающиеся в основании конечностей. У скорпионов сохраняется одна пара коксальных желез, которая открывается в основаниях ног третьей пары. У пауков-птицеедов имеется две пары коксальных желез, а у обычных пауков — всего одна пара, да и то

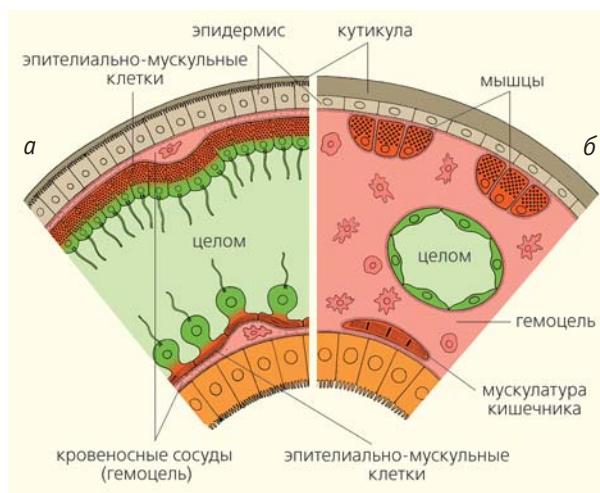


Рис.18. Сравнение строения полости тела целомических (а) и линяющих животных (б).



Рис.19. Членистоногие обитатели пустынь: сольпуга (слева) и жук-чернотелка.

Фото С.С.Шинкаренко

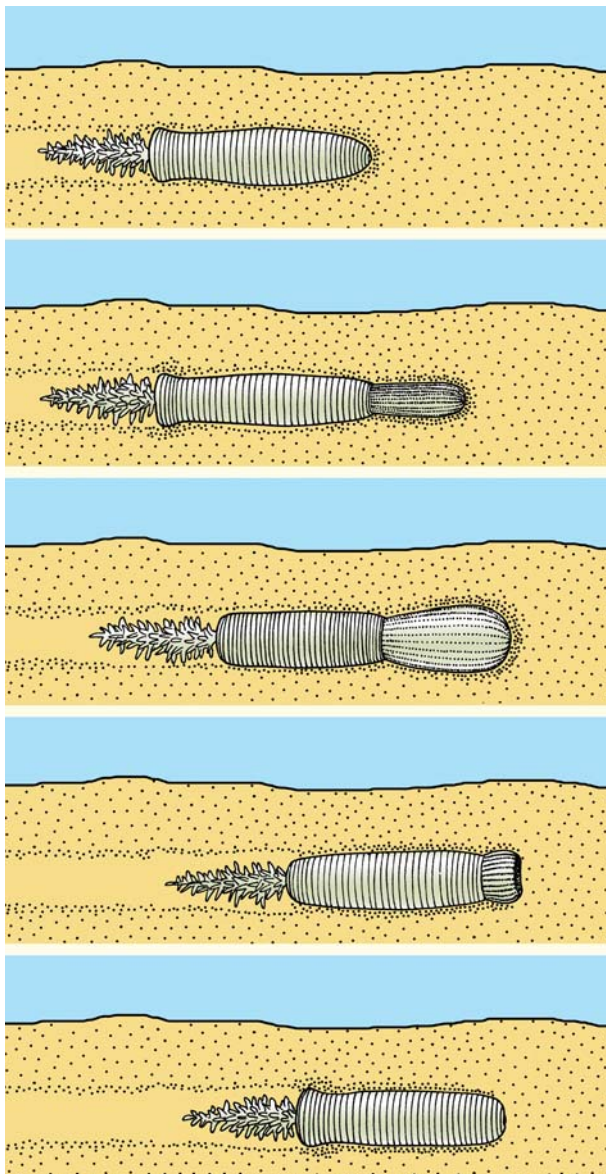


Рис.20. Гидравлическая локомоция приапулид в толще грунта [11].

во взрослом состоянии она недоразвита. У сенокосцев мальпигиевых сосудов совсем нет, зато есть два мешковидных нефридия. Даже у клещей наряду с мальпигиевыми сосудами имеется одна пара выделительных желез, связанных с рудиментарными целомическими мешочками. Можно сказать, что практически все паукообразные сохраняют в строении выделительной системы память о своем водном происхождении.

У насекомых рудиментов целома в выделительной системе нет ни у личинок, ни у взрослых форм, а выделение продуктов обмена обеспечивается мальпигиевыми сосудами. Интересно, что мальпигиевы сосуды у насекомых и паукообразных возникли в эволюции независимо. У паукообразных они построены из энтодермы, а у насекомых — из эктодермы и представляют собой выросты задней (а не средней) кишки. Неудивительно, что и продуктом азотистого обмена у насекомых служит не гуанин, а другое вещество — мочевая кислота. Она плохо растворяется в воде и выделяется в виде кристаллов, что позволяет насекомым экономить воду. Появление мальпигиевых сосудов можно рассматривать как одно из важнейших приспособлений, позволивших паукообразным и насекомым завоевать сушу (рис.19).

Среди червеобразных Ecdysozoa выделяют две группы животных. Одна из них — это головохоботные черви, другая — круглые черви. К головохоботным червям относят приапулид, киноринхов и лорицифер, а к круглым червям — нематод (см. рис.2). С положением волосатиков в системе биологи не определились. Одни авторы сближают их с головохоботными червями*, а другие — объединяют с нематодами [10]. Приапулиды — крупные (до 40 см) морские черви, которые ведут роющий образ жизни. При движении приапулиды выворачивают передний отдел — хобот, заякориваются им в грунте и подтягивают к хоботу заднюю часть тела (рис.20). Как многие роющие организмы, приапу-

* Подробнее см.: Малахов В.В., Адрианов А.В. Цефалоринхи — новый тип животного царства // Природа. 1997. №3. С.3–17.

лиды используют гидравлическую локомоцию. Они лишены сегментации (хотя внешне их покровы кольчатые), у них нет никаких признаков конечностей, кутикула гибкая и содержит небольшое количество хитина, а мускулатура организована по типу кожно-мышечного мешка (рис.21). Зоологи долго не могли ответить на вопрос, что представляет собой полость тела приапулид. Исследования, проведенные с применением электронного микроскопа, показали, что это настоящий гемоцель. Полость тела приапулид отделена от прилежащих тканей базальной пластинкой и, кроме того, содержит эритроциты, в цитоплазме которых находится дыхательный белок — гемэритрин (см. рис.21).

Целом у приапулид сохранился в составе так называемых уrogenитальных органов, которые совмещают выделительную и половую функции. Каждый такой орган состоит из двух частей: одна из них представляет собой гонаду, а другая — выделительный целом. Стенка выделительного целома образует выпячивания в гемоцель. Эти выпячивания имеют вид тонких канальцев, которые заканчиваются жгутиковыми клетками — соленоцитами, т.е. устроены как протонефридии. Естественно, что выделительный целом и соленоциты отделены от полости тела базальной пластинкой [12]. Через нее жидкость фильтруется из гемоцеля в просвет каналов протонефридиев и далее поступает в выделительный целом, который через уrogenитальный канал связан с внешней средой.

Круглые черви, или нематоды, — огромная по числу видов вездесущая группа червеобразных организмов. Свободноживущие нематоды населяют все типы морских грунтов от предельных глубин Мирового океана до литорали, обитают в реках и озерах и достигают высокой численности в почве. Нематоды паразитируют в клетках простейших, проникают в ткани растений. Круглые черви — паразиты всех групп многоклеточных животных вплоть до человека. Большинство видов нематод — это мелкие свободноживущие черви с длиной тела до 1–2 мм. Самые крупные нематоды — паразиты животных, они могут достигать десятков сантиметров в длину, а отдельные виды — до нескольких метров (паразит кашалота *Placentonema gigantissima* — до 8.5 м), но в целом доля паразитических (и вследствие этого крупных) видов в данной группе невелика.

Нематоды линяют, и механизм линьки у них очень близок к таковому у прочих Ecdysozoa. Наружная кутикула нематод — чисто белковая и не содержит хитина, но там, где она переходит в кутикулу, выстилающую массивную эктодермальную глотку, в ней появляется хитин. Вероятно, отсутствие хитина в наружной кутикуле нематод — вторичное явление. Волокнистая наружная кутикула нематод обладает упругими свойствами и поддерживается в натянутом состоянии благодаря высокому давлению жидкости полости тела. Упругая кутикула нематод служит антагонистом продоль-

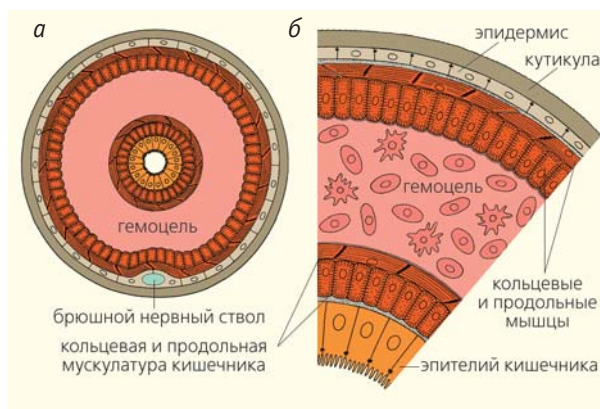


Рис.21. Схема поперечного среза приапулиды (а) и фрагмент, показывающий строение гемоцеля (б).

ной мускулатуры в процессе характерной змеевидной локомоции этих червей.

Зоологи долго обсуждали природу полости тела нематод. Как только ее ни называли: протоцель, псевдоцель, схизоцель — только гемоцелем никогда не называли. Между тем, по всем признакам полость тела нематод — настоящий гемоцель (рис.22). Как со стороны кишки, так и со стороны стенки тела этот гемоцель ограничен базальными пластинками. У мелких свободноживущих нематод гемоцель представлен узкими щелевидными пространствами между органами, а вот у крупных паразитических нематод, например у всем известной аскариды (которая достигает 25–30 см в длину при диаметре до 1 см), гемоцель — это обширная полость между кишкой, гонадами и мускулатурой стенки тела. У таких крупных нематод, как аскарида, гемоцель выполняет опорную и распределительную функцию: именно через гемоцель происходит миграция веществ от кишечника к половой системе и мускулатуре.

Выделительная система нематод не связана с производными целома. У мелких свободноживущих форм выделительную функцию выполняет единственная железистая клетка, которая входит в состав эктодермального эпителия — гиподермы нематод. Она расположена в передней части тела и называется шейной железой (рис.22,а). У крупных паразитических форм эта клетка разрастается и дает длинные каналы, тянущиеся внутри боковых валиков эктодермального эпителия. Само собой разумеется, что такая выделительная система не имеет никакого отношения ни к протонефридиям, ни к метанефридиям.

А вот половая система нематод имеет отчетливые признаки целома. Она представлена яичниками (у самок) или семенниками (у самцов). Стенка гонады образована базальной пластинкой, к которой изнутри примыкает слой целомического эпителия (см. рис.22,б). У свободноживущих нематод эпителий гонады может быть представлен эпителиально-мышечными клетками, как в настоящем

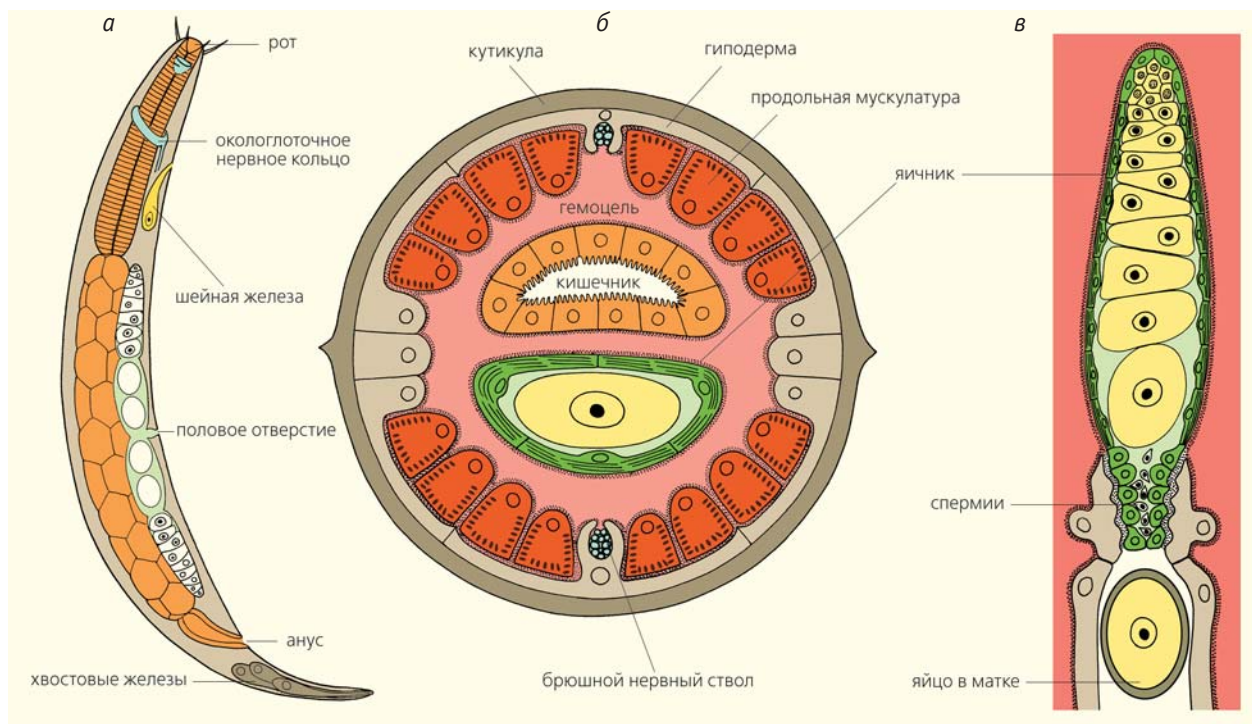


Рис.22. Строение свободноживущих нематод: *а* — расположение органов у нематод, *б* — схема поперечного среза, *в* — часть женской половой системы ([13], с изм.).

целоме [13]. В верхушке гонады, кроме эпителиально-мышечных, имеются клетки (а у паразитических нематод — всего одна концевая клетка), которые дают начало сперматозоидам или яйцеклеткам. Мезодермальная часть половой системы (яичник или семенник) соединяется с эктодермальной трубкой (матка у самок, семявыводящий проток у самцов), которая связана с внешней средой.

Заполненная жидкостью полость тела служит как опорная структура в гидравлической локомоции головохоботных червей и змеевидной — нематод, но почему же они используют для этого не целом, а гемоцель? Можно предположить, что далекими предками головохоботных червей и нематод были животные с жестким хитиновым экзоскелетом. У этих предковых форм целом редуцировался, так как опорную функцию выполнял кутикулярный экзоскелет. Впоследствии, когда предки головохоботных червей и нематод перешли к роющему образу жизни, их кутикула стала эластичной, конечности и метамерия исчезли, но согласно закону необратимости эволюции восстановить целом было невозможно. Вот и пришлось головохоботным червям и нематодам использовать для гидравлической локомоции жидкость гемоцеля. Таким образом, анализ строения полости тела у линяющих животных приводит нас к неожиданному выводу: не червеобразные формы были предками членистоногих, а, скорее, формы, близкие к членистоногим, в процессе приспособления к роющему образу жизни стали предками головохоботных червей и нематод.

* * *

В современной зоологии прежние представления о большом многообразии полостей тела сменились пониманием того, что оно может быть сведено к двум их типам — целому и гемоцелю. Между ними есть четкие гистологические различия, которые позволяют надежно определять эти два типа полостей при микроскопическом исследовании. Целом ничем не отделен от окружающих тканей, гемоцель же всегда ограничен базальной пластинкой, которая выполняет барьерные функции. Целом представляет собой полость, со всех сторон окруженную только мезодермой, и жидкость целома контактирует только с тканями, имеющими мезодермальное происхождение. Гемоцель может залегать между любыми органами, и жидкость гемоцеля может контактировать с любыми тканями: эктодермальными, мезодермальными и энтодермальными.

И у целома, и у гемоцеля были очень далекие эволюционные предшественники. Предшественником гемоцеля была полость бластулообразных личинок предков современных многоклеточных. У губок в процессе метаморфоза бластоцель заполняется коллагеном и спонгином, заселяется клетками (в том числе и вырабатывающими известковые или кремнеземные спикулы) и становится основной опорной структурой — мезохилом. У кишечнополостных бластоцель также заполняется коллагеном и другими белками, заселяется клетками и превращается в мезоглею (рис.23).

У билатерально-симметричных животных с хорошо развитым целомом бластоцель становится полостью кровеносной системы. Бластоцель дает начало опорным структурам в виде паренхимы и другим видам плотной соединительной ткани, в том числе хрящу и кости. У линяющих животных бластоцель трансформируется в обширный гемоцель (см. рис.23).

Целом происходит от кишечной полости двуслойных предков билатерий и частично наследует ее функции. Главные функции целома у этих животных — опорная, выделительная и половая. При появлении наружного скелета (раковины, жесткой хитиновой кутикулы) целом подвергается большей или меньшей редукции, иногда до такой степени, что сохраняется только в выделительных органах, а в крайних случаях — в одной лишь половой системе (см. рис.23). У животных, имеющих прогенетическое происхождение, обширные целомические полости не развиваются, и целом остается

только там, где его не может не быть, т.е. в половой системе. Гонады билатерий — это всегда целом, а поскольку гонады есть у всех билатерий, это означает, что все билатерально-симметричные многоклеточные — исходно целомические животные. ■

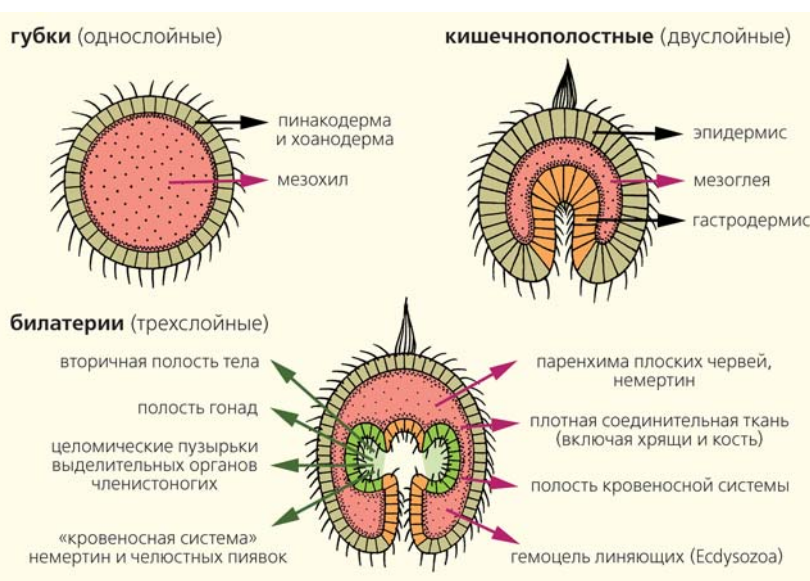


Рис.23. Бластоцель, целом и их производные у многоклеточных животных.

Авторы благодарят Ж.В.Корневу (Институт биологии внутренних вод РАН) за ценные консультации.

Материал для настоящей работы был собран при поддержке Российского научного фонда (соглашение №14-50-00034), изготовление оригинальных рисунков и работа над рукописью поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 15-29-0260-офи-м).

Литература

1. Корнева Ж.В. Клеточный состав паренхимы и межклеточный матрикс в онтогенезе *Trieniphorus nodulosus* (Cestoda) // Известия АН. Сер. биол. 2001. №1. С.11–22.
2. Rieger R.M., Tyler S., Smith III J.P.S., Rieger G.E. Turbellaria // Microscopic Anatomy of Invertebrates / Eds F.W.Harrison, B.J.Bogitsh. 1991. V.3. P.7–140.
3. Coil W.H. Platyhelminthes: Cestoidea // Microscopic Anatomy of Invertebrates / Eds F.W.Harrison, B.J.Bogitsh. 1991. V.3. P.211–283.
4. Корнева Ж.В. Тканевая пластичность и морфогенезы у цестод. М., 2007.
5. Зенкевич Л.А. Очерки по эволюции двигательного аппарата животных // Ж. общ. биол. 1944. Т.5. №3. С.129–171.
6. Turbeville J.M., Ruppert E.E. Comparative Ultrastructure and the Evolution of Nemertines // Amer. Zool. 1985. V.25. P.53–71.
7. Turbeville J. Nemertinea // Microscopic Anatomy of Invertebrates / Eds F.W.Harrison, B.J.Bogitsh. 1991. V.3. P.285–328.
8. Dawydoff C.N. Traité d'Embryology comparée des Invertébrés. Paris, 1928.
9. Weygoldt P. Die Embryonalentwicklung des Amphipoden Gammarus pulex // Zool. Jahrb. Anat. 1958. Bd.77. S.51–110.
10. Eblers U., Ablrichs W., Lemburg C., Schmidt-Rhaesa A. Phylogenetic systematization of the Nemathelminthes (Aschelminthes) // Verh. Dtsch. Zool. Ges. 1996. V.89. P.8.
11. Elder H.Y., Hunter R.D. Burrowing of *Priapulius caudatus* (Vermes) and the significance of the direct peristaltic wave // J. Zool., Lond. 1980. V.191. P.333–351.
12. Адрианов, А.В., Малахов В.В. Головохоботные черви (Cephalorhyncha) Мирового океана. Определитель морской фауны. М., 1999.
13. Yushin V.V., Malakhov V.V. Ultrastructure of the female reproductive system in the free-living marine nematode *Enoplus demani* (Nematode: Enoplida) // Fundamental and Applied Nematology. 1997. V.20. P.115–125.

Как глобальное потепление меняет природу сибирской тайги?

А.А.Медведков

кандидат географических наук

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова





Курум в начальной стадии зарастания на левом берегу Подкаменной Тунгуски.

Здесь и далее фото автора

Сибирская тайга — это огромный массив нетронутых ландшафтов, крупнейшее ядро экологического каркаса нашей страны. Центральная Сибирь лишь незначительно освоена и менее населена, чем соседние территории. Основным фактором, влияющим на функционирование здешних природных систем и уклад жизни людей, — это климат. Именно такие регионы особенно важны для изучения последствий глобальных климатических изменений.

Как известно, значительная часть сибирских лесов находится в зоне вечной мерзлоты. На юге центрально-сибирской криолитозоны распространена так называемая высокотемпературная мерзлота, ее распределение прерывисто, мощность невелика (до 25–30 м), а местами от сплошного поля мерзлого грунта сохранились лишь отдельные пятна (острова). Эта переходная зона — планетарный экотон, так называемая ландшафтно-геокриологическая граница, ее рельеф и растительность отличаются необычной мозаичностью, здесь легче всего зафиксировать отклики природы на различные климатические события.

Полигоном для изучения изменений, происходящих в ландшафтах Центральной Сибири, стал Среднеенисейский регион, расположенный в подзоне средней тайги в среднем течении Енисея. В качестве западного регионального рубежа принимается граница бассейна реки на Западно-Сибирской равнине, а восточного — зональная граница среднетаежных ландшафтов на западной окраине Среднесибирского плоскогорья. Ключевые участки полигона выбраны в пределах разных морфоструктурных частей Среднеенисейского региона: восточной окраины Западно-Сибирской равнины, севера Енисейского кряжа и запада Среднесибирского плоскогорья.

С середины XX в. здесь работали многочисленные геологические экспедиции. В 70-х годах изучение ландшафтов региона проводилось с целью уточнения результатов геологического картирования [1]. В 1990-х стартовали исследования современного состояния ландшафтов мерзлотного экотона, организованные профессором географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова С.П.Горшковым. Был наработан опыт диагностики мерзлотных и немерзлотных ландшафтов* [2]. После небольшого перерыва, с начала 2000-х годов, в Среднеенисейском регионе организованы практически ежегодные ландшафтно-геоэкологические исследования, посвященные оценке состояния среднетаежных геосистем в условиях современных изменений природной среды и климата.

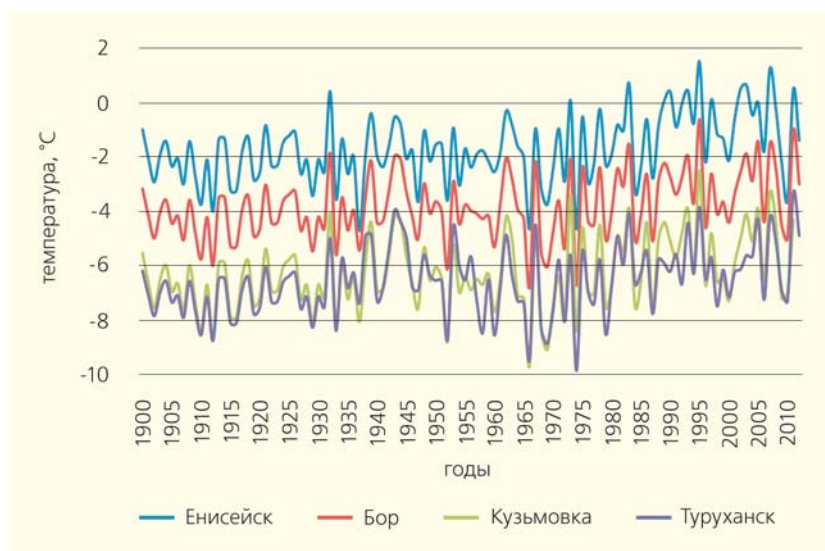
* Мерзлотный ландшафт — природный комплекс, ведущим формирующим фактором которого выступает криогенез. Он определяет специфику почвообразования и особую структуру растительного покрова.



Среднеенейский регион. Линией показана современная граница криолитозоны.

Потепление в Среднеенейском регионе фиксируется с начала 1980-х годов. По данным метеостанций Туруханск (северная тайга), Бор, Кузьмовка (средняя тайга) и Енисейск (южная тайга), среднегодовая температура уже повысилась не менее чем на 1–2°C. Анализ осредненных данных показывает, что холодные годы определяются низкими температурами в период с октября по апрель. Причина теплых лет также заключается в высоких температурах зимой, причем ее продолжительность в такие годы заметно сокращается. Так, в 1974 г. в Бору средняя январская температура опускалась ниже –35°C, в 1995 г. она составила –17.8°C, а в апреле уже была положительной.

Для мерзлотных ландшафтов характерна солифлюкция — вязкопластическое сползание тяжелого, насыщенного водой грунта по мерзлой наклонной поверхности. При этом формируются своеобразные наплывы и террасы даже на участках, покрытых лесом. Деревья, сползающие вместе с грунтом, наклоняются и искривляются. По их стволам нетрудно оценить степень выраженности солифлюкции: если у наклоненных деревьев верхушки поднимаются вертикально вверх, это указывает на ослабление или прекращение течения грунта. Также интенсивность солифлюкции можно определить, заглянув в характерные окна-разрывы (ямки-разрывы). Их диаметр обычно составляет 1.0–1.5 м, а глубина — 0.5–0.7 м. Если в конце лета ямка заполнена ледяной (в буквальном смысле) водой, значит, мерзлый водоупор относительно стабилен, а площадное движение грунта продолжается. Если же воды нет, а ямка постепенно зарастает, то началась деградация мерзлоты, влекущая за собой ослабление солифлюкции. О снижении активности солифлюкционных процессов свидетельствуют и так называемые оползни-сплывы на склонах по берегам рек. Они образуются при интенсивном отступании мерзлоты, когда береговые массивы теряют устойчивость и начинают деформироваться.



Колебания среднегодовой температуры воздуха по данным гидрометеорологических станций Туруханск, Кузьмовка, Бор и Енисейск.

В границах выбранного полигона мерзлота, преимущественно высокотемпературная (–1°C и выше), развита на низких вершинах и пологих склонах, на участках, сложенных глинами и суглинками, с отдельными валунами, а также на алеврито-тонкопесчаных отложениях ледникового комплекса. Обычно такие места переувлажнены, там распространена низкорослая редкостойная кедрово-еловая и кедрово-елово-лиственничная тайга, часто с примесью березы, на торфянисто-глеевой мерзлотной почве с мхово-кустарничковым и местами лишайниковым напочвенным покровом.

Для мерзлотных ландшафтов характерна солифлюкция — вязкопластическое сползание тяжелого, насыщенного водой грунта по мерзлой наклонной поверхности. При этом формируются своеобразные наплывы и террасы даже на участках, покрытых лесом. Деревья, сползающие вместе с грунтом, наклоняются и искривляются. По их стволам нетрудно оценить степень выраженности солифлюкции: если у наклоненных деревьев верхушки поднимаются вертикально вверх, это указывает на ослабление или прекращение течения грунта. Также интенсивность солифлюкции можно определить, заглянув в характерные окна-разрывы (ямки-разрывы). Их диаметр обычно составляет 1.0–1.5 м, а глубина — 0.5–0.7 м. Если в конце лета ямка заполнена ледяной (в буквальном смысле) водой, значит, мерзлый водоупор относительно стабилен, а площадное движение грунта продолжается. Если же воды нет, а ямка постепенно зарастает, то началась деградация мерзлоты, влекущая за собой ослабление солифлюкции. О снижении активности солифлюкционных процессов свидетельствуют и так называемые оползни-сплывы на склонах по берегам рек. Они образуются при интенсивном отступании мерзлоты, когда береговые массивы теряют устойчивость и начинают деформироваться.

С середины 1990-х годов в Среднеенейском регионе в результате прогрева многолетнемерзлой толщи до 0°C началась активный процесс деградации мерзлоты. Ее кровля ушла



Ямки-разрывы на склонах, подверженных солифлюкции. Незаросшая ямка, заполненная холодной водой (а), свидетельствует о стабильном положении многолетнемерзлого водоупора. Отсутствие воды (б) — показатель понижения кровли мерзлоты.

вглубь в среднем на 1,5–2 м (местами и более). Это сразу же отразилось на облике мерзлотных ландшафтов. В солифлюкционных ямках-разрывах исчезла вода. Деревья со стелющейся корневой системой (береза и некоторые хвойные) потеряли опору в виде твердого мерзлого субстрата и стали падать. Скопления упавших стволов с вывороченными корнями привели к повсеместному распространению в ландшафтах подзоны островной мерзлоты специфического рельефа биогенного происхождения.

Еще нагляднее, чем в пределах мерзлотного редколесья, отступление мерзлоты заметно в основании курумов [3, 4]. Так называют грубообломочные образования из скальных пород, развалы каменных глыб на склонах, занимающие часто немалые площади. Они широко распространены на правом берегу Енисея: в пределах Среднесибирского плоскогорья и Енисейского кряжа. Изменения прежде всего заметны на склонах южной и западной экспозиции: между глыбами вытаял гольцовый лед, в результате они просели, потеряли устойчивость, кое-где образовались впадины глубиной до 1 м и исчезли поверхностные холодные ручейки. Курумы начали зарастать, появились мохово-лишайниковый покров, кустарнички и местами даже деревья. В низовьях



Оползни-сплывы на склонах по берегам рек — свидетельства снижения кровли мерзлоты. Солифлюкция здесь сменяется оползанием.



Березняк с поверхностной корневой системой одним из первых реагирует на активизацию площадной солифлюкции.



Просевший из-за вытаивания гольцового льда крупноглыбовый курум.

Подкаменной Тунгуски незалесенные курумы утратили гольцовый лед даже на экспозиционно холодных склонах. Протаявших курумов много в северной части Енисейского кряжа и на западе Среднесибирского плоскогорья вплоть до русла Нижней Тунгуски. Их пояс поднимается в среднем до абсолютной высоты 400 м [5].

Можно предположить, что в курумах подзоны средней тайги в условиях потепления климата развиваются реакции отрицательных обратных связей [3, 4]. На первой стадии происходит вытаивание гольцового льда, курум начинает постепенно зарастать. Накапливается мелкозем, заполняющий ниши между глыбами. Так формируется почвенный профиль буротаежной скелетной почвы. Интересно, что аккумуляция мелкозема и скорость зарастания курума усиливаются в местах концентрации черных накипных лишайников. Свою роль в эволюции почвенного покрова курумов играет и солифлюкция, которая локализованно увеличивает мощность торфо-растительного слоя и количество мелкозема. В результате на отдельных участках глубина почвенного профиля достигает 25–30 см. По-видимому, с увеличением среднегодовой температуры воздуха растет и активность микроорганизмов, что способствует биогеохимическому выветриванию и обогащению мелкозема органикой. Вскоре буротаежная скелетная почва превращает-



Курум, переходящий в стадию «висячего болота», в лесном ярусе Среднесибирского плоскогорья.

ся в торфянистую буротаежную, увеличивается ее мощность, возрастают обводненность курума и его изоляция от нижнего слоя воздуха. На следующей стадии происходит формирование «висячих» торфяных болот* и локальная агградация, т.е. повторное развитие вечной мерзлоты.

Интересные сведения об изменениях, происходящих в природе, сообщили местные жители. Надо сказать, что в среднем и нижнем течении Енисея и в низовьях Подкаменной Тунгуски живут кеты — один из самых малочисленных народов Сибири и Дальнего Востока. Это уникальный этнос: кетский язык считается последним сохранившимся представителем енисейской языковой семьи. Занимаются кеты в основном охотой и рыболовством (подсобное хозяйство развито у них слабо), живут за счет «кормящего» ландшафта, поэтому любые его изменения сразу же отражаются на привычном образе жизни [6].

Так, по словам местных жителей, за последние 25 лет увеличился ареал обитания клещей (*Ixodes persulcatus*). Он расширился на 250 км к северу, захватив подзону средней тайги. Теперь клещей обнаруживают уже на широте 63°. Особенно сильно они активизировались в последние 10 лет. Обилие клещей особенно вредит людям, проживающим на юге Туруханского и юго-западе Эвенкийского района Красноярского края. Здесь жители стали чаще обращаться в медицинские учреждения с просьбами о вакцинации против клещевого энцефалита.

По данным энтомолога А.В.Куваева, многие насекомые лесостепи и южной тайги встречены и описаны в нижнем течении Подкаменной Тунгуски и среднем течении Енисея, т.е. в условиях средней тайги.

В третьей четверти XX в., в период со стабильными холодными зимами, в Среднеенисейском ре-



«Висячее» болото на крутом северном склоне долины под рединами из ели и лиственницы на торфяных мерзлотных почвах.



Фрагмент «висячего» болота с мощной торфяной подушкой (более 35 см) и угнетенным мелколиственно-хвойным лесом.

гионе практически отсутствовали гадюки (*Vipera berus*). Об их экспансии люди заговорили после аномально теплых лет второй половины 1990-х годов. В этот период происходило повсеместное вытаивание гольцового льда в курумах. Сегодня гадюки прочно облюбовали протаявшие курумы.

Поздние весенние заморозки и потеря ресурсов подземной влаги в основании курумов привели к тому, что их покидает постоянный обитатель — пищуха (*Ochotona*), которая играет большую роль в питании соболей [7]. Соболю же, в свою очередь, — ценный промысловый объект для местных охотников.

* «Висячие» болота расположены в основном на крутых приречных, экспозиционно холодных склонах. Под торфяником в каждом болоте находится курум. Мерзлый слой скрыт напочвенным покровом, состоящим из мхов, лишайников и кустарничков с обилием багульника и карликовой березки.



Кеты — таежные собиратели, рыболовы и охотники — на своем охотничье-промысловом участке.

Потепление климата в континентальных районах приводит к увеличению контрастности погодных условий. Усиливаются погодно-климатические аномалии. Все чаще случаются теплые зимы, а весна и осень тянутся необычно долго. Все это сильно ударило по кормовым ресурсам тайги.

Сильные заморозки, которые все чаще случаются в период цветения, снижают продуктивность таежных ягодников. А ведь брусника, голубика, красная смородина и другие ягоды играют важную роль в кормовом рационе многих представителей животного мира. Так, в 1997 и 1998 гг. в Центрально-Сибирском заповеднике (одном из самых крупных резерватов планеты, территория которого по площади сравнима с Ливаном или Ямайкой) практически полностью отсутствовали ягоды черники, голубики, брусники, жимолости, красной и черной смородины. Скучные урожаи этих ягод отмечались в 1999 г. Невелики они и сегодня. Жители говорят, что в последние 15–20 лет стало много «больной» (гнилой), осыпающейся ягоды.

В современную эпоху участились холодные или очень влажные, а в отдельные годы — сухие летние сезоны. Такая погода неблагоприятно сказывается на продуктивности ягодников. На примере брусники установлена связь между ростом ягод и весом листьев в разные типы лета [8]. Теп-

лым и умеренно-влажным летом вес листьев минимален, это связано с оттоком вещества в растущие плоды. В случае холодного лета, наоборот, вес листьев увеличивается — оттока веществ не происходит и плодов завязывается мало. Не способствует образованию ягод и сухое или очень влажное лето.

Несмотря на повсеместное наличие кедровой сосны в темнохвойной тайге, люди отмечают, что в годы с прохладным летом и теплой зимой мало где удается найти орехи.

В зимние оттепели из-за чрезмерной влажности разбухают шишки на елях и из них выпадают семена. Так теряется ценный корм для белок, бурндуков и птиц. По данным местных охотоведов, низкие урожаи ягодников и семян березы привели к уменьшению популяции тетерева. За последние 15 лет у этих птиц изменилась структура пищевого рациона. Теперь тетерев ест молодые побеги и почки деревьев и кустарников, а также семена хвойных деревьев [9]. Снизилась численность глухарей и рябчиков. Одну из причин этого таежные охотники видят в росте количества хищных птиц, которые за последние 10–15 лет стали активнее проникать в тайгу из более южных районов.

Летом 2009 г. произошел массовый сброс пыльцы хвойных деревьев (преимущественно сосны

обыкновенной). В это время наша экспедиционная группа двигалась на лодках вниз по течению Подкаменной Тунгуски от с.Кузьмовка до пос.Сулوماй (Эвенкийский муниципальный район). Мы видели, как на всем протяжении этого участка вода в реке стала ярко-желтой. Жители Кузьмовки сообщили, что вода насыщена пылью и выше по течению от села, а в целом зона выброса (только зафиксированного) протягивается более чем на 230 км. Причиной такой аномалии стали обильные осадки, выпавшие в начале лета. Дождевая вода быстро смачивает частицы пыли и увлекает их вниз. Массовые выбросы сосновой пыли обычно происходят во время слишком теплой и дождливой погоды [10]. Пока не установлено, как это явление отражается на урожаях семян. Известно лишь, что смещение сроков развития мужских генеративных органов у лиственницы сибирской и сосны обыкновенной в условиях теплого осенне-зимнего периода ведет к формированию стерильной пыли и низкому урожаю шишек и семян [11].

Многочисленные неблагоприятные явления, наблюдаемые в природе в годы с экстремальными погодными условиями, северовед-эколог и этнограф И.И.Крупник называл «кризисами жизни» [12]. Сегодня в Среднеенейском регионе они отмечаются заметно чаще, чем, скажем, 20 лет назад.

В ближайшие несколько десятилетий человечество не в силах будет остановить изменения



Пыльца сосны на русловой отмели в нижнем течении Подкаменной Тунгуски.

климата. Поэтому наша задача — научиться предвидеть будущие негативные события и адаптироваться к их последствиям. Процессы, происходящие сегодня на южной периферии бореальной криолитозоны, могут со временем повториться на значительно большей территории. Изменения сибирских мерзлотных ландшафтов только начинаются. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-35-00327-мол_а) и Совета по грантам Президента РФ (проект МК-7614.2015.5).

Литература

1. Астахов В.И., Герасимов Л.М., Ероменко В.Ю. и др. Комплекс дистанционных методов при геологическом картировании таежных районов (на примере Приенисейской Сибири). Л., 1978.
2. Горшков С.П., Карраш Х., Парамонов А.В. Геоморфологическая индикация мерзлотных и немерзлотных ландшафтов средней тайги Центральной Сибири // Геоморфология. 1998. №4. С.55–61.
3. Медведков А.А. Геоэкологический отклик среднетаежных ландшафтов Приенисейской Сибири на потепление климата конца XX — начала XXI века // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2014. №6. С.513–524.
4. Medvedkov A.A. Geoenvironmental Response of the Yenisei Siberia Mid-Taiga Landscapes to Global Warming during Late XX-Early XXI Centuries // Water Resources. 2015. №7. V.42. P.922–931.
5. Медведков А.А. Среднетаежные геосистемы Приенисейской Сибири в условиях меняющегося климата. М., 2016.
6. Медведков А.А. Кетский этнос в эпоху глобализации и меняющегося климата // География в школе. 2013. №2. С.29–35.
7. Medvedkov A.A. The Kets ethnos and its «feeding landscape»: ecological-geographical and socio-ecological problems under globalization and changing climate // Geography, Environment, Sustainability. 2013. №3. P.108–118.
8. Елагин И.Н. Времена года в лесах России. Новосибирск, 1994.
9. Горшков С.П. Экологический шок в Центральной Сибири: причины и следствия // География. 2008. №4. С.3–7.
10. Атлас погоды: атмосферные явления и прогнозы. СПб., 2010.
11. Носкова Н.Е., Романова Л.И. Структурно-функциональные свойства мужских генеративных органов у лиственницы сибирской и сосны обыкновенной в условиях изменения климата в Сибири // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. №7. С.175–180.
12. Крупник И.И. Арктическая этноэкология. М., 1989.

Баджал. Феномен дальневосточных гор

С.Д.Шлотгауэр,

доктор биологических наук

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН

Хабаровск

Е.В.Кондратьева

Государственный природный заповедник «Комсомольский»

Комсомольск-на-Амуре





Хребет Баджал и верхнее течение одноименной реки в изумрудной раме лесов.

Фото Е. В. Кондратьевой

Среди средневысотных каменных волн Буринского нагорья открывается величественная панорама Баджальского хребта. Он расположен в 250 км севернее Хабаровска и простирается с юго-запада на северо-восток почти на 300 км. Баджал называют «крышей Приамурья», ведь отдельные высоты превышают 2200 м (гора Королева).

Тем не менее Баджал не выдержит сравнения со многими другими горными вершинами страны: его высотники не удивляют опытного альпиниста. Сила и особенность этой горной страны — в восхитительном мире растений. Они обитают в условиях смешения двух типов климата — ультраконтинентального и океанического, в зоне, где влиянию могучего континента противостоят воздушные потоки Тихоокеана.

Зимой сибирский антициклон приносит в горы низкие температуры, штормовые ветра и небольшие (сравнительно с тихоокеанским побережьем) осадки. Их годовое количество превышает 1000 мм, но 70% выпадает в летний период. Это происходит из-за ориентации водораздела на северо-восток и создания эффекта «ловушки» для циклонов. В результате летом в течение 20–25 дней в месяц относительная влажность воздуха достигает 80–90%.

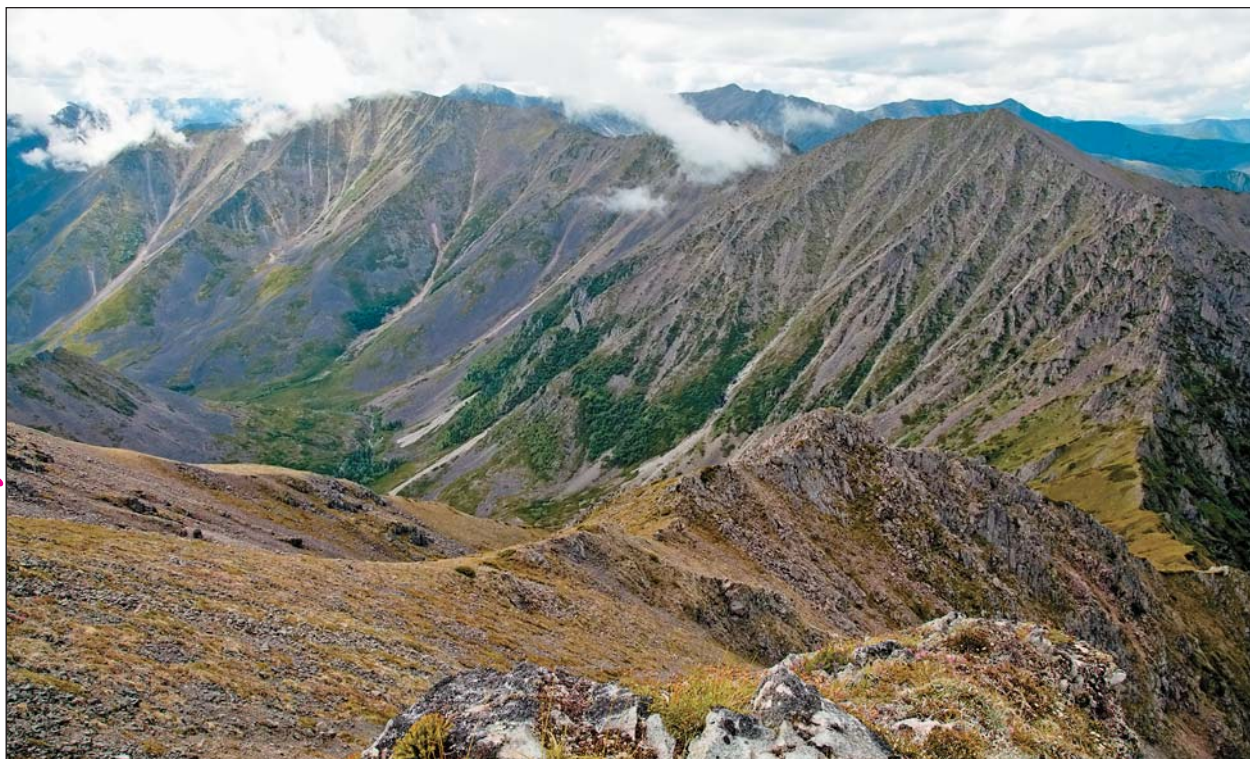
Горные склоны сложены вулканическими породами, песчаниками, сланцами, конгломератами и алевролитами. Как детище Монголо-Охотского складчатого пояса Баджал испытывает тектонические подвижки, поэтому обновляется ежегодно. Для его склонов обычны осыпи, оползни, снежные лавины и сели. Верхний пояс гор отличается альпинотипными формами рельефа: здесь распространены острые гребни водоразделов, останцы, троговые долины с моренами, кары и цирки. Немало в горах и ледниковых озер.

Немалую роль в формировании растительности Баджала сыграло последнее плейстоценовое оледенение, которое в горах Притихоокеанья носило преимущественно горно-долинный характер [1]. Во время развития ледников высотные пояса смещались вниз, флора беднела, резко сокращалось число берингийских видов, растения осваивали новые экологические ниши. На Баджал проникли горные растения Южной Сибири, тихоокеанского побережья, Северо-Востока и Арктики [2]. С окончанием ледниковой эпохи и наступлением голоцена граница древесной растительности вновь поднялась вверх, площадь высокогорий сократилась, флора обогатилась лесными видами и приняла облик, близкий к тому, который мы наблюдаем сейчас.

В середине прошлого века Приамурское отделение Географического общества СССР организовало несколько комплексных экспедиций на Баджал. Ученые биологических институтов из Хаба-

© Шлоттауэр С.Д., Кондратьева Е.В., 2016

Лавины соединены



Склоны хребта Баджал глубоко расчленены и часто обнажены. Здесь господствуют камни и лишайники.

Фото В.В.Боровского



Днище цирка в верхнем поясе гор. Подток влаги к основаниям склонов дает жизнь травам и кустарничкам. На переднем плане эндемик — зопничек Ворошилова.

Здесь и далее фото Е.В.Кондратьевой

ровска и Владивостока получили первые представления о высотной поясности, составе и структуре сообществ растительного мира. Материалами для данной статьи послужили собственные флористические коллекции авторов 1982–1985, 1990–1991 и 2011–2016 гг., а также сборы других ботаников, хранящиеся в гербариях Хабаровска, Владивостока и Москвы. Надо сказать, что в первых же поездках флористов на Баджал были открыты 12 новых для науки видов сосудистых растений.

По районированию Б.П.Колесникова [3], эта горная территория входит в Урмийско-Горинский округ Амуро-Охотской провинции Восточно-Сибирской подобласти светлых хвойных лесов Евразийской хвойной области.

Высотные пояса — лесной (горно-таежный), подгольцовый и гольцовый — выражены на Баджале не везде четко. Горно-тундровые сообщества во многих местах смыкаются с лесным поясом, а подгольцовые развиты фрагментарно из-за грубого механического состава отложений на очень крутых, преимущественно глыбовых склонах.

Склоны Баджала одеты бореальными лесами, в основном светлых хвойными, где эдификатором служит лиственница Каяндера (*Larix cajanderii*). На северных экспозициях она образует редкостойные сообщества с кедровым стлаником (*Pinus pumila*), ольховником (*Duschekia fruticosa*), рододендром золотистым (*Rhododendron aureum*), березами (*Betula lanata*, *B. middendorffii*). На многих участках хребта эти сообщества сформировались на месте еловых лесов, уничтоженных огнем (на маломощных почвах крутых склонов леса почти не восстанавливаются после пожаров). На подветренных участках южной и юго-восточной экспозиции возрастает роль зеленомошных ельников.

Леса из ели (*Picea ajanensis*) и пихты (*Abies nephrolepis*) образуют сомкнутые древостои в распадках, ущельях и по берегам ручьев, где формируют сообщества с участием высокотравья.

Из-за резкого градиента природных условий флору Баджала можно назвать гетерогенной. В лесном поясе она включает в себя неморальные виды растений, в высокогорном — горно-тундровые, арктоальпийские и арктические. В настоящее время здесь выявлено около 530 видов сосудистых растений, из них высокогорных и монтанных — 280 (69%). Остальные — обитатели лесного пояса, в сообществах которого отмечаются и растения широколиственных лесов юга Приамурья, находящиеся на северном пределе распространения. Это лимонник китайский (*Schisandra chinensis*), липарис японский (*Liparis nipponica*) и др. [4]. Но не они определяют «лицо» горной системы. Во флоре подгольцового и нижней полосы гольцового пояса доминируют виды, предпочитающие высокую влажность. Растут здесь и хионофилы — любители холодных и сырых субстратов. В течение первой половины вегетации они насыщаются влагой от тающих снежников и наледей.



Скерда буреинская среди каменных развалов.



Курильский чай в цвету.



Редкое сочетание в сообществах ревеня и зопничка Ворошилова.



Ковры из луазелеурии на щебнистом субстрате.



Эдельвейс Благовещенского — эндемичный вид Баджала.



Арктоальпийский вид — родиола розовая — поселилась в расщелинах скал и дробит каменные твердыни.

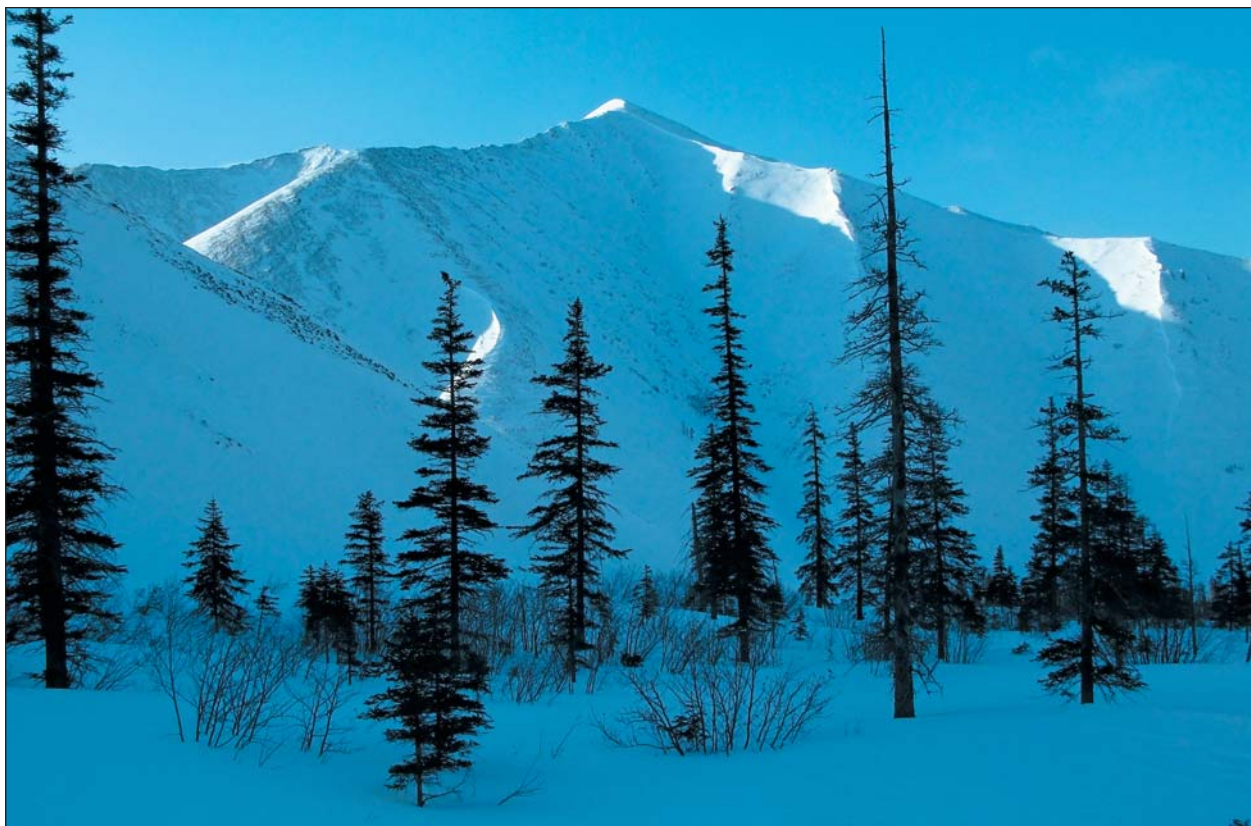
Для существования многолетних трав очень важно раннее укрытие местообитаний снегом осенью и его медленное стаивание весной. Это не позволяет водным потокам выносить из щебнистого субстрата мелкоземистую фракцию. Грунт обогащается водой, и на нем развиваются арктоальпийские кустарнички и травы: филлодоце голубая (*Phyllodoce caerulea*), луазелеурия лежачая (*Loiseleuria procumbens*), аконит и василистник альпийский (*Aconitum delphinifolium*, *Thalictrum alpinum*). Немало здесь также и западноохотских видов, возникших на юго-востоке древнего материка Ангариды. К ним относятся кассиопея вересковидная (*Cassiope ericoides*), рододендрон Редовского (*Rhododendron redowskii*), багульник (*Ledum palustriforme*) и др. [2]. Важную роль в сообществах играют приберингийские виды — клайтония (*Claytonia soczaviana*), камышок Максимовича (*Scirpus maximowiczii*) и камнеломка голостебельная (*Saxifraga nudicaulis*). Велико значение сибирских гольцовых растений, к которым относятся, например, камнеломка коротколепестковая (*Saxifraga brachypetala*) и ивы *Salix divaricata* и *S. saxatilis*. Есть на Баджале и эндемики — крестовник (*Senecio bojcoanus*), одуванчик (*Taraxacum badschalensis*), аконит Бабурина (*Aconitum baburinii*), сердечник войлочный (*Cardamine tomentella*) [4]. Все эти растения способны хорошо переносить низкие температуры субстрата и текущих вод, что свидетельствует о формировании их предковых форм в холодные и влажные эпохи.

В июле приснежные лужайки и ложбины стока узнаваемы издалека, цветущие травы и кустарнички образуют сложную цветовую гамму, где сочетаются голубые, белые, розовые и желтые оттенки. Каждое растение в этом оркестре — шедевр декоративности.

Совсем другой облик имеет растительный покров наветренных склонов. Здесь, опаленные ледным иссушающим дыханием Борея, одиноч-



Вечнозеленый кустарничек филлодоце голубая — характерный обитатель хорошо заснеженных зимой участков.



Время зимнего покоя: кедровый стланик под снегом, аянские ели в снежных накидках.

Фото И.П.Щегловой

ные съезжившиеся кустики багульника, брусники и осок нигде не образуют сомкнутого покрова. Особенно бесприютно на «каменных морях» — курумах, нередко спускающихся от водораздела до середины склона. Подвижный делювий, перемещаясь, не позволяет закрепиться корневой системе даже такого выносливого обитателя гор, как кедровый стланик. Мелкозем и дресва, прова-

ливаясь под глыбы, не могут быть использованы растениями. И все же пепельные бока склонов украшены нежнейшими розовыми сполохами цветущего эндемичного кустарника — вейгелы приятной (*Weigela suavis*). Это еще один поразительный пример высокой специализации растения к условиям температурных перепадов и недостатка влаги.



Цветки водосбора на сырых луговинах.
Здесь и далее фото Е.В.Кондратьевой



Вейгела приятная — абориген Буреинского нагорья — обычно осваивает осыпи и курумы.



Ива барбарисолистная. Поселяясь на сланцах и песчаниках, это растение удерживает склоны от размыва.



Астра Ворошилова — эндемик Баджала, она хорошо приспособлена к суровым высокогорным условиям.



Лжеводосбор мелколистный — редкий реликтовый вид, предпочитающий известняки.

Фото Д.Г.Шевцова

Приспособленность к перенесению кратковременной или летней нехватки воды свидетельствует о том, что предковые формы этих растений возникли в условиях холодных и сухих эпох. К зимним штормам и малоснежью особенно терпимы диапенсия (*Diapensia obovata*), дриада (*Dryas ajapensis*) и лжеводосбор мелколистный (*Paraquilegia microphylla*), а также некоторые представители осоковых и мятликовых. Многие растения считаются кальцефобами и повсеместно царствуют на породах кислого состава. К ним относятся осока

ложножесткая (*Carex rigidoides*), ива жилколистная (*Salix phlebophylla*), кассиопея вересковидная, луазелеурия лежачая, камышок Максимовича и др. Эти виды Б.А.Юрцев [2] считал характерными для элювиальных геохимических ландшафтов. Чаще всего это растения континентального происхождения, они распространились в период поднятия горных систем, когда в горах Дальнего Востока активизировались эрозионные процессы [5].

Почвы и субстрат на Баджале часто обеднены кальцием, поэтому даже небольшие выходы карбонатных пород выделяются окружающей флорой, которая включает растения как океанического, так и континентального склада. Некоторые из них приспособились к существованию в транзитных геохимических ландшафтах: это осока черно-бурая (*Carex atrofuska*), осока крупноколосковая (*C.macrogyna*), ива барбарисолистная (*Salix berberifolia*). Другие успешно освоили вулканогенные породы основного и среднего состава, изредка поселяясь на щебнистых отложениях песчаников: осока ледниковая (*Carex glacialis*), зопничек Ворошилова (*Phlomoides woroschilovii*), астра Ворошилова (*Aster woroschilovii*) и др.

Таковы результаты выполненного нами экологического и ареалогического анализа флоры высокогорий хребта Баджал — одной из самых необычных горных цепей Приамурья, где в сложных и переменчивых природных условиях удивительным образом сочетаются разные виды и сообщества растений. ■

Литература

1. Чемяков Ю.Ф. Западное Приохотье. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. М., 1975.
2. Юрцев Б.А. Проблемы ботанической географии Северо-Востока Азии. Л., 1974.
3. Колесников Б.П. Очерк растительности Дальнего Востока. Хабаровск, 1955.
4. Шлотгауэр С.Д. Особенности формирования высокогорной флоры хребта Баджал (Хабаровский край) // Сибирский экологический журнал. 2014. №1. С.35–42.
5. Сазыкин А.М. Развитие древнеледниковой морфоскульптуры Баджальского хребта // География и природные ресурсы. 1985. №3. С.171–172.

Гармония хаоса олистостромов

В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

Российский государственный геологоразведочный университет

имени Серго Орджоникидзе

Москва

В геологическом строении многих регионов принимают участие удивительные комплексы горных пород, которые представлены хаотически нагроможденным несортированным глыбовым материалом. Он слагает линзы, слои и мощные горизонты протяженностью в десятки и сотни километров [1–3]. Название «хаотические комплексы» отражает самую главную особенность этой ассоциации — беспорядочность внутреннего строения, выраженную в разнородности и не закономерном сочетании слагающих ее элементов. Кроме того, здесь отсутствует внутренняя стратификация, столь характерная для осадочных, вулканогенных и хемогенных отложений. Указанные признаки позволяют легко выявлять глыбовые образования среди других геологических комплексов, а это оправдывает их выделение в самостоятельную категорию и применение к ним термина «микстит» (от латинского *mixtus* — смешанный).

При длительном изучении хаотических комплексов было установлено несколько их разновидностей с неодинаковым генезисом. Сейчас можно говорить по крайней мере о трех категориях данных образований: тектонических (меланжах), ледниковых (тиллитах) и осадочно-оползневых. Последние итальянский геолог Г.Флорес в 1955 г. назвал олистостромами (в переводе с греческого — ползти, скользить и накапливаться). Этот термин означает аккумуляцию, происходящую благодаря оползанию. К отдельным включениям в олистостромах Флорес применил термин «олистолит».

Олистостромы чрезвычайно широко распространены практически во всех складчатых областях земного шара и известны

на самых разных стратиграфических уровнях. В этих комплексах выделяются три составные части: вмещающие отложения, основная масса (матрикс) и олистолиты. Две последние составляющие формируют собственно тело олистострома, которое представляет собой мощные свалы хаотически нагроможденного глыбового материала, заключенного в тонкозернистую основную массу.

Олистостромы слагают четко ограниченные в пространстве геологические тела, обычно линзообразной формы. Протяженность их различна и зависит от общей массы кластического (обломочного) материала. Встречаются небольшие, выклинивающиеся на незначительном расстоянии образования мощностью в несколько метров. Протяженность других достигает сотен километров в длину при мощности до 1 км (иногда и более).

Матрикс чаще всего сложен пелитовым веществом с большей или меньшей примесью песчано-



Выходы глины матрикса эскиординского олистострома в Аммонитовом овраге (восточная часть Бахчисарайского р-на Крыма).

© Комаров В.Н., 2016

Здесь и далее фото автора

го, алевроитового или карбонатного материала. Одна из характерных особенностей матрикса олистостромов — его бесструктурность, выражающаяся в практически полном отсутствии слоистости и внутренней стратификации.

В олистолитах встречаются практически все разновидности магматических, метаморфических, осадочных и хемогенных пород. По составу обломков выделяются мономиктовые олистостромы, сложенные каким-нибудь одним типом пород, и полимиктовые, включения в которых представлены различными литолого-петрографическими разностями. В зависимости от «родственных связей» олистолитов с матриксом выделяются эндо- и экзоолистостромы. В первых обломки имеют местное происхождение, т.е. в этом случае состав и возраст олистолитов близок или идентичен составу и возрасту матрикса и вмещающих отложений. В экзоолистостромах кластический материал чужд данному бассейну седиментации. Такие олистолиты обычно резко отличаются по составу и возрасту от вмещающих толщ. Данный тип обломков наиболее распространен и слагает самые мощные массы олистостромов.

Размер глыб, блоков и пластин в олистолитах меняется в очень широких пределах — от нескольких сантиметров в поперечнике до многих сотен метров (например, гигантская глыба известняка в олистостроме Гарцгероде в Германии). Форма обломков разнообразна. В подавляющем большинстве они неправильных грубоизометричных очертаний, остроугольные, реже с мягкими округлыми контурами. Иногда появляются хорошо окатанные гальки и валуны. Отмечается определенная зависимость между степенью окатанности обломочного материала и его составом. В эндоолистостромах включения практически никогда не бывают окатанными (за исключением обломков глинистых пород). В экзоолистостромах окатанный материал обычен. Встречаются также пластообразные олистолиты, с субпараллельными подошвой и кровлей. Их протяженность достигает нескольких километров, а мощность составляет многие сотни метров.

Обломки в олистостромах расположены без какой-либо видимой сортировки — огромные глыбы перемешаны с более мелкими включениями. Лишь изредка наблюдается некоторое подобие слоистости, выраженной в смене гранулометрического состава и вертикальной отсортированности кластического материала. Крупные глыбы часто окружены шлейфами более мелких обломков из тех же пород. Нередко в «ореолах рассеяния» наблюдаются и остатки фауны, вымытые из глыб и уже дважды переотложенные.

Соотношения объемов основной массы и включений в олистостромах очень непостоянны. Иногда матрикс практически полностью отсутствует. Обломки плотно пригнаны, местами даже вдавлены друг в друга, и тогда образуется «олистолито-

вый» олистостром. Кроме скоплений грубообломочного материала встречаются и редкие отдельные глыбы, беспорядочно разбросанные в толще вмещающих пород.

С начала изучения олистостромов появились расхождения во мнениях об их генезисе [3, 4]. Одни исследователи считали их чисто осадочными, возникшими при подводном оползании гравитационно неустойчивых отложений (этого мнения придерживался и автор термина «олистостром»). Другие ученые в той или иной степени связывали их с тектоническими движениями.

Сейчас установлено, что формирование олистостромов обусловлено действием как обвальнополозневых, так и тектонических процессов. Одни явления ответственны за возникновение масс кластического материала, другие — за их перемещение в пространстве, причем в ряде случаев и формирование обломков, и их переотложение обусловлено действием одних и тех же факторов.

Практически все исследователи признают, что перемещение обломков в олистостромах почти всегда связано с обвальнополозневыми процессами (которые и позволили изначально выделить олистостромы среди хаотических образований иного генезиса). Материал в виде оползней, грязевых потоков или осыпей перемещался вниз по склону, и при этом горные породы дробились и разделялись на матрикс и включения. Тогда же происходило формирование кластического материала и его транспортировка к месту захоронения.

Роль тектонических процессов — косвенная. Они непосредственно не приводят к образованию кластического материала. В лучшем случае тектонический фактор служит спусковым механизмом для возникновения гравитационных явлений, увеличивая уклон дна бассейна седиментации, вызывая сейсмические толчки и рост складок, с крыльев которых сходят оползневые тела.

Тем не менее некоторые особенности строения и взаимоотношения олистостромов с окружающими толщами (частую интенсивную тектоническую переработку олистостромов, их пространственную связь с тектоническими покровами) нельзя объяснить лишь обвальнополозневым механизмом. Многие геологи считают, что по способу формирования грубообломочного материала значительная часть глыбовых толщ относится к тектоническим образованиям, которые связаны с дезинтеграцией и разрушением фронтальных частей покровов при их горизонтальном продвижении в бассейн осадконакопления. Обломки, возникающие за счет тектонического дробления, практически не подвергаются переотложению, а остаются на месте у подножия разрушающегося покровного массива. Под действием силы тяжести кластический материал может перемещаться (оползать, осыпаться) и превращаться в олистостромы в собственном смысле, сохраняя при этом четко выраженные черты тектонического происхождения.



Бодракская экзотическая глыба (показана стрелкой) поперечником около 25 м.

Интереснейшим примером олистострома служит нижнеюрская эскиординская свита Юго-Западного Крыма [5], входящая в состав таврической серии и прослеживающаяся в северо-восточном направлении в междуречье Бодрака—Салгира.

Эскиординская свита имеет глинистый состав и содержит разнообразные гальки, валуны и глыбы инородных пород. Среди обломочных включений присутствуют известковистые песчаники, гравелиты, слюдястые полимиктовые песчаники, кварциты, мраморизованные известняки, алевролиты и другие разности. Наиболее крупная (около 90 м в длину) экзотическая глыба Джиен-Софу (предположительно позднепермского возраста) образует мыс на правом берегу Симферопольского водохранилища. Несколько олистолитов меньших размеров находятся в долине р.Салгир в окрестностях села Лозовое. Группа блоков среднекаменноугольного возраста, из которых наиболее известна Бодракская экзотическая глыба (около 25 м в поперечнике), располагается на правом берегу р.Бодрак у села Трудолюбовка. Глыбы известняков из-за их большой прочности и устойчивости к выветриванию (по сравнению с глинами) выступают в виде скалистых утесов, возвышаясь среди сглаженных склонов.

Во включениях содержится богатая фауна фораминифер, головоногих, брюхоногих и двусторчатых моллюсков, трилобитов, брахиопод, одиночных рогоз, мшанок, криноидей, подтверж-



Обнажение линзы сингенетичных известняков эскиординской свиты на северном склоне горы Патиль (восточная часть Бахчисарайского р-на).



Нижнеюрский аммонит *Ptycharietites* (*Ptycharietites*) sp. из линзы сингенетичных известняков эскиординской свиты в Аммонитовом овраге на Крымском п-ове [6].

дающих различный возраст обломков. Помимо олистолитов в эскиординской свите встречаются и сингенетичные линзы конгломератов, гравелитов, песчаников, брекчированных и органогенно-обломочных известняков. В последних обнаружены брахиоподы, головоногие моллюски (наутилоидеи, аммониты, белемниты), двустворки и морские лилии верхнего синемюра и плинсбахха [6, 7]. Находки аммонитов в матриксе имеют такой же возраст [8].

Следует подчеркнуть, что верхнепалеозойские отложения, встречающиеся на территории Горного Крыма лишь в виде изолированных глыб, известны не только в эскиординской свите, но и в других районах распространения таврической серии. Ряд выходов пермских известняков обнаружен по левому берегу р. Марты в окрестностях горы Кичик-Сараман. Заканчивается полоса экзотических глыб на правом берегу Марты, где на южном склоне горы Кичхи-Бурну располагается



Нижнеюрские спирифериды рода *Spiriferina* из линзы сингенетичных известняков эскиординской свиты на северном склоне горы Патиль [7].

крупный выход хорошо изученных среднепермских известняков [9–12].

О происхождении верхнепалеозойских олистолитов в Горном Крыму высказывались разные предположения. Одни геологи считали, что они залегают в ядрах антиклиналей среди более молодых пород, другие принимали их за структуры, пронизавшие толщу таврических отложений наподобие своеобразных диапиров. Сейчас эти гипотезы оставлены, поскольку при разработке известняков на щебень выяснилось, что олистостромы залегают в виде глыб на поверхности глинистых пород. В настоящее время считается, что отторженцы представляют собой фрагменты древних массивов, которые сползли в зону погружения, где формировалась таврическая серия. В результате они оказались погребенными в толще нижнеюрских глинистых отложений. Область поднятий, которая служила источником включенных в таврическую серию глыб, располагалась, скорее всего, севернее или северо-западнее современного их распространения в районе нынешней окраины равнинного Крыма.

Таким образом, олистостромы — это причудливые природные образования крайне сложного состава, обычно залегающие среди слоистых отложений в виде «чужеродных» геологических тел. В литературе известны многочисленные досадные ошибки, когда возраст матрикса определялся



Среднепермские аммоноидеи из экзотической глыбы Кичхи-Бурну [9].

по ископаемой фауне из перемещенных глыб, которые принимались за коренные породы. Некоторые огромные бескорневые массивы-утесы иногда даже рассматривались геологами в качестве эталонных разрезов ряда стратиграфических подразделений.

Понимание природы, строения и роли хаотических толщ способствует правильному толкованию геологической структуры того или иного региона, позволяет проводить достоверные палеотектонические реконструкции, а следовательно, более обоснованно подходить к прогнозированию и поискам месторождений полезных ископаемых. ■

Литература

1. Геологическое картирование хаотических комплексов. М., 1992.
2. Геосинклиальная и океанская седиментация и вулканизм. М., 1984.
3. *Леонов М.Г.* Олистостромы в структуре складчатых областей. М., 1981.
4. Дополнения к Стратиграфическому кодексу России. СПб., 2000.
5. *Цейслер В.М., Караулов В.Б., Туров А.В., Комаров В.Н.* О местных стратиграфических подразделениях в восточной части Бахчисарайского района Крыма // Известия вузов. Геология и разведка. 1999. №6. С.8–18.
6. *Комаров В.Н., Рыбакова А.В., Чеботарева Я.И.* О первой находке аммонитов рода *Ptycharietites* Spath в эскиординской свите Горного Крыма // Известия вузов. Геология и разведка. 2012. №3. С.3–8.
7. *Комаров В.Н., Волкова Г.Д., Грибовская О.А.* Новые данные о нижнеюрских спириферидях Юго-Западного Крыма // Известия вузов. Геология и разведка. 2014. №6. С.12–18.
8. *Казакова В.Л.* К стратиграфии нижнеюрских отложений бассейна р.Бодрака (Крым) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1962. Т.XXXVII. Вып.4. С.36–51.
9. *Туманская О.Г.* Пермо-карбоновые отложения Крыма. Ч.1. Cephalopoda, Ammonoidea. М.; Л., 1931.
10. *Туманская О.Г.* Пермо-карбоновые отложения Крыма. Ч.II. Пермо-карбоновые трилобиты Крыма. М., 1935.
11. *Грунт Т.А., Новикова М.В.* Позднепермские брахиоподы Горного Крыма // Палеонтологический журнал. 2002. №2. С.32–38.
12. *Мычко Э.В.* Ревизия трилобитов рода *Paraphillipsia* Tumanskaya из пермских олистолитов Крыма // Палеонтологический журнал. 2012. №6. С.1–7.

Времена и люди Георгий Ушаков — вот такая история с географией



М.Г.Ушакова

Институт океанологии имени П.П.Ширшова РАН

И.О.Думанская,

кандидат географических наук

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ
Москва*

В 2016 г. Институт океанологии имени П.П.Ширшова РАН (ИО РАН) отметил свое 70-летие. Этому событию уже были посвящены статьи в №8 и 9 «Природы». Но, кроме того, в этом же году исполнилось 115 лет со дня рождения выдающегося исследователя Арктики — Георгия Алексеевича Ушакова, который с первых дней образования Института океанологии был заместителем директора и возглавлял морскую экспедиционную деятельность. Именно про него академик В.А.Обручев сказал: «По смелости осуществления новых экспедиций в неисследованные места Арктики, по тщательности и обилию полученных научных материалов он является блестящим продолжателем прекрасных традиций русской географической науки. Его географические исследования и открытия в Арктике являются самыми крупными достижениями 20-го века по исследованию полярных стран»*. Огромный опыт экспедиционных работ Ушакова был бесценен для молодого института, в первоочередные задачи которого входила разработка детальных планов тихоокеанских и антарктических экспедиций.

Георгий Алексеевич — личность незаурядная. Он родился в селе Лазарево Амурской области 12 февраля (30 января по старому стилю) 1901 г. В многодетной семье казака Алексея Ушакова было только две книжки — Библия и «Руслан и Людмила» без начала. По ней-то будущий полярный исследователь и научился читать. В детстве часто бывал в тайге. Видел прыжок тигра, ходил на медведя со старшими братьями. Очень хотел учиться и в 11-летнем возрасте отправился в Хабаровск. Помимо учебы в училище приходилось добывать деньги на жизнь, оплачивать койку в ночлежке. Работал помощником парикмахера, продавал газеты

* См. предисловие Ю.А.Израэля к книге: *Г.А.Ушаков. Остров медведей. По нехоженной земле.* СПб., 2001.



Г.А.Ушаков — исследователь Арктики, один из основателей Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН.

Здесь и далее фото из семейного архива Ушаковых

на улицах. В 1916 г. случайная встреча перевернула всю его жизнь. В своей книге «По нехоженной земле» Ушаков писал: «Случай однажды свел меня с интереснейшим человеком, более замечательным, чем все, кого я встречал прежде. Пятнадцати лет я оказался в роли полевого рабочего в отряде В.К.Арсеньева — знаменитого исследователя Уссу-

рийского края, знатока и тонкого ценителя природы, превосходного писателя. Целое лето я провел с этим замечательным исследователем, учась у него разбираться в сложной жизни природы, заслушиваясь по вечерам увлекательными рассказами о путешествиях^{*}. Именно этот человек пробудил в душе Ушакова интерес к Арктике. Арсеньев после встречи в Хабаровске в 1913 г. с Ф.Нансеном сам мечтал об экспедициях на малоизученные арктические острова и заразил этой идеей Ушакова. Можно ли было предположить, что тот мальчишка станет «губернатором» о.Врангеля?

По совету Арсеньева Георгий поступил на географический факультет Дальневосточного университета, который ему не удалось окончить из-за военных действий в регионе. В 1924 г. по рекомендации Арсеньева Ушаков становится действительным членом Российского географического общества.

«Губернатор» острова Врангеля

Остров Врангеля официально был открыт в 1849 г. английским капитаном Г.Келлетом, который дал ему свое имя — Земля Келлета. Но еще в 1823 г. этот остров увидел с материка лейтенант российского флота Ф.Врангель и нанес на карту его координаты и очертания. Добраться же до островных берегов он не смог — дрейфующие льды оказались непреодолимыми. Восстановил справедливость американский китобой Т.Лонг, который опознал очертания острова по описаниям русского лейтенанта и нанес на карту его имя.

Однако эта земля долгое время никого не интересовала, пока не появилась авиация и не возникла проблема поиска выгодных воздушных маршрутов. В 1925 г. (после зимовок на о.Врангеля в 1913–1923 гг. канадских и американских полярников) вышла книга В.Стефансона, в которой он писал: «Мы хотим иметь остров Врангеля для развития воздушных путей, чтобы он был базой для дирижаблей и самолетов точно так же, как Фолклендские острова служат базой для наших кораблей»^{**}. Советское правительство приняло решение как можно скорее создать там постоянное поселение.

На роль начальника экспедиции претендовали не менее 20 человек, среди них и Георгий Ушаков. Тогда ему было всего

24 года. Поражает необыкновенная зрелость в суждениях и действиях этого, еще очень молодого, человека. В конце 1925 г. Ушаков пишет письмо уполномоченному Наркомвнешторга и Госторга РСФСР по Дальнему Востоку: «Мне хочется попытаться доказать Вам, что мое решение глубоко продумано. Я уже давно решил посвятить свою жизнь исследованию нашего Крайнего северо-востока... Наш север и северо-восток не исчерпываются одной Землей Врангеля. Область потребует много сил и времени, и поэтому целесообразно послать человека, у которого жизнь впереди и которого хватит не на одну Землю Врангеля»^{***}.

Письмо возымело действие. Был издан приказ по крайисполкому, первый пункт которого отдавал в распоряжение Георгия Ушакова огромную и тогда еще спорную территорию: «Тов. Ушаков, Георгий Алексеевич, назначается уполномоченным Далькрайисполкома Сов. Раб.-крест., Казач. и Красноарм. Депутатов по управлению островами Северного Ледовитого океана Врангеля и Геральд с местопребыванием на острове Врангеля».

Арсеньев связал Ушакова с Географическим обществом в Ленинграде и рядом академических институтов для получения книг, атласов, рекомендаций по сбору геологических, биологических, этнографических коллекций, а также по составлению первой полной географической карты острова.

В далеком 1926 г. на необитаемый остров высадилась группа из 59 человек, в основном — эскимосов из бухты Провидения с юга Чукотки. Ушаков прожил с этими людьми без связи с материком три года, возглавил первый эскимосский поселок, впоследствии названный Ушаковским. Он

^{***} Ушаков Г.А. Цит. соч.



На о.Врангеля. 1926–1929 гг.

^{*} Ушаков Г.А. Остров метелей. По нехоженой земле. СПб., 2001.

^{**} Stefánsson V. The adventure of Wrangel Island. NY, 1925.



Из жизни эскимосов. Фото Г.А.Ушакова

организовал метеорологические наблюдения, провел топографическую съемку, изучил животный и растительный мир острова, быт и фольклор эскимосов. Много фотографировал, рисовал. «На острове Врангеля, — читаем мы в его записках, — я вплотную узнал Арктику... Внимательно всматриваясь в быт эскимосов, я отбирал все ценное из их многовекового опыта жизни на Севере... Скоро эскимосы стали говорить: «Умилык (начальник) делает все, как эскимос». Это в их понятии было высшей похвалой»*.

Фотографии и рисунки, сделанные на о.Врангеля, — уникальный исторический материал. Эти документы позволили составить объективное представление о жизни населения острова в начале XX в. Но самое главное — то, что Ушаков фактически закрепил этот остров за Россией. Была построена первая полная карта о.Врангеля и организована гидрометеостанция, регулярные наблюдения на которой продолжают уже 90 лет.

На Северную Землю

В 1929 г. Георгий Алексеевич покинул остров, а в апреле 1930 г. его назначили заместителем директора Института по изучению Севера. В ноябре того же года постановлением Президиума ЦИК СССР институт был переименован во Всесоюзный арктический институт (ВАИ), а впоследствии — в Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ).

В 1930–1932 гг. Ушаков совершил главную в своей жизни экспедицию, результатом которой стала первая точная карта архипелага Северная Земля, способствовавшая закреплению этой территории за Советским Союзом.

* Ушаков Г.А. Цит. соч.

Северную Землю осенью 1913 г. открыла гидрографическая экспедиция под руководством Б.Вилькицкого на кораблях «Вайгач» и «Таймыр». Тогда была поставлена цель: пройти вдоль всего побережья Северного Ледовитого океана, от Берингова пролива до Баренцева моря. Обнаружив неведомую землю к северу от Таймырского п-ова, участники экспедиции попытались двигаться на север вдоль ее восточного побережья, но помешала ледовая обстановка. Пришлось повернуть на юг, к мысу Челюскина. В следующем, 1914 г., корабли зазимовали у южного побережья, назвав прилегающую сушу именем царя Николая II.

Таким образом, в 1930 г. никто не знал, что представляет собой Северная Земля. Архипелаг? Остров? Дать ответ на этот вопрос предстояло экспедиции Ушакова, организованной по его плану, в которую входили всего четыре человека: сам Георгий Алексеевич, геолог Н.Н.Урванцев (один из первооткрывателей Норильского рудного месторождения), каюр-охотник С.П.Журавлев (житель г.Шенкурск Архангельской обл., много раз зимовавший на Новой Земле) и восемнадцатилетний радист-коротковолновик В.В.Ходов.

Экспедиция готовилась в Архангельске. Оттуда ее участники на ледокольном пароходе «Георгий Седов» отправились к «нехоженой земле», туда же на ледоколе «Владимир Русанов» спустя два года вернулись.

Что могут сделать за два года четыре человека, живущие в экстремальных условиях на необитаемом острове? Как оказалось, многое. За 152 маршрутных дня экспедиция прошла более 5 тыс. км, открыла четыре больших и множество маленьких островов. Тем самым было доказано, что Северная Земля — это архипелаг. Там установили 15 топографических знаков, которые впоследствии позволили составить детальную карту. Кроме того, были изучены гидрологический и ледовый режимы

в этом районе, установлено, что одна из ветвей Гольфстрима достигает западных и северных берегов архипелага. В 1930 г. начались метеорологические наблюдения на о. Домашнем (базе экспедиции), продолжившиеся в дальнейшем на гидрометеостанции, которую перенесли на о. Голомянный. Здесь наблюдения за погодой ведут до сих пор.

В библиотеке экспедиции была переведенная на русский язык книга французского натуралиста XIX в. Ее автор, путешествуя по Полинезии, познакомился с девушкой, которую звали Маола, что означает «вечерняя заря». В самые трудные и длительные поездки Георгий Алексеевич брал с собой книги. На одном из маршрутов участники экспедиции попали в пургу. Они чуть не погибли, проведя несколько дней в палатке, занесенной снегом. Прочитанная при тусклом свете коптилки история о жаркой Полинезии настолько врезалась в память, что много лет спустя дочь Ушакова назвали именем героини этой книги. Во время экспедиции был накоплен огромный опыт работы в суровых условиях Арктики, разработана система создания продовольственных складов, куда в течение полярных ночей завозили запасы горючего и пищи. Летом проводили картографирование.

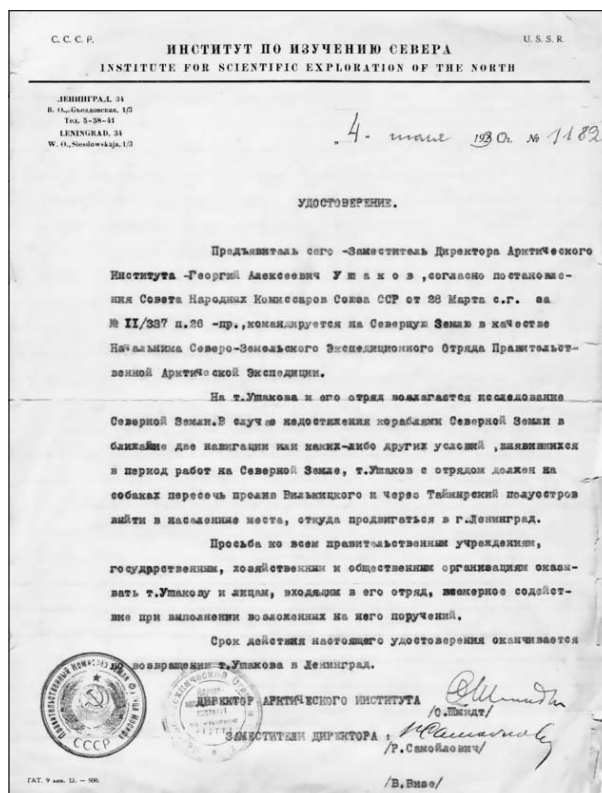
Экспедицию комплектовали в долг. Ее участники пообещали по возвращении сдать Госторгу 100 шкур белых медведей. Они добыли 105 медведей. Таково было минимальное количество мяса, необходимое участникам, чтобы выжить самим и прокормить собак, которые были основным транспортным средством. Экспедиция Ушакова стала последней классической экспедицией на лыжах и собачьих упряжках.

Конечным результатом неимоверного двухлетнего напряжения стала подробнейшая карта архипелага с общей площадью 37 тыс. кв. км. Ее передали 14 августа 1932 г. на борт ледокольного парохода «Александр Сибиряков», который совершал первое в истории Арктики сквозное плавание из Архангельска в Берингово море.

Георгий Алексеевич вспоминает об этом в своей книге: «На палубе было много народу. Во всяком случае, так показалось нам. Может быть потому, что мы два года прожили маленькой группой... Вечером на коротком совещании в каюте В.И. Воронина мы изложили свои наблюдения над режимом льдов в районе Северной Земли. Результаты наших наблюдений позволили поставить вопрос о возможности для «Сибирякова» обойти Землю с севера... Картограф экспедиции сейчас же начал снимать копию с нашей карты. Так ей суждено было найти первое практическое применение*». Так было стерто еще одно крупное «белое пятно» с географической карты земного шара и впервые пройден в одну навигацию Северный морской путь.

После возвращения с Северной Земли в 1932 г. Георгия Алексеевича назначают первым замести-

* Ушаков Г.А. Цит. соч.



Удостоверение, выданное Ушакову в 1930 г. руководством Арктического института.



На Северной Земле с Н.Н.Урванцевым (слева).



Карты архипелага Северная Земля, составленные по результатам экспедиции Ушакова в 1930–1932 гг.

телем начальника только что созданного Главного управления Северного морского пути, которое возглавлял О.Ю.Шмидт.

В качестве уполномоченного Правительственной комиссии по спасению челюскинцев в 1934 г. Ушаков вместе со М.Т.Слепневым и С.А.Леваневским доставляет из США два самолета и руководит



Г.А.Ушаков и О.Ю.Шмидт над картой Севморпути. 1933 г.

спасательными работами в ледовом лагере. На одном из этих самолетов они вывозят больного Шмидта в Америку. Там их приняли президент США Т.Рузвельт и полярные исследователи Американского географического общества.

В 1935 г. Ушаков возглавил первую высокоширотную морскую экспедицию на ледокольном пароходе «Садко» — действительно первую в истории полярного мореплавания в Центральную Арктику, в районы с большими глубинами. Во время этой экспедиции были проведены уникальные комплексные океанологические и геофизические исследования, открыт новый остров, названный именем Ушакова.

ГУГМС, институты и экспедиции АН СССР

В ноябре 1936 г. Центральное управление Единой гидрометслужбы при Наркомате земледелия СССР преобразовали в Главное управление гидрометеорологической службы при СНК СССР (ГУГМС). Первым его начальником был назначен Ушаков. Основной задачей, которую пришлось решать ГУГМС, стало проведение в стране регулярного гидрометеорологического обслуживания основных видов хозяйственной деятельности. В этот период осуществлялись работы по совершенствованию и увеличению наблюдательной сети, внедрялись новые виды наблюдений, в частности аэрологические (для чего организовали пункты радиозондирования в Забайкалье, Хабаровске и Владивостоке), был налажен регулярный выпуск краткосрочных и долгосрочных прогнозов погоды, созданы радиометцентр в Амдерме, Мурманская и Ростовская геофизические обсерватории, Петропавловская морская обсерватория, Читинское и Якутское управления гидрометслужбы. Тогда же вышли из печати первый том Большого советского атласа мира с климатическими картами земного шара и Мировой агроклиматический справочник, начались работы по составлению гидрологических ежегодников. В 1937 г. заработала дрейфующая станция «Северный полюс-1» (СП-1), которая отправляла ежедневные метеосводки в Москву.

В 1935–1941 гг. Ушаков был первым ответственным редактором журнала «Советская Арктика» и председателем редакционного совета издательства Главсевморпути, а в 1937–1939 гг. еще и главным редактором официального печатного органа Гидрометслужбы — журнала «Метеорология и гидрология».

В 1935–1941 гг. Ушаков был первым ответственным редактором журнала «Советская Арктика» и председателем редакционного совета издательства Главсевморпути, а в 1937–1939 гг. еще и главным редактором официального печатного органа Гидрометслужбы — журнала «Метеорология и гидрология».

После работы в ГУГМС (с 1940 г.) Георгий Алексеевич руководил экспедицией Академии наук по Европейской равнине и Башкирской нефтяной экспедицией. В 1943–1945 гг. он был заместителем директора Института прикладной геофизики Миннефти, а в 1945–1948 гг. — заместителем директора Института океанологии, руководил экспедицией в Бразилию по изучению полного солнечного затмения на теплоходе «Александр Грибоедов». Это была первая послевоенная международная экспедиция.

До 1955 г. Ушаков работал в различных должностях в системе АН СССР. В 1950 г. по многочисленным представлениям видных ученых (О.Ю.Шмидта, В.А.Обручева, Н.Н.Зубова и др.) и ведущих научных учреждений страны ему была присвоена степень доктора наук без защиты и написания диссертации. По словам академика Обручева, «диссертация Ушакова на всех курсах Мира».

Георгий Алексеевич ушел из жизни в 1963 г. и по его желанию был похоронен на о.Домашнем в архипелаге Северная Земля. Он хотел навсегда остаться в тех суровых и памятных местах, где прошли самые трудные и яркие годы его жизни.

Наследие и память

Перу Ушакова принадлежат многочисленные статьи и три книги, где в увлекательной форме описаны его арктические экспедиции: «Робинзоны острова Врангеля», «Остров метелей» и «По нехоженной земле». Большинство тиражей было осуществлено издательством Росгидромета. На этих книгах воспитывалось не одно поколение будущих исследователей Арктики. Личности, подобные Георгию Алексеевичу, очень востребованы в наше время. Вызывает восхищение его феноменальная способность добиваться высочайших результатов с помощью минимальных средств. Североземельская экспедиция — вероятно, одна из самых дешевых полярных экспедиций в мире. Судите сами: ледокольный пароход «Георгий Седов» попутно доставил на необитаемый островок сборный дом из бруса, полсотни собак и четырех человек с минимальным запасом питания. Бригада шенкурских плотников за неделю собрала домик. Остальное участники экспедиции все делали сами: электричество для радиостанции — ветряк, питание для собак — мясо моржей, морских зайцев, нерп, белых медведей.

Сотрудники Росгидромета с большим уважением относят-

ся к памяти о Георгии Алексеевиче. На о.Среднем силами Института Арктики и Антарктики восстановлен перенесенный с о.Домашнего дом экспедиции Ушакова. В нем развернута экспозиция материалов об открытии Северной Земли и первых комплексных исследованиях 1930–1932 гг. Участники арктических экспедиций регулярно посещают место захоронения великого полярника. В 2015 г. гидрометеостанция на о. Голомянном присвоено имя Г.А.Ушакова.

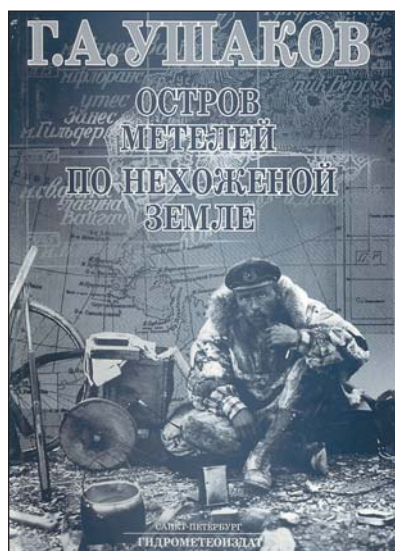
Его имя многократно увековечено на географической карте мира: остров в Карском море; банка Ушакова в Баренцевом море; мыс, коса и поселок на о.Врангеля; мыс, ледник, река на Северной Земле; мыс на о.Нансена на Земле Франца Иосифа; гора в Антарктиде. В бывшей Амурской (ныне Еврейской автономной) области, на родине Ушакова, появился район Ушаковский, его именем названы улицы.

В 1984 г. Географическое общество СССР и государственный заповедник «Остров Врангеля» открыли памятник в пос.Ушаковский. Мемориальные доски установлены на родине исследователя в дер.Лазарево, в Хабаровске и Биробиджане, на Северной Земле, на Доме полярников в Москве. Три океанских корабля носят имя Ушакова: научно-исследовательское судно «Георгий Ушаков», теплоход-рефрижератор «Остров Ушакова» и танкер «Георгий Ушаков».

Георгий Алексеевич был удостоен звания «Почетный полярник». Он кавалер высших орденов СССР. В издательстве «Гидрометиздат» к 100-летию со дня рождения исследователя вышло в свет юбилейное издание книги «Остров метелей. По нехоженной земле». Оно уникально тем, что включает в себя около 100 фотографий.

В последние годы значительно возросло геополитическое значение Арктики в мире. Она играет все большую роль в глобальной политике и экономике, становится объектом территориальных, ресурсных и военно-стратегических интересов ряда государств. С этой точки зрения, роль Ушакова, фактически закрепившего за Россией архипелаг Северная Земля и о.Врангеля, огромна.

И очень важно, что дело изучения Арктики — главное дело жизни Георгия Алексеевича — продолжается. Работает сеть полярных станций, не прервались наблюдения на о.Голомянном и «острове метелей» — о.Врангеля. А значит, радения Ушакова «о нашем приоритете» в Арктике (а именно этими словами он оканчивает повествование «По нехоженной земле») воплощаются в жизнь. ■

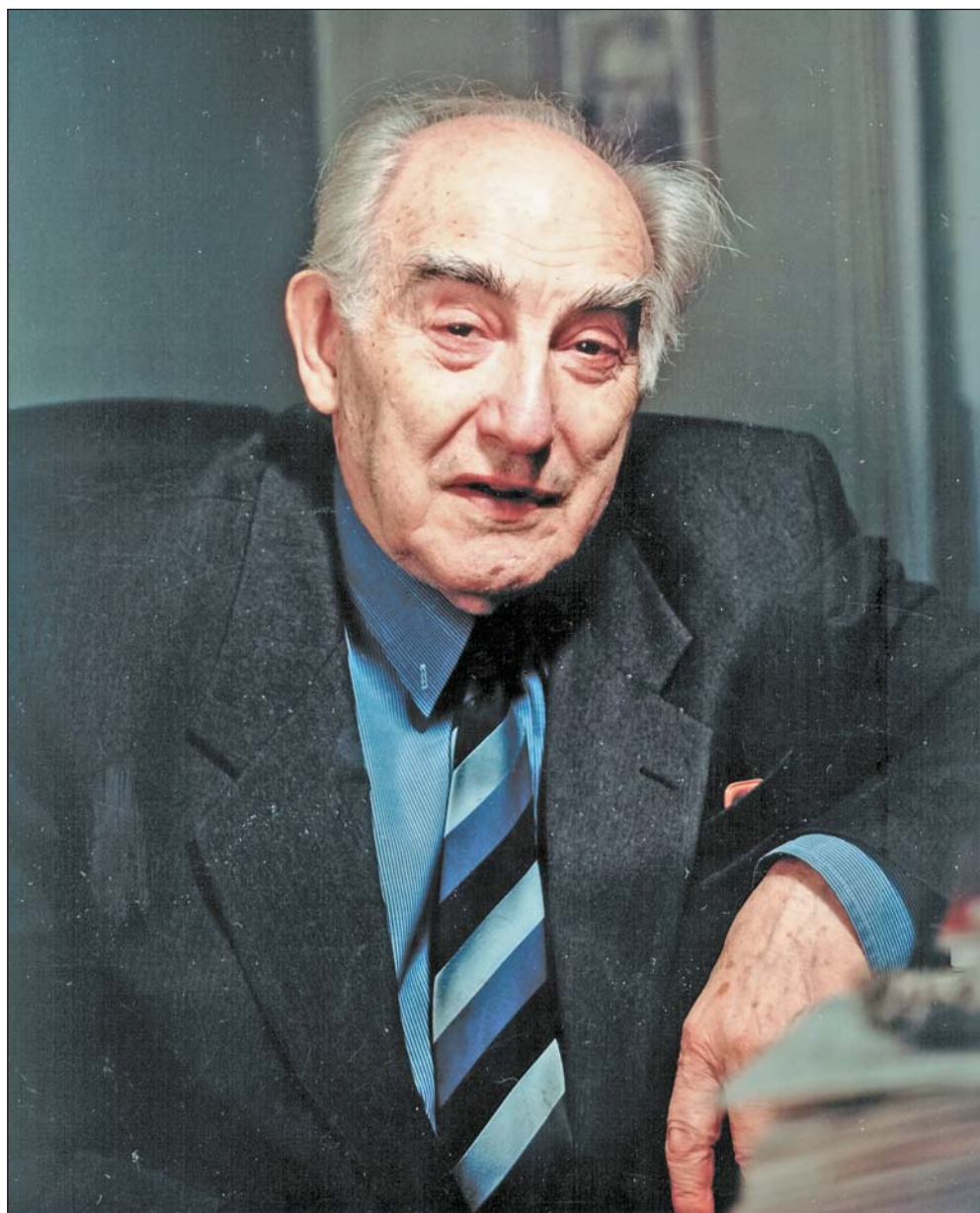


Юбилейное издание книги, выпущенное к 100-летию Г.А.Ушакова.

Времена и люди

Вспоминая Виталия Лазаревича

к 100-летию со дня рождения Гинзбурга



4.10.1916–08.11.2009

Удивительно, но при скромном общем числе отечественных нобелевских лауреатов (хоть наша страна и занимает по этому показателю четвертое место в мире) текущий год оказался юбилейным сразу для двоих. В июле отмечалось столетие со дня рождения Александра Михайловича Прохорова, а в октябре подоспела такая же дата для Виталия Лазаревича Гинзбурга. В последнее поверить трудно: казалось бы, совсем недавно он был еще рядом, и слово «воспоминания» ассоциируется с ним плохо. А они уже написаны, и в немалом количестве. Первая книга памяти вышла в Нижнем Новгороде, городе, с которым у В.Л. многое было связано, уже в 2009 г. (правда, первоначально она планировалась как прижизненное издание), а в 2011 г. Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН (ФИАН) издал внушительный фолиант «Виталий Гинзбург в воспоминаниях друзей и современников». Среди его авторов (а их 61) — ученые, работавшие или встречавшиеся с В.Л., и не только: список включает самых разных людей, от аспирантов до Президента СССР М.С.Горбачева. Добавляя ценные подробности, эти книги побуждают читателей обратиться к первоисточникам: эпистолярное наследие Гинзбурга не ограничивается научными трудами (более чем 20 монографиями и 450 статьями). Есть там и такие сочинения, как «О науке, о себе и о других» (выходило трижды), «О сверхпроводимости и о сверхтекучести. Автобиография», «Об атеизме, религии и светском гуманизме», которые интересны отнюдь не одним физикам.

Столь редкий физик-универсал, теоретик, внесший весомый вклад во многие области физики, создатель крупных научных школ в космофизике, теории распространения электромагнитных волн, физике твердого тела, теории сверхпроводимости, иностранный член девяти зарубежных академий (или аналогичных им обществ), лауреат многочисленных научных премий, академик Гинзбург был и активным гражданином, всегда страстно отстаивал интересы науки и образования. Он не жалел своего поистине драгоценного времени на пропаганду научных знаний, на борьбу с лженаукой, на популяризацию достижений физики — считал это очень важным и потому того заслуживающим, в отличие от многих наших современников. Почти два десятка лет В.Л. был членом редколлегии журнала «Наука и жизнь», и «Природа» тоже не была им обойдена. В нашем журнале вышло больше 20 его статей, первая из которых — «Радиоастрономия» — относится к 1954 г. (№5. С.12–21). Большинство из них — капитальные материалы, которые дают ясную картину какой-либо научной проблемы или фундаментального явления, такого как космические лучи, сверхпроводимость, сверхтекучесть, переходное излучение, отражающую последние те-

оретические представления о предмете и одновременно поданную в доступной для нашего читателя форме. По мере углубления знаний о том или ином феномене В.Л. не ленился обращаться к теме вновь и вновь, полагая необходимым, чтобы читатели всегда были в курсе новых достижений науки. Не считал незначительной он и историю вопроса — любопытно, что одну из подобных статей В.Л. написал в соавторстве со своей дочерью, И.В.Дорман («Природа и происхождение космических лучей: история и современность» (1978. №4. С.10–29)). Есть среди его публикаций и воспоминания о выдающихся ученых — И.Е.Тамме, Л.Д.Ландау, Р.Феймане, Е.М.Лившице, каждое из которых несет яркий отблеск личности автора. Их тексты были по-настоящему литературными, а сами воспоминания проникнуты искренним восхищением и доброжелательностью по отношению к персонажам, сочетают рассказы о конкретных эпизодах с мыслями и обобщениями самого В.Л. Даже отклик на книгу у него превращался в серьезную беседу с читателем о путях прогресса в познании мира («Как развивается наука? Замечания по поводу книги Т.Куна «Структура научных революций»» (1976. №6. С.73–85)). Не будет преувеличением сказать, что и на поприще популяризации действительность Виталия Лазаревича может служить образцом, увы, трудно достижимым при подражании.

29 мая — 3 июня 2017 г. ФИАН готовится провести международную научную конференцию по физике, посвященную столетию Гинзбурга, которая продолжит традицию мемориальных конференций, стартовавших еще в честь Андрея Дмитриевича Сахарова в 1991 г. (подобный симпозиум в память Гинзбурга уже проводился в 2012 г., но новый будет приурочен именно к юбилею). Тематика конференции по широте охвата вполне соответствует диапазону интересов В.Л.: это и астрофизика, и космология, и физика высоких энергий, и квантовая теория поля, и высокотемпературная сверхпроводимость, и нелинейная динамика сложных систем, и др. Программу ее составят преимущественно приглашенные доклады. Надеемся, что маститые участники подхватят знамя В.Л. и помогут нашим читателям понять, как развиваются его идеи сегодня. А пока публикуем несколько оригинальных мемориальных материалов, добавляющих штрихи к портрету юбиляра с трех точек зрения: его ученика, младшего коллеги и члена семьи (тоже физика, разумеется). Последний текст может служить живым свидетельством того, в каких условиях приходилось работать физикам в те годы, как ученые добивались признания. Остается только пожелать современным исследователям подобной целеустремленности и преданности науке. Это качества всегда высоко ценил Виталий Лазаревич.

Живая физика

Времена и люди

В.Д.Кузнецов,

доктор физико-математических наук
Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн имени Н.В.Пушкова РАН
Москва, Троицк

Мне посчастливилось познакомиться с Виталием Лазаревичем Гинзбургом еще во время учебы в Московском физико-техническом институте. С 1973 г. я начал посещать лекции, которые В.Л. читал один раз в год для всех желающих студентов. Одной из целей, которые они преследовали, было привлечь кандидатов для поступления на его кафедру «Проблемы физики и астрофизики». Именно «для поступления»: чтобы туда попасть, необходимо было сдать экзамен, что могли попытаться сделать студенты 3-го курса любого факультета Физтеха. Насколько мне помнится, подобный экзамен для зачисления на кафедру был в то время (и, наверно, остался до сих пор) еще лишь в одном случае — для теоретической группы на базе Института теоретической физики имени Л.Д.Ландау. Поскольку для занятия теоретической физикой требуется особая подготовка, в ходе экзаменов отбираются наиболее способные среди студентов, желающих заниматься этой дисциплиной (а число последних, как правило, превышало число мест на кафедре, и конкурс был всегда). Кафедра Гинзбурга на Физтехе пользовалась особой популярностью, что объяснялось, с одной стороны, широтой ее тематики (включающей астрофизику, космологию, физику твердого тела, в том числе теорию сверхпроводимости, физику плазмы, квантовую теорию поля и др.), но с другой — той привлекательностью, которой В.Л. на своих лекциях надеялся самые современные достижения в разных разделах физики, его демонстрацией того, насколько мощным инструментом исследования является теоретическая физика и как она универсальна в возможности объяснить и предсказать новые явления и эффекты. В нашей группе тогда было пять человек, и мы были распределены по научным руководителям с учетом наших пожеланий, кто чем хотел заниматься. Такое распределение происходило на заседании кафедры под руководством В.Л., и научными руководителями помимо него самого становились активно работающие ученые с мировым именем — Давид Абрамович Киржниц, Александр Викторович Гуревич, Сергей Иванович Сыроватский, Вадим Николаевич Цытович, Андрей Дмитриевич Линде, Леонид

Моисеевич Озерной и др. После смерти моего научного руководителя С.И.Сыроватского в 1979 г. В.Л. взял меня под свою опеку, я стал его аспирантом. Руководителем В.Л. был очень требовательным, ждущим от студента и аспиранта результатов и проявления трудолюбия и интереса к своему делу, что, видимо, исходило из его собственного опыта и простого понимания — без этих качеств достичь чего-либо в науке невозможно. Это ненавязчиво ощущалось постоянно и создавало на кафедре правильно мотивированную обстановку. В.Л. всегда радовался, когда кто-то из студентов или аспирантов кафедры получал интересные результаты, и не упускал случая, чтобы рассказать об этом на семинаре или заседании кафедры, давал возможность выступить на семинаре. Если дела шли успешно, В.Л. предоставлял своим подопечным полную свободу и самостоятельность, позволяя при этом в любой момент обратиться к нему с вопросами, которые никогда не оставались без ответа. В.Л. обеспечил мне все условия для успешной работы в аспирантуре и благополучной защиты диссертации, а также помог с распределением в Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн, где я с 1981 г. прошел путь от младшего научного сотрудника до директора.

Обзорные лекции В.Л. читал не только для студентов Физтеха, но и для другой аудитории. Обучаясь на кафедре, я помогал В.Л. организовывать такие лекции, они были очень популярны, и залы всегда были заполнены до отказа. Где еще за час с лишним можно было получить столько содержательной и интересной информации о разных областях современной физики и астрофизики и самых актуальных проблемах этих наук? Одну из лекций, очень успешную, я помогал организовывать в Политехническом музее, где собралось много народу. Выступать перед студентами и всеми, кто интересовался физикой, В.Л. любил. Особенно, как мне казалось, ему нравилось, когда потом задавались вопросы и возникла неформальная обратная связь со слушателями. Аудиторию располагало к этому то, что он всегда выделял главное и делал это доступно и эмоционально. Мы встречались с живой физикой, понятной, интересной и завлекательной. В.Л. не ограничивал свои лекции каким-то определенным кругом тематик,

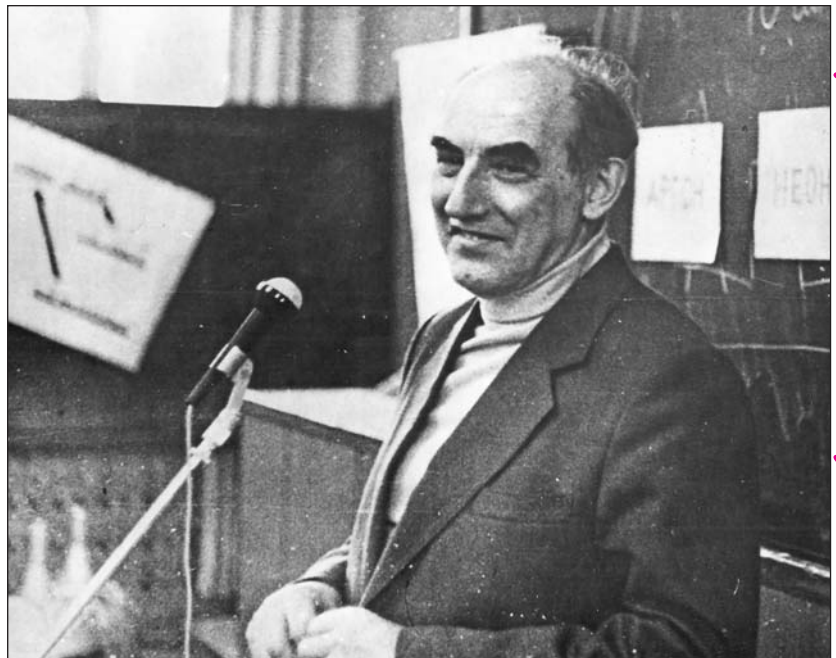
и каждая лекция была новым срезом всего того, что на данный момент было актуально, предмет и содержание лекций постоянно обновлялись, ведь В.Л. как руководитель легендарного Общественного семинара по теоретической физике в Физическом институте имени П.Н.Лебедева Академии наук (ФИАН) соприкасался со всем кругом физических проблем.

Семинары, которые вел В.Л. и которые мы как студенты и аспиранты кафедры обязаны были посещать (и делали это с большим энтузиазмом), были той питательной средой, которая заметно способствовала формированию нас как ученых. О знаменитом семинаре по средам в ФИАН много написано*.

Помимо него я посещал семинар В.Л. по астрофизике теоретического отдела ФИАН и расширенный астрофизический семинар в конференц-зале ФИАН. Вспоминаются горы научных журналов, которые В.Л. приносил на семинар теоретического отдела, многие из журналов приходили лично ему, в том числе из-за границы. Все эти журналы В.Л. накануне просматривал, семинар начинался с обзора литературы, В.Л. брал по очереди журналы, оглашал наиболее интересные с его точки зрения статьи, с некоторыми из них предлагал ознакомиться тому или иному из присутствующих, некоторые статьи просил доложить на следующем семинаре, часто обсуждение возникало прямо на ходу. На все это уходило около получаса, потом кто-то докладывал новости по литературе, и затем уже шли основной научный доклад и обсуждение. Выступить на семинаре Гинзбурга было большой честью, особенно для молодых, и это было очень ответственно. Все работало очень слаженно, атмосфера была исключительно плодотворной и доброжелательной.

В конце каждого года под председательством В.Л. с участием научных руководителей подводились итоги работы студентов и аспирантов кафедры, давались объективные оценки работе каждого, решались вопросы распределения выпускников и защиты диссертаций аспирантов. Во всем этом В.Л. принимал самое деятельное участие, был требовательным, объективным и никогда не давал в обиду тех, кто продуктивно работал и добивался результатов, помогал им с жильем и трудоустройством.

* См., например: Семинар. К 90-летию со дня рождения Виталия Лазаревича Гинзбурга. М., 2006; Физики все еще шутят (1500-й семинар В.Л. Гинзбурга) // Природа. 1996. №9. С.84—102.



Виталий Лазаревич ведет заседание юбилейного (1000-го) Общественного семинара по теоретической физике.

Я благодарен судьбе, что мне посчастливилось пройти эту школу Гинзбурга.

Среди множества самых замечательных качеств В.Л., которым можно бесконечно и совершенно откровенно завидовать, была его увлеченность физикой, физикой без границ — так можно охарактеризовать широту его интересов, которой мы все восхищались и которая составляла для многих из нас благотворную среду обитания. Это была и неиссякаемая его энергия, с которой он реализовал свое призвание в науке и делал все, что приходилось, касалось ли это самой науки или вопросов устройства жилья для научного сотрудника. Это была его четкая заряженность на понимание того, что главное — занятие наукой, а время очень дорого, в связи с чем В.Л. никогда не терпел «литья воды». И его необычайное трудолюбие, причем, как мы могли понять из всего того, что сделано В.Л., не только в занятиях непосредственно самой наукой, но и, например, в перелопачивании гор научной литературы для семинаров, на которых мы с вниманием впитывали его сообщения и комментарии к статьям. Это его ответственность за все, что он делал и всегда доводил до конца; его несгибаемая последовательность и стойкость по принципиальным вопросам — относительно науки, бытия, религии и политики. Это его жизнелюбие и жизнерадостность, благодаря которым, как можно сказать, оглядываясь назад, на нашем веку была эпоха Гинзбурга в физике.

Многое из того, что говорил В.Л. на семинарах, в выступлениях и т.д., врезалось в память. Некото-



В.Л.Гинзбург в Троицке в 2004 г. Нобелевский лауреат был главным гостем конференции «Наука и молодежь в XXI веке», его выступление перед молодыми учеными собрало рекордное по меркам нашего городка число слушателей.

рые его, иногда повторяемые, положения могли служить путеводителем — «сначала ничего не понятно, постепенно белые пятна заполняются, потом происходит прорыв и начинаешь понимать» и др. Именно поэтому В.Л. считал обязательным для студентов ходить на семинары, внимательно слушать доклады и стараться понимать и заполнять белые пятна. К студентам и аспирантам В.Л.,

повторюсь, относился очень ответственно, особенно когда видел результат и стремление к работе; всячески помогал всем, кто хотел и умел учиться и работать; высоко ценил в людях трудолюбие, стремление к знаниям и совершенству.

Замечательной чертой В.Л., оставившей след в памяти, была его любовь к своим учителям и тем, с кем его сблизила судьба по работе, что постоянно прослеживалось в его выступлениях и комментариях на семинарах. Мы очень много узнавали из этих рассказов, которые возникали, как правило, по поводу конкретных научных вопросов и иногда сопровождались интересными историями — научными и житейскими, о которых мы иначе бы и не услышали. Особенно запомнились подчеркнутые добрые и восхищенные рас-

сказы о Леониде Исааковиче Мандельштаме, Игоре Евгеньевиче Тамме и Льве Давидовиче Ландау.

Все мы были свидетелями того, что В.Л. всегда был активным ученым и гражданином, открыто высказывавшим и отстаивавшим свое мнение, борющимся с мракобесием и лженаукой. Не раз Виталий Лазаревич вставал на защиту ученых, как это было, например, с красноярским ученым Валентином Владимировичем Даниловым. Мне тогда довелось стать свидетелем того, как В.Л. вместе с правоведем академиком Владимировичем Николаевичем Кудрявцевым (ныне тоже, увы, покойным) пытались спасти коллегу. Не многие могли себе такое позволить, и нельзя не помнить и не ценить таких поступков В.Л., когда он брал на себя этот тяжелый груз. Он всегда интересовался судьбой подопечных и работающих с ним сотрудников, и при встречах вопрос «Как дела, как вы там?» для многих был знаком внимания и хорошего расположения В.Л. и всегда вызывал самые добрые чувства.

2004 год. Троицк. Одно из последних публичных выступлений В.Л. перед молодыми учеными — участниками конференции «Наука и молодежь в XXI веке». На встречу с Нобелевским лауреатом пришло много людей, не только молодых. А над Гинзбургом время было не властно. Мне вспомнились его лекции студентам Физтеха тридцатилетней давности. Так же интересно, так же увлеченно, много вопросов о живой физике, о науке, о жизни. Отснятый Троицким телевидением фильм этого выступления В.Л. остался ярким тому свидетельством и своеобразным памятником истории. ■

Научное общение как работа и жизнь

Вит.В.Кочаровский

доктор физико-математических наук

Техасский А&М университет, США

Институт прикладной физики РАН

Нижний Новгород

член-корреспондент РАН Вл.В.Кочаровский

Институт прикладной физики РАН

Нижний Новгород

Настоящий ученый живет наукой практически всюду, в любых условиях и в любое время суток – на работе и на семинарах, за обедом и на вечеринках, в коридорах и на улице, в поездках на конференции или просто на природу. Он постоянно – осознанно и неосознанно – обдумывает волнующие его научные проблемы: наедине с собой, в дискуссиях с коллегами, в разговорах с друзьями и знакомыми. В результате научная работа (совсем не легкая) превращается для человека в счастливую жизнь. Таким человеком был Виталий Лазаревич Гинзбург, который, возможно, незаметно для себя, как большинство выдающихся ученых, обогащал окружающих научным задором и идеями.

Мы познакомились с В.Л. почти 40 лет тому назад, когда он был уже академиком АН СССР, заведующим теоретическим отделом Физического института АН и одним из известнейших физиков мира, а наша научная жизнь только начиналась в качестве стажеров-исследователей и аспирантов Института прикладной физики АН в г. Горьком (ныне Нижнем Новгороде). Его бывший аспирант, наш научный руководитель (теперь уже давно тоже академик РАН) Владимир Васильевич Железняков предложил нам тогда в качестве упражнения для будущих теоретиков протудировать «от корки до корки» книгу В.Л.Гинзбурга «Теоретическая физика и астрофизика», готовившуюся к переизданию (последнее издание выпущено «Наукой» в 1987 г.). Мы проработали книгу и заново вывели большинство имевшихся в ней формул, затем, как полагается, составили список замечаний и исправлений, а потом, набравшись храбрости, предложили В.Л. внести несколько существенных изменений и дополнений. После небольшого обсуждения В.Л., к нашему изумлению, почти со всеми предложениями согласился и даже предложил сделать доклад по одной из решенных при этом задач на своем знаменитом Общественном семинаре по теоретической физике в ФИАН.

До этого на данном семинаре мы уже бывали и даже один раз выступали, рассказывая об одной из совместных с Железняковым работ по проблеме линейного взаимодействия волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Поэтому у нас уже имелись представления о ярком стиле научного общения В.Л. с ученым людом, о его широкой эрудиции и способности ставить глубокие вопросы в самых различных областях физики. Однако только после неоднократного общения с В.Л. мы осознали необходимость и, надеемся, в какой-то мере научились совмещать качественную простоту понимания физических проблем с тщательностью их детального анализа. Без непосредственного научного общения с теоретиками уровня В.Л. искусством такого совмещения трудно овладеть, даже изучая великолепные образцы анализа в работах В.Л., в частности, в указанной книге.

Для полноты впечатления приведем три темы тех обсуждений.

— *Перенос электромагнитного излучения в неоднородных анизотропных, вообще говоря, неравновесных средах.* Эта чрезвычайно многогранная задача встречается буквально на каждом шагу, поскольку именно из ее решения физики и астрофизики узнают о явлениях, определяющих и сопровождающих возникновение и доставку до регистрирующих приборов электромагнитных волн всевозможных диапазонов (от радио до гамма) в различных экспериментах, в окружающей природе и космосе. В.Л. многое знал в данной области и рассказывал об этом, но еще больше интересовался тем, в каких направлениях можно продвигаться в таких исследованиях, какие новые подходы или неожиданные приближения можно использовать, какую информацию и насколько надежно можно получить о неоднородной магнитоактивной плазме в далеких астрофизических объектах. Его интерес был не последним из факторов, поддерживавших нас нескольких лет в теоретическом изучении подобных задач. Сказанное относится и к другим задачам, перечисленным ниже.



Виталий Лазаревич Гинзбург вместе с директором Института прикладной физики РАН Александром Григорьевичем Литваком (слева) в Нижнем Новгороде.

— Проблема разделения плотностей, потерь и потоков энергии различных волн в диспергирующих усиливающих средах. Ряд содержательных утверждений здесь можно сделать на общем феноменологическом уровне, но многое проясняется только на конкретных моделях сред, состоящих либо из нейтральных частиц, например из квантовых двухуровневых атомов или из квазиклассических слабоангармонических молекул-осцилляторов, либо из заряженных частиц нескольких сортов с различными анизотропными неравновесными функциями распределения. Мы обсуждали ряд методически и практически важных случаев и даже добрались до нюансов, неизвестных специалистам и достойных публикации. В.Л. был среди основателей горьковской (нижегородской) волновой научной школы в послевоенные сороковые-шестидесятые годы, и нам показалось, что ему становилось особенно приятно, когда в продвинутой линейной и нелинейной теории волн восьмидесятых годов он находил отголоски своих ранних исследований и размышлений. Особенно ему понравился результат о волнах поляризации с отрицательной энергией, излучательная неустойчивость которых лежит в основе и объясняет классический характер коллективного спонтанного излучения ансамбля двухуровневых атомов, которое исходно было рассмотрено Робертом Дикке как сугубо квантовое явление и названо им сверхизлучением.

— Феноменологическая квантовая электродинамика сплошных активных сред. В.Л. часто и со знанием дела оперировал квантовыми понятиями, однако при любом удобном случае любил

подчеркивать и явно использовал классическую сторону рассматриваемых явлений. Примером служит его известная статья о классической природе спонтанного излучения, опубликованная в журнале «Успехи физических наук» в 1983 г. Поэтому он с удовлетворением встретил развитый нами подход квантования нормальных волн (мод) в активной среде, находимых в рамках классической физики и используемых для анализа квантовых проявлений развивающихся там неустойчивостей. На основе этого подхода удалось решить ряд квантовых задач, в том числе о коллективном спонтанном излучении атомного ансамбля, не поддававшихся анализу в рамках стандартной квантовой электродинамики отдельных атомов и парциальных электромагнитных волн. Аналогичный прием оказался уместен

и в таких экзотических задачах, как исследование коллективной аннигиляции электронов и позитронов в сверхсильном магнитном поле и анализ моделей квантовой гравитации, инфляции Вселенной и динамики гравитационно-полевых систем, часть степеней свободы которых обладает отрицательной энергией.

Вскоре нам довелось обсуждать с В.Л. и некоторые задачи из готовившейся к печати его и В.Н.Цытовича книги «Переходное излучение и переходное рассеяние (некоторые вопросы теории)», вышедшей в издательстве «Наука» в 1984 г. Здесь мы предложили вывод ряда результатов на основе сферических запаздывающих и опережающих потенциалов Лиенара—Вихерта, и было очень приятно обсуждать с В.Л. физический смысл тех или иных особенностей и частных случаев полученных решений. Конечно, иногда В.Л. бывал к нам снисходителен и из-за своей занятости не успевал рассказать или объяснить все, что следовало, однако суть явления он старался донести отчетливо. При этом ни тогда, ни во время многочисленных обсуждений в последующие годы мы ни разу не почувствовали какого-либо оттенка превосходства или снобизма. В.Л. жил научными обсуждениями, и их объективное содержание затмевало второстепенные оттенки человеческих отношений, не существенные по крайней мере во время наших встреч.

Возвращаясь к семинару по теоретической физике в ФИАН, на котором нам еще не раз удавалось пообсуждать с В.Л. актуальные физические вопросы, следует отметить доброжелательность, с которой он относился к людям, искренне раз-

вивавшим новые идеи, пусть даже казавшиеся на первый взгляд экстравагантными. Конечно, В.Л. воспринимал многие результаты критически, и обязательным условием содержательного разговора с ним была достаточная квалификация этих людей и серьезная предварительная проработка высказываемых ими идей. Зная это обстоятельство, мы заранее готовились к подобным обсуждениям (включая, разумеется, те немногие случаи, когда сами выступали на семинаре В.Л.). На память приходят, например, обсуждения результатов о неустойчивости основной системы с дискретными энергетическими уровнями, помещенной вблизи поверхности активной среды, или механизма брэгг-кулоновской высокотемпературной сверхпроводимости. В.Л. не сразу принял эти результаты, но со временем признал их интересными и даже ссылаясь на них в подходящих случаях.

Мы высоко ценили семинар В.Л. и предоставлявшую там возможность обсуждения научных вопросов с ним, порой за счет курьезного жертвования чем-то другим. Так, чтобы не опоздать на один из наших докладов в результате остановки поезда по дороге из Нижнего Новгорода в Москву где-то около Владимира из-за поломки моста, мы взяли такси от Владимира до ФИАН, что привело к утрате существенной части нашей скромной аспирантской зарплаты. Другой случай — это назначение нашего выступления на семинаре в ФИАН на тот же день, на который был назначен наш доклад на конференции в Минске; разумеется, мы пропустили этот день конференции, слетав на самолете из Минска в Москву и обратно ради разговора с В.Л., за что получили выговор от руководителя делегации нашего института на той конференции.

Много позже, в конце 1990-х — начале 2000-х годов, при встречах с В.Л. как в Москве, так и в других местах, например в Нижнем Новгороде, куда он иногда приезжал, или в Техасе, куда мы его пригласили на месяц в качестве приглашенного профессора Техасского А&М университета в 2001 г., мы в основном обсуждали насущные научные проблемы и опыт научной работы. В.Л. с восхищением отзывался о Льве Давидовиче Ландау, общение и работа с которым очень много ему дали. В то же время В.Л. считал, что ему повезло в том, что его руководителем был Игорь Евгеньевич Тамм, очень деликатный и широко образованный человек, сумевший вселить в него уверенность в способности стать физиком-теоретиком.



В.Л. Гинзбург на конференции «Рубежи нелинейной физики», 2004 г. Слева от него — Виталий Владиленич, справа — Владимир Владиленич Кочаровские.

Относительно стиля научной работы В.Л. считал продуктивным применять иногда тактику «мозгового штурма», чтобы «подмолотить что-то новое», и любил делать промежуточную остановку в решении какой-либо проблемы путем написания короткой содержательной статьи. Последнее давалось ему очень легко. После чего он зачастую переключался на другую проблему. Интересно, что во время визита в Техасский А&М университет его рабочий день обычно начинался с похода в книжный магазин за свежей периодикой и посещения университетской библиотеки. Затем на физфаке и за обедом он обсуждал со всеми последние научные новости. В свободное время В.Л. любил выбраться на природу или посмотреть достопримечательности, но в большинстве случаев общение как начиналось, так и заканчивалось обсуждением научных проблем, поскольку на все остальное не хотелось тратить время ни нам, ни, казалось, ему.

Так получалось и на последней большой международной конференции с его участием — «Рубежи нелинейной физики», организованной Институтом прикладной физики РАН летом 2004 г. и проходившей на теплоходе «Георгий Жуков», на котором мы плыли по маршруту Нижний Новгород — Санкт-Петербург вместе с В.Л. и его женой Ниной Ивановной. За полгода до этого ему была присуждена Нобелевская премия по физике, однако в дискуссиях он оставался по-прежнему доступным, внимательным и энергичным. Мы обсуждали волновавшие нас задачи, например, о роли нейтральных частиц в космических гамма-всплесках, о так называемом конверсионном механизме проис-



Доклад Гинзбурга на конференции «Рубежи нелинейной физики» — последней большой международной конференции с его участием.

хождения космических лучей сверхвысоких энергий, о предсказании аннигиляционно-циклотронных линий в гамма-излучении нейтронных звезд, о взрыве нейтронной звезды в результате аккреции нейтронов на попавшую в ее сердцевину «первичную» черную дыру, о сверхизлучающих лазерах и др. Эти беседы, как и в прошлые времена, выливались в наши с соавторами краткие статьи, но в их написании В.Л. никогда не участвовал. Не будучи автором исходной идеи, он просто наслаждался красотой физики и пытался ответить на интересующие его вопросы.

Тогда на теплоходе возраст не позволял В.Л. детально вникать в конкретные задачи. (По поводу Нобелевской премии он шутил, что важно не только получить физический результат, не менее важно дожить до его признания Нобелевским комитетом. По поводу планов на будущее часто отвечал: «ЕБЖ – если будем жить».) Однако за общим полем развития физических идей В.Л. следил профессионально и продолжал свой гамбургский счет основных проблем физики (см., например, его книгу «О науке, о себе и о других», 2003 г.). Нам никогда не забыть, как он настаивал на том, чтобы мы оставили все второстепенные задачи и посвятили себя развитию ряда понравившихся ему наших идей

для решения наиболее значительных из числа нерешенных проблем физики, таких как создание микроскопической теории критических явлений в фазовых переходах второго рода, квантовой теории гравитации как системы с модами, обладающими отрицательной энергией, теории самосогласованных статических и динамических структур в бесстолкновительной магнитоактивной плазме, и ряда других проблем, которые входили в его список «основных». Вспоминая молодость, В.Л. порой начинал или заканчивал беседу словами «С комсомольским приветом!». Кстати, список основных проблем физики, составлявшийся и обновлявшийся В.Л. более 30 лет, продолжает использоваться и обсуждаться в настоящее время, конечно, в модифицированном виде (см., например, обзор: *Allen R., Lidstrom S. Life, the universe, and everything – 42 fundamental questions // Physica Scripta. 2017* (в печати)).

К сожалению, советам В.Л. удастся следовать лишь отчасти, хотя в некоторых из указанных направлений нам удалось продвинуться и мы искренне верим, что он был бы этому рад. Мы благодарны В.Л. за то, что он повлиял на нашу научную жизнь своими относительно непродолжительными разговорами о физике. И еще за то, что своим примером многократно показывал, как надо бороться за чистоту науки, против всякой лженауки и мракобесия. Необходимость этой борьбы входила в его представления об этике поведения ученого (на работе и в жизни вообще).

Мы, как и В.Л., не можем спокойно пройти мимо преднамеренного искажения науки, использования ее в неблагоприятных целях и при любой благоприятной возможности рассказываем непрофессионалам об истинных научных ценностях и о нашей любимой физике. Примером, пусть печальным, могут служить недавние суды, в которые нас втянуло руководство одной из фирм, устроившее наглую рекламу своего товара с использованием имени В.Л. на основе якобы имевшего место одобрения стоявшей за ней лженауки фондом В.Л. Гинзбурга. Победа в судебном процессе отняла немало нашего времени от решения основных проблем из списка В.Л., но была достигнута по существу его методами борьбы с научной фальсификацией и безграмотностью, в частности, путем чтения лекции судьям и участникам процесса о физических основах явлений, вызываемых продукцией упомянутой фирмы. Хочется верить, что чистое имя В.Л. будет долго жить среди людей и всегда найдутся ученые, счастливые в научной жизни и умеющие ее поддерживать и защитить. ■

На научной орбите в эпоху Гинзбурга

Л.И. Дорман,

доктор физико-математических наук

*Центр космических лучей и космической погоды (Тель-Авивский университет,
Израильское космическое агентство, Исследовательский институт Голан, Кацрин)
Израиль*

*Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова РАН
Москва, Троицк*

Чтобы было понятно дальнейшее, расскажу немного о себе. Я родился в 1929 г. как последний, шестой ребенок в семье брацлавского ребе в Винницкой области на Украине. В 1932 г., во время страшного голодомора, семья перебралась в Москву. В 1941 г. часть семьи эвакуировалась в Магнитогорск, где мне пришлось работать токарем и плотником. Но тяга к знаниям была непреодолимой, а занятие наукой — очень почетным, и после возвращения из эвакуации в 1944 г. я сдал экстерном необходимые экзамены, став в 1945 г. студентом физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Весной 1949 г. я пошел вместе с Борисом Болотовским к профессору Евгению Львовичу Фейнбергу просить его быть нашим руководителем дипломных работ. Он поручил нам на летних каникулах изучить около 20 больших статей из зарубежных журналов. К сожалению, мы каникулы прогуляли и задание не выполнили. В результате нам пришлось выбирать других руководителей. Но та встреча с Евгением Львовичем имела для меня судьбоносное значение.

В декабре 1950 г. я окончил с красным дипломом кафедру теоретической физики ядерного отделения физфака. Мой руководитель диплома профессор Дмитрий Иванович Блохинцев предполагал меня распределить в почтовый ящик 49, которым он руководил (так назывались тогда совсекретные объекты, занимавшиеся Атомной проблемой — разработкой и созданием ядерного оружия). Но КГБ не дал на это разрешения. Оказалось, что в том году такая же участь постигла всех евреев-выпускников ядерных отделений в университетах и институтах Москвы и Ленинграда. Я тяжело это переживал не только потому, что лишился возможности реализовать свою мечту — работать в области ядерной физики, но и потому, что впервые столкнулся с дискриминацией по национальному признаку. К счастью, мы недолго были безработными, ибо вскоре нас распределили рабо-

тать по новой проблеме: «Космические лучи». Эта тематика в то время тоже была совсекретной (как один из разделов ядерной физики), но не в такой сильной степени, как атомная. Возглавляли проект профессор Сергей Николаевич Вернов и Николай Васильевич Пушков, директор Научно-исследовательского института земного магнетизма (который потом стал называться ИЗМИРАН), где мы должны были научиться работать с ионизационными камерами и счетчиковыми телескопами, а также прослушать много дополнительных курсов по космическим лучам, астрофизике и геофизике. Профессор Фейнберг возглавлял теоретическую часть Проекта.

Я увлекся теоретическими проблемами, связанными с вариациями интенсивности космических лучей, и разработал полную теорию метеорологических эффектов для наблюдений на различных высотах в атмосфере и глубинах под землей, метод функций связи между первичными вариациями в космосе и вторичными на земле, спектрографический метод разделения вариаций различных классов. Все это я применял к данным наблюдений и получил много интересных результатов. Публиковать и представлять на конференциях эти результаты стало возможным только начиная с 1954 г. (после того, как с темы космических лучей сняли секретность).

К 1954 г. основа диссертации была готова, кандидатские экзамены по истории КПСС и иностранному языку благополучно сданы, и мой руководитель Фейнберг назначил кандидатский экзамен по специальности с участием Моисея Александровича Маркова и Виталия Лазаревича Гинзбурга. Это была моя первая встреча с В.Л., в ходе которой он проявил большой интерес и задal много глубоких вопросов (его я встречал и раньше, но как бы издали). Я получил одобрение В.Л. и его предварительное согласие быть одним из моих оппонентов.

Уже в начале 1955 г. диссертация была полностью готова. Я сделал по ней несколько успешных докладов в ФИАН и в МГУ. По всеобщему мнению

это оказалась фактически не кандидатская, а докторская диссертация. Защита должна была пройти в ФИАН. Представляя на ученом совете мою диссертацию, Фейнберг сообщил, что ведущие специалисты по космическим лучам считают необходимым присудить Дорману сразу докторскую степень. Поэтому он предложил назначить трех оппонентов, докторов наук, как для защиты докторской диссертации.

Защита состоялась 16 мая 1955 г. Все три оппонента — Виталий Лазаревич Гинзбург, Натан Леонидович Григоров и Борис Соломонович Пикельнер — высказались за то, чтобы мне сразу присудить докторскую степень; это было поддержано всеми выступавшими. Однако была одна серьезная формальная трудность. Дело в том, что по правилам ВАК для докторской степени требуется публикация минимум 20–25 статей в престижных журналах или хотя бы одной монографии. Ученый совет перед тайным голосованием предложил мне на выбор два варианта: я снимаю диссертацию с защиты, публикую монографию и затем по ней защищаю докторскую (без написания диссертации) с теми же тремя оппонентами, или мне присуждают кандидатскую степень и рекомендуют диссертацию к публикации в виде монографии в престижном издательстве «Гостехтеориздат», а затем я защищаю докторскую (без написания диссертации) по книге. Я выбрал второй вариант, так как знал, что при этом моя зарплата сразу возрастет в 3,5 раза, я смогу отказаться от работы в школе (тогда я подрабатывал учителем физики, астрономии и немецкого языка в Краснопахорской вечерней школе), и это позволит мне полностью сконцентрироваться на монографии.

Я ушел из школы 1 сентября 1955 г. и сосредоточился на работе над монографией. Был заключен контракт с издательством «Гостехтеориздат» на 15 авторских листов, в соответствии с объемом диссертации (свыше 300 страниц машинописного текста). Вскоре ВАК утвердила мою ученую степень, я получил диплом и принес его в отдел кадров для подготовки приказа директора о повышении мне зарплаты как младшему научному сотруднику со степенью кандидата наук (с 800 до 2700 рублей в месяц). И тут Пушков, которого я очень уважал, нанес мне совершенно неожиданный удар: он не подписал этот приказ, а издал другой, по которому я перевожусь с должности младшего научного сотрудника на должность инженера с прежним окладом 800 рублей в месяц. Таким образом моя ученая степень в смысле зарплаты была как бы аннулирована.

Я был ошарашен, мое материальное положение (на моем иждивении была мама, которая уже не могла работать, а пенсии в те годы было добиться почти невозможно) становилось катастрофическим (тем более, что из школы я уже ушел). Я долго думал, что делать, советовался с мамой, старшим братом, Фейнбергом. Как потом выясни-

лось, во всей Академии наук я был, наверное, единственным, кто не получал надбавки за ученую степень. В чем дело, я знал — у Пушкина был свой, особый взгляд на научного сотрудника: чем хуже тот живет материально, тем меньше отвлекается на посторонние дела и лучше работает. Я настолько уважал Н.В., что после долгих раздумий решил не идти на конфликт с ним, а принять его решение спокойно, как должное.

Я работал день и ночь, спал по несколько часов в сутки, много курил (по две пачки в день) и сильно похудел (при росте 173 см весил всего 55 кг). Неделями не уходил с работы, спал в кабинете, положив голову на стол. Иногда маме удавалось уговорить меня пойти домой поспать нормально, а еду она приносила мне в институт. Не покидая институт по многу дней, номерок я не перевешивал, и табельщица подала рапорт, что я прогуливаю. Пушков объявил мне строгий выговор за прогулы. Я пошел к нему и объяснил, что на самом деле никаких прогулов не было, просто я не уходил из института, увлеченный работой. Пушков выговор отменил и спросил меня, понимаю ли я теперь, почему он перевел меня на должность инженера? Я ответил, что понимаю.

Уже к февралю 1956 г. книга была в основном готова. По сравнению с диссертацией объем вырос в два раза, но издательство «Гостехтеориздат» согласилось на увеличение объема до 30 авторских листов. И тут, около 4 часов утра по московскому времени 23 февраля 1956 г., произошла самая грандиозная вспышка солнечных космических лучей. К счастью, я в это время был в лаборатории и проверял работу ионизационной камеры (как ответственный за непрерывную регистрацию космических лучей). Посмотрев в оптическую приставку, я обнаружил удивительно быстрое движение нити вверх: через короткое время прибор зашкалило. Я его на мгновение заземлил, но нить опять быстро полезла вверх, пока прибор снова не зашкалило. Так я повторял много раз. В результате мне удалось получить уникальные данные об этой вспышке в течение всего удивительного процесса (на остальных станциях мира приборы зашкалило и информация об основной части явления была утеряна, причем во многих случаях лаборанты сами отключили приборы, решив, что они испортились) и на их основе быстро оценить основные параметры явления и энергетику вспышки. В «Литературной газете» за 8 марта 1956 г. появилось большое интервью со мной об этой вспышке и о солнечных космических лучах. Это была сенсация! Меня стали приглашать во многие министерства, а однажды в институт приехала за мной машина КГБ и я читал лекцию в их печально знаменитом здании на Лубянке. Академик Лев Давидович Ландау пригласил меня на свой знаменитый семинар в Институте физических проблем. Тогда я прочел много лекций об этой вспышке и о космических лучах в различных институтах и учреждениях.

Я попросил издательство разрешить добавить большой новый материал по солнечным космическим лучам, полученный на основе данных о вспышке 23 февраля, и отсрочить дату сдачи рукописи на полгода. Мне разрешили. Летом 1956 г. книга была сдана в печать. Объем превысил первоначально намеченный в три раза (около 45 авторских листов), но поскольку рукопись получила прекрасные отзывы рецензентов, издательство и с этим увеличением объема согласилось. У меня как будто свалилась гора с плеч, и я полетел в Крым, в Алушту, где в это время отдыхал Фейнберг с семьей. Он потом рассказывал, что я был такой худой и счастливый, что весь светился. Там я подключился к туристической группе, отправившейся в многодневный поход по дремучим лесам горного Крыма. Однако через несколько дней нас всех арестовал КГБ. Дело в том, что в это время Хрущев и Тито решили подружиться и для них была устроена охота в этих лесах, конечно, строго засекреченная. Мы слышали выстрелы, лай собак, но не могли понять, что происходит: здесь был заповедник и охотиться строго запрещалось. Непонятно, как нам удалось пройти незамеченными через кордон и оказаться внутри зоны охоты. Обнаружили нас лишь через несколько дней. У руководителя был список туристов, заверенный печатью турбазы, и их всех отпустили после приезда полковника КГБ, но меня, отсутствующего в этом списке, продолжали допрашивать. С какой целью примкнул к группе, не шпион ли я? У меня оказалось удостоверение Академии наук СССР (поскольку в это время я уже был заместителем председателя Всесоюзной секции по вариациям космических лучей). Но это не помогло, а паспорт я оставил у Евгения Львовича в Алуште. К счастью, на следующий день подъехала еще группа офицеров, и один из них был на моей лекции на Лубянке. Он узнал меня и рассказал об этом полковнику. По их просьбе я рассказал, чем занимаюсь, о космических лучах, о завершённой книге. Было много вопросов, делать им было явно нечего (Хрущев и Тито в этот день не охотились, занимались переговорами). Потом они пригласили меня пообедать, а затем отправили на машине КГБ в Алушту. После этого я еще неделю погостил у Евгения Львовича.

Из Крыма я переехал на корабле в Сухуми, где прибил к киногруппе студии «Грузия-фильм», снимавшей видовой фильм об Абхазии. Я показал мое актерское удостоверение. Рассказал, что в студенческие годы снимался в маленьких ролях (с переодеванием, но без слов) на «Мосфильме» в таких известных картинах как «Мичурин», «Русский вопрос», «Сказание о земле сибирской», «Сталинградская битва» и др. Меня включили в небольшую группу артистов, изображавших туристов. Почти месяц мы лазили по горам, спускались к прекраснейшим водопадам, с риском для жизни переправлялись через бурные горные реки, а нас

в это время операторы снимали с разных ракурсов. Однажды решили снять осетинскую свадьбу. По сценарию хозяева должны были пригласить нас принять участие в свадьбе, а я должен был пригласить на танец девушку-осетинку и, пораженный ее красотой, мгновенно в нее влюбиться и уже во время второго танца ее поцеловать. Девушка действительно оказалась красавицей, студенткой Тбилисского университета, она согласилась участвовать в этой инсценировке. Гуляли мы на свадьбе почти до утра, а когда пошли спать, в наш дом прибежала эта девушка вся в слезах. Оказывается ее жених, страшно ревнивый, принял все за чистую монету и, несмотря на ее объяснения, собрал своих друзей; разгоряченные вином, они точат кинжалы и собираются отомстить обидчику. Она умоляла нас как можно быстрее уехать. Пришлось срочно собираться и всей группе улететь оттуда. Затем был снят наш переход через горный перевал и путешествие по Сухуми, посещение обезьяньего питомника, катание на катерах по Черному морю. Я получил огромное удовольствие, а мне за это еще и заплатили (по 70 рублей за каждый съемочный день). Я почти восстановил свой вес, приехал в Москву отдохнувший, полный сил и энергии.

В начале 1957 г. была уже готова первая корректура книги. В это время Фейнберг поехал с нашими докладами в Италию на Международную конференцию по космическим лучам (в те годы возможность посещать заграничные симпозиумы была очень ограниченной). Через Главлит я оформил разрешение на вывоз корректуры книги за границу, и Евгений Львович взял ее с собой в Италию, где был устроен специальный семинар по книге. Он рассказал о содержании монографии и об основных оригинальных результатах. Все поддержали идею, что эта книга должна стать настольной для специалистов обсерваторий космических лучей, занимающихся изучением временных вариаций их интенсивности. Всемирно известный профессор Джон Симпсон из Чикагского университета (создатель основного наземного прибора — нейтронного монитора, и впоследствии председатель Международной комиссии по космическим лучам) взялся организовать быстрый перевод книги на английский язык, издание ее и рассылку во все обсерватории космических лучей, ученым, в библиотеки университетов и научных институтов. Все это было проделано в невиданно короткий срок научным отделом военной авиабазы Огайо Департамента обороны США (как потом рассказал Симпсон, тогда впервые применили компьютер для получения подстрочного перевода). В результате книга на английском языке вышла уже в начале 1958 г.

Книга «Вариации космических лучей» была посвящена памяти папы, который скончался в 1954 г. в возрасте 70 лет. В июле 1957 г., когда я получил авторские экземпляры, я подарил их мо-

ему учителю Евгению Львовичу, маме, сестрам, брату. Вскоре начался Всемирный фестиваль молодежи в Москве. Я взял на это время отпуск и все дни проводил на фестивале. Мне очень понравились многие концерты. Мама тоже все время пропадала на фестивале, не пропуская ни одного выступления делегации Израиля. Однажды ей удалось встретиться с членами этой делегации. Она пыталась узнать что-нибудь об Аврумеле (ее первенце, родившемся в 1914 г. и в 1925 г. уехавшим в Палестину со своими прадедушкой и прабабушкой по маминной линии). Мама передала подаренную ей книгу одному из членов делегации с просьбой разыскать Аврумеле и передать ее ему. Когда через много лет я впервые оказался в Израиле (в апреле — мае 1990 г.) и попал в дом Аврумеле в кибуце Бет-Хашита, то увидел мою книгу с дарственной надписью маме у него на полке.

Книга принесла мне не только известность, но и материальный достаток. Гонорар за нее по моим понятиям составлял фантастическую сумму: более 120 моих месячных зарплат (это стоимость примерно семи выпускавшихся тогда автомобилей «Победа»). Когда я его получил, сразу же купил маме путевку в лучший подмосковный санаторий «Вороново», приобрел маме новую одежду, новую обстановку для нашей комнаты на Маломосковской. Я в это время встречался с 20-летней красавицей — пианисткой Лилей Зельвянской (познакомился с ней на одной из вечеринок в праздники 7–8 ноября 1956 г.). С ее помощью пошел в лучших ателье шикарные костюмы по последней моде. В конце октября 1957 г. неожиданно быстро подошла очередь на машину (дело в том, что вместо «Победы» за 16000 рублей стали продавать «Волгу» за 32000 рублей и многие отсеялись). Я купил ее, и мы с мамой много ездили на нашей шикарной «Волге». Мама была счастлива и только жалела, что папа не дожил до этих дней. Мама любила Лилю и очень хотела, чтобы мы поженились. Она также очень нравилась моему брату Зяме, сестре Миреле и ее мужу Арону. Но ее родители давали разрешение на брак только в случае, если у меня будет отдельная квартира в центре Москвы. Хотя после покупки машины у меня оставалось еще много денег, осуществить это желание тогда было невозможно. Меня очень смущало еще и то, что резко против этого брака была Валентина Иосифовна, очень умная и благородная женщина (известный музыковед), жена Фейнберга. Она хорошо знала Лилю и считала, что наш брак будет неудачным, что я не смогу ее оторвать от богемной жизни с бесконечными ночными ресторанами и выпивками и что мы либо вскоре разойдемся, либо я сам втянусь в эту богемную суету, на научной работе можно будет поставить крест и в результате я буду очень несчастным. Все мои попытки оторвать Лилю от богемной жизни действительно окончились ничем, и наши отношения становились все более прохладными.

После выхода в свет книги у меня возникла проблема: что делать дальше? Честно говоря, у меня в это время было так много дел и много денег, что о получении докторской степени по книге я забыл, эта степень была мне тогда просто ни к чему. Мне хотелось изменить специальность и попробовать себя в какой-нибудь другой области науки. Продолжать заниматься космическими лучами смысла не имело, так как все, что у меня было за душой, я отдал книге и чувствовал себя опустошенным. Надо было сделать перерыв. Тогда мне очень нравились две области науки: физика элементарных частиц (как продолжение моей дипломной работы в университете) и новая модная область, бурно развивающаяся в связи с проблемой термоядерной энергетики (магнитная гидродинамика и физика плазмы).

В октябре 1957 г. мне сделали очень почетное предложение: создать и возглавить отдел магнитной гидродинамики в Магнитной лаборатории АН СССР (это была та самая знаменитая совершенно секретная лаборатория, созданная академиком Анатолием Петровичем Александровым во время Великой Отечественной войны для решения военно-прикладных проблем). Формально принадлежала Академии наук СССР, фактически она финансировалась без ограничений и выполняла задания всеильной ВПК (Военно-промышленной комиссии ЦК КПСС и Правительства СССР). Я согласился, Пушкин на меня очень обиделся за мой уход из института, но все-таки дал согласие на перевод (без потери стажа работы). На ученом совете Магнитной лаборатории меня быстро избрали на новую должность. Лаборатория находилась в самом центре Москвы (около Кузнецкого моста) и имела филиал в Академгородке недалеко от нашего ИЗМИРАН в Троицке. В Московском университете на вечеринках и танцах (в том числе и новогодних) в непринужденной болтовне я узнавал от студентов о наиболее способных и талантливых ребятах и девушках. Собрав их всех вместе, я прочитал «завлекательную лекцию» и устроил конкурсный отбор. Так я набрал много дипломников с физического и механико-математического факультетов МГУ. Несколько сильных экспериментаторов перешли ко мне работать из разных институтов и поступили ко мне в аспирантуру. Удалось принять несколько безработных теоретиков. Необычным было то, что я мог набирать людей и тратить деньги столько, сколько надо было исходя из интересов дела.

Летом 1958 г. в Москве проходил международный симпозиум, посвященный Международному геофизическому году (июль 1957 г. — декабрь 1958 г.). На него приехало много специалистов по космическим лучам, в том числе и Симпсон. Он привез с собой и подарил мне мою книгу, изданную в США на английском языке. Симпсон организовал специальное совещание всех специалистов по космическим лучам и предложил сформировать

ровать Международный комитет по метеорологическим эффектам космических лучей. Меня избрали президентом этого комитета. Главной задачей комитета было разработать единую методику расчета метеорологических поправок для регистрации космических лучей на основе моей теории.

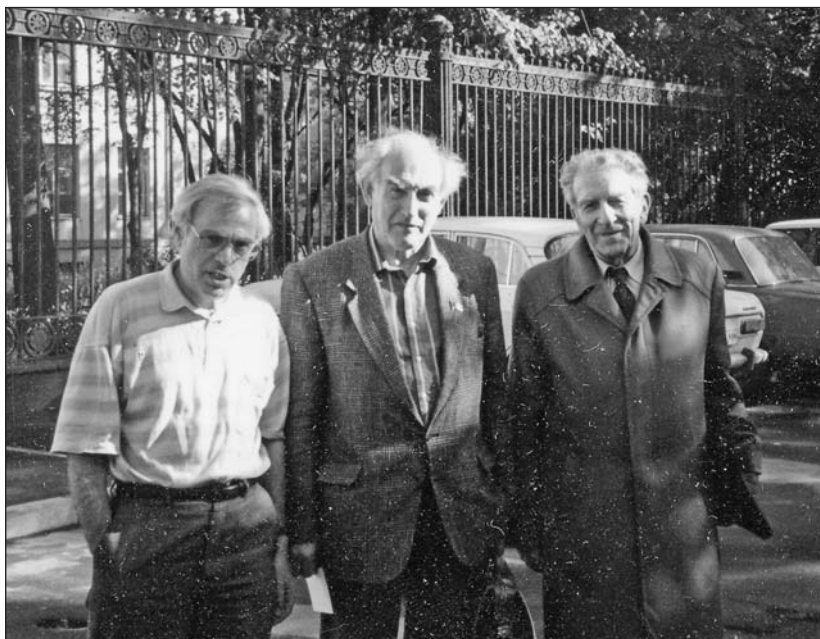
К сожалению, все проводимые исследования и научные экспедиции в Магнитной лаборатории были совершенно секретными, и ничего публиковать было нельзя. За все время моей работы в Магнитной лаборатории удалось опубликовать только две работы. Первая — экспериментальная, написанная совместно с моими учениками: на жидком натрии мы моделировали сложный процесс генерации магнитного поля, близкого к дипольному, в результате магнитогидродинамических течений (это важно для понимания природы астрофизических магнитных полей, особенно магнитных полей звезд, планет, Земли). Вторая, написанная мной, — чисто теоретическая, в которой я обратил внимание на то, что движение соленой проводящей воды в морях и океанах приводит к многочисленным эффектам магнитогидродинамического характера. Мне удалось рассчитать ожидаемые эффекты от движения подводных лодок и морских кораблей, от морских волн и океанских течений. Статья эта положила начало новой области науки: магнитной гидродинамике океанов. Были проведены многочисленные измерения, и мои предсказания полностью подтвердились. Впоследствии меня приглашали быть оппонентом по закрытым кандидатским и докторским диссертациям по этой специальности. Многие считали, что есть два разных Дормана: один по магнитной гидродинамике и спецтематике, другой по космическим лучам.

В то время я много занимался альпинизмом, горными лыжами, купил новый мощный мотоцикл ИЖ-56 («Волгу» пришлось продать, так как из-за езды зимой она стала быстро ржаветь снизу). Летом 1959 г. я был



На Всесоюзной конференции по космическим лучам в Якутске, 1977 г. В центре — семья Дорманов: Лев Исаакович, Ирина Витальевна и 10-летняя Виктория.

в альпинистском лагере на Кавказе, участвовал во многих восхождениях и походах. Однажды, во время одного из них, вечером у костра студенты с восхищением рассказывали о некой Ирине Гинзбург, студентке физического факультета МГУ, о ее красоте и остром уме. Почему-то этот рассказ мне запомнился, хотя я тогда не ассоциировал это



Лев Борисович Окунь, Виталий Лазаревич Гинзбург, Евгений Львович Фейнберг.



Три лауреата Нобелевской премии по физике 2003 г.: Виталий Лазаревич Гинзбург, Алексей Алексеевич Абрикосов, Энтони Джеймс Леггет.

имя с В.Л., моим оппонентом по диссертации (фамилия Гинзбург у евреев очень распространенная, как Иванов, Петров у русских). Кто мог предполагать, что через год я случайно встречу с этой девушкой и полюблю ее с первого взгляда?

В начале 1959 г. я опять увлекся космическими лучами. В нашем филиале в Академгородке мне

предоставили один черырехкомнатный дом на закрытой территории для занятий теорией и разрешили принять на работу нескольких лаборантов-вычислителей. Другой дом мне дали рядом, через забор, в густом лесу на открытой территории, где у меня были рабочий кабинет, спальня, спортивная комната и столовая. Большую часть времени я стал проводить в Академгородке и часто заходил в свой старый институт, в лабораторию космических лучей. Я стал научным руководителем моих друзей Ольги Иноземцевой (с ней я учился в университете), Якова Блоха (выпускника Московского инженерно-физического института), Наума Каминера из Ленинграда, Лули Шаташвили из Тбилиси, Ариана Кузьмина из Якутска и др. Вместе мы выполнили много важных научных исследований и представили несколько докладов на Международную конференцию по космическим лучам (Москва, август 1959 г.). У меня там был также большой приглашенный доклад на пленарном заседании.



Нобелевская неделя. Виктория, В.Л., Ирина и Лев около машины, обслуживающей лауреата. Стокгольм, 2003 г.

После очередного «погружения» в работу по подготовке докладов для двух международных симпозиумов в Хельсинки в 1960 г. я решил немного отдохнуть и навестить Евгения Львовича в Конакове (поселок на 100 км севернее Москвы, в живописном месте на берегу Волги), где он проводил свой отпуск с семьей. 24 июля 1960 г. был очень жаркий день. Я вскочил на мотоцикл в одних шортах и добрался до Конакова к 11 часам дня. В деревенской, низкой избе была только хозяйка, у которой Фейнберги снимали жилье. Она послала меня купить хлеб и кое-какие продукты в магазине. Вскоре вернулись с реки Фейнберги, и я слышу, как хозяйка говорит кому-то: иди скорее, твой суженый приехал. Появилась юная, красивая девушка с пронзительно умными глазами. Меня ослепило как молнией, и я почувствовал, что влюбился в нее с первого взгляда. Это оказалась Ирина Гинзбург, о которой год назад высоко в горах Кавказа рассказывали с восхищением студенты. А за ней появился и ее отец, мой оппонент по диссертации В.Л. Слова хозяйки оказались пророческими. У нас возник бурный роман, перешедший в прочную любовь. Как я потом узнал, мне повезло, что я встретил Ирину в удачное время. Дело в том, что до этого она долго встречалась со своим сокурсником Леонидом Пастернаком, сыном знаменитого писателя Бориса Пастернака. Незадолго до нашей встречи они разошлись, поняв, что слишком разные. После этого за ней ухаживал ее научный руководитель по биофизике, но он ей не очень нравился. В августе Ирина уехала отдыхать на юг на машине вместе со своей подругой Таней Мандельштам (внучкой знаменитого академика Леонида Исааковича Мандельштама, основателя научной школы теоретической физики в России) и ее дядей Владимиром Васильевичем Мигулиным (который потом стал академиком, директором нашего ИЗМИРАН после Пушкива). Я очень скучал без нее и, когда она вернулась, весь сентябрь мы были неразлучны.

В начале октября я уехал отдыхать в Адлер с моим другом — писателем Артемом Анфиногеновым, который в течение почти месяца профессиональ-



Беседа Нины Ивановны и Виталия Лазаревича с королевской четой.



Банкетный зал.

но учил меня играть в теннис, а я помогал ему писать книгу про «космиков» (ученых, занимавшихся исследованиями космических лучей). Я очень тосковал по Ирине и посылал ей телеграммы с просьбой приехать. И вот 1 ноября 1960 г. она прилетела, мы стали одной семьей и началось наше незабываемое свадебное путешествие по всему Черноморскому побережью Кавказа и по Грузии. Когда мы вернулись в Москву, устроили маленькую свадьбу. В.Л. мне сказал тогда: «Лева, вы приобрели в моем лице хорошего тестя, но зато потеряли прекрасного оппонента для докторской диссертации» (действительно, пришлось его заменить на профессора Георгия Тимофеевича Зацепина).



На нобелевской церемонии. Вверху — Нина Ивановна, В.Л., Виктория, Ирина, Лев; внизу — Михаил Петров (муж Виктории), Нина Ивановна, В.Л.

Я так много и увлеченно рассказывал Ирине о космических лучах, что она стала мечтать работать не по биофизике, а именно по космическим лучам (определенную роль сыграло еще то, что ее отец был одним из ведущих специалистов по проблеме происхождения космических лучей, а она его боготворила). Поэтому при окончании МГУ в 1963 г. Ирина попросила распределить ее в ИЗМИРАН (г. Троицк, теперь внутри Москвы) для работы по космическим лучам. Она увлеклась 11-летними вариациями космических лучей, эффектом гистерезиса, нелинейными эффектами, оценила с помощью космических лучей размеры гелиосферы (около 100 а.е.; через много лет этот

результат был подтвержден прямыми измерениями американцев на космических ракетах). В 1970 г. Ирина блестяще защитила в МГУ кандидатскую диссертацию. В 1975 г. в связи с компанией против семейственности ей пришлось перейти работать в Институт истории естествознания и техники АН СССР в Москве. Здесь она продолжала участвовать в экспедициях по космическим лучам, заниматься теоретическими исследованиями и проблемами истории космических лучей. В издательстве «Наука» она опубликовала две монографии: в 1981 г. — о ранней истории космических лучей (примерно до 1955 г.) и в 1989 г. — об истории развития ускорителей и открытий новых частиц в космических лучах и на ускорителях.

Наша дочь Виктория окончила школу с золотой медалью, поступила в МГУ и окончила физфак с красным дипломом (кафедру, на которой я преподавал). Так что она продолжила традицию нашей семьи. В 1991 г. ее зачислили в аспирантуру Принстонского университета (США) по астрофизике высоких энергий, где она через несколько лет успешно защитила диссертацию и сейчас продолжает здесь работать. Ее дети-двойняшки Лиза и Гриша обожают своего знаменитого прадедушку и гордятся им. Существенная часть Нобелевской премии В.Л. стала основой фонда, созданного в 2004 г. (тогда правнукам было по 4 года, они родились в феврале 2000-го) для их образования.

Мы довольно часто были с Ириной в гостях у В.Л. и его супруги Нины Ивановны. Особенно интересны были дни рождения В.Л. 4 октября, когда его ближайшие друзья устраивали умопомрачительные розыгрыши. Например, однажды во время одного из таких торжеств в почтовом ящике оказалась газета «Известия» с указом Президиума Верховного Совета СССР о присвоении В.Л. звания Героя Социалистического Труда (кто сумел организовать печать настоящей по виду газеты в издательстве «Известия» в единственном экземпляре). Очевидно поэтому, когда 4 октября 2003 г. В.Л. позвонили и сообщили о присуждении ему Нобелевской премии, он сначала решил, что

это розыгрыш. Конечно, В.Л. был счастлив. Он сразу позвонил нам в Принстон (тогда мы с женой жили в США) и рассказал, как надо готовиться к Нобелевской неделе (видимо, он получил инструкции из Стокгольма). Пришлось трехлетних Лизу и Гришу оставить нашим друзьям в Принстоне. И вот мы четверо — Ирина, Виктория, Миша (муж Виктории) и я — отправились в Стокгольм.

Все дни Нобелевской недели были очень насыщенными и чрезвычайно интересными. Однажды, в перерыве, В.Л. отвел меня в сторону, обнял и в местечковой манере тихо сказал: «Лева, а ведь из хорошей семьи взял девочку». Нобелевскую лекцию В.Л. сделал блестяще, в свободной манере, с юмором, с прекрасными иллюстрациями. Очень интересной была встреча с журналистами. У другого лауреата, Алексея Алексеевича Абрикосова, спросили, почему он уехал из СССР и не хочет возвращаться. Абрикосов ответил, что когда он уезжал, наука в СССР отставала лет на 10–15, а он хотел успеть реализовать себя. А теперь, как он добавил, наука в России отстала навсегда. Когда спросили у В.Л., почему он не уехал из России (а его приглашали на престижное положение в Принстоне, такое же, какое было в свое время у Альберта Эйнштейна), В.Л. ответил, что он оптимист и считает — когда-нибудь наука в России возродится и будет на уровне мировой, и он хотел бы по мере сил этому способствовать. Очень запоминающимся был прием в посольстве России, где я встретился с административным председателем Нобелевского комитета. Он прекрасно говорил по русски. Оказалось, что он много лет жил в Москве как сын посла Швеции в СССР и учился в знаменитой 110-й школе на Арбате, где я в 1944 г. сдавал экстерном экзамены за несколько последних классов средней школы. Он массу любопытного рассказал об истории Нобелевских премий, о борьбе за наследство Нобеля, о системе финансирования и отбора кандидатов.

Сама процедура вручения премий и последующий грандиозный банкет с официантами (одеждами так же, как нобелевские лауреаты и все приглашенные гости), с прекрасным музыкальным сопровождением произвели неизгладимое впечатление. В.Л. сидел на банкете рядом с королевой и рассказывал ей смешные истории про своих правнуков. После банкета королевская семья принимала в течение 10–15 минут по отдельности каждого нобелевского лауреата с его гостями на верхнем этаже. В.Л. был на подъеме, он не скрывал, что очень счастлив.

К сожалению, примерно через год В.Л. почувствовал себя плохо: проблема с ногами. В 2005 г. мы всей семьей (с любимыми В.Л. правнуками) навестили его в Институте гематологии. Он очень похудел, но был на пути выздоровления. К своему 90-летию В.Л. уже был дома. Он получил много поздравлений, в том числе от Президента России, был удостоен очередной высокой правительст-



Лев Исаакович и Виктория с детьми Лизой и Гришей.

венной награды — ордена «За заслуги перед Отечеством» I степени.

Последний, 93-й день рождения В.Л. отмечал дома, в кругу семьи и друзей. Он жаловался, что голова еще неплохо соображает, а тело никуда не годится. На следующий день его поместили опять в Институт гематологии. Я навещал его там. Мы беседовали о науке, он многим живо интересовался и очень жалел, что у него уже нет сил дальше работать, открыть какой-нибудь новый эффект.

Во время наших встреч в больнице института В.Л. несколько раз говорил о том, что несправедливо лишать человека возможности уйти из жизни безболезненно, что нужен закон о разрешении при определенных условиях эвтаназии. Когда я посетил В.Л. в последний раз, мы снова много говорили о науке, о перспективах ее развития в России и в мире. Голова его, как всегда, была ясной. Он очень интересовался проблемой темной материи, уговаривал меня заняться ею. В.Л. ушел из жизни 8 ноября 2009 г., но память о нем будет жить по трем направлениям: пока будет жива наука (благодаря его огромному вкладу во многие области), пока живы его многочисленные ученики, а потом ученики учеников и т.д., пока не прервется его семья, продолжающееся сейчас правнуками Лизой и Гришей. ■

Новости науки

Физика

Наземный мониторинг озона на миллиметровых волнах

Озон (O_3) — важнейшая газовая составляющая атмосферы Земли. Он защищает жизнь на поверхности планеты от губительного для нее ультрафиолетового (УФ) излучения Солнца в диапазоне 280–315 нм. Поглощая солнечное излучение в стратосфере, озон влияет на тепловой баланс атмосферы, ее динамику и климат. Обнаруженное в 1980-х годах снижение содержания этого газа, вызванное в первую очередь загрязнением атмосферы хлорными составляющими, привело к аномальным явлениям — «озоновым дырам» в Антарктике и в Арктике.

С 1987 г. в Физическом институте (ФИАН) имени П.Н.Лебедева РАН под руководством С.В.Соломонова проводятся исследования атмосферного озона над Московским регионом в коротковолновой части миллиметрового диапазона радиоволн. С помощью высокочувствительных наземных спектрометров регистрируется линия излучения озона с частотой 142.175 ГГц (длина волны 2.1 мм). По форме этой линии, уширенной за счет столкновений молекул O_3 с другими молекулами воздуха, определяется вертикальное распределение относительного содержания озона (ВРО) в атмосфере на высотах 15–75 км. К достоинствам дистанционного зондирования озона на миллиметровых волнах помимо широкого диапазона высот относятся возможность работы днем и ночью, малая зависимость от погодных условий (миллиметровые волны рассеиваются и поглощаются в атмосфере намного меньше по сравнению с ультрафиолетовым, оптическим и инфракрасным излучением) и экологическая безопасность (отсутствие зондирующих сигналов).

Обобщение и анализ данных регулярных наблюдений озонового слоя в холодные сезоны 1996–2016 гг. позволили установить ряд особенностей и закономерностей в изменениях ВРО над Москвой. Одна из них — связь изменений содержания O_3 в средней стратосфере (на высотах около 30 км) с интереснейшими явлениями: внезапными среднезимними стратосферными потеплениями, происходящими в Северном полушарии в отдельные годы, обычно в январе. В это время температура в стратосфере быстро возрастает на

несколько десятков градусов, направление ветра меняется с западного на восточное, а полярный вихрь (циклон) разрушается и смещается от Северного полюса.

Напротив, в зимы без потеплений полярный вихрь интенсивен, устойчив и сохраняется до весенней перестройки циркуляции стратосферы в марте—апреле. Центр такого долгоживущего вихря, внутри которого содержание O_3 понижено, находится вблизи Северного полюса. Весной, перед разрушением, вихрь смещается в средние широты, и в марте—апреле над столицей нередко появляется бедный озоном воздух. В эти дни поток УФ-излучения Солнца значительно возрастает, что создает повышенную опасность для здоровья людей.

В ходе изучения высотно-временного распределения O_3 над Москвой в зимнее время в ФИАН провели сравнение усредненных данных об озоне для шести зим, когда были внезапные стратосферные потепления (2002–2003, 2005–2006, 2006–2007, 2008–2009, 2011–2012, 2012–2013) и шести зим без потеплений (1995–1996, 1996–1997, 1999–2000, 2004–2005, 2010–2011, 2013–2014). Оказалось, что для первой группы зим в декабре, накануне потепления, озона в средней стратосфере было примерно на 20% меньше, чем для зим без потеплений. Во время потеплений, в январе, содержание озона на высотах около 30 км над Москвой значительно возрастало, увеличиваясь примерно на 20% по сравнению с зимами без потеплений. В результате наблюдается перепад содержания O_3 на исследуемых высотах для первой группы зим составлял около 40% от среднемесячных значений озона в декабре—январе. Таким образом, содержание озона в средней стратосфере над Москвой оказывается чувствительным индикатором крупномасштабных атмосферных процессов в Северном полушарии и приближающихся сильных стратосферных потеплений. На основании имеющихся данных можно заключить, что явления продолжительного пониженного содержания озона в средней стратосфере над Москвой в декабре предшествуют развитию внезапных сильных стратосферных потеплений в январе и могут рассматриваться как предвестники таких процессов.

До сих пор не существует надежных методик предсказания внезапных среднезимних стратосферных потеплений. Теперь данные наземного мониторинга озона на миллиметровых волнах

в начале зимы могут быть использованы как один из признаков их возможного наступления. В этом и состоит значимость полученного в ФИАН результата.

© С.Б.Розанов,
кандидат физико-математических наук
Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН
Москва

Археология

Новые находки из средневекового некрополя Суздальского Ополя

Могильник Шекшово, расположенный в 17 км от Суздаля, — один из немногих средневековых некрополей Суздальского Ополя, частично сохранившихся после грандиозных раскопок А.С.Уварова 1851–1852 гг. и вновь выявленных экспедицией Института археологии РАН в современных ландшафтах, существенно изменившихся за более чем полтора столетия. Новые исследования крупного погребального памятника, в котором Уваров вскрыл 244 курганные насыпи, были начаты в 2011 г. За шесть лет на площади около 2000 м² обнаружены остатки 10 курганных насыпей, исследовано 20 погребений рубежа X — начала XII вв. по обряду трупоположения (ингумации), несколько погребений по обряду сожжения (кремации), собрано около 2000 средневековых вещей. Открытие в Шекшове ярких погребальных комплексов,

содержащих предметы вооружения, престижные украшения и торговый инвентарь, и документирование здесь ранее не встречавшихся в центре Северо-Восточной Руси форм погребального обряда (кремаций с рассеянным размещением остатков трупосожжения на поверхности земли, бескурганых ингумаций) делают этот некрополь одним из ключевых объектов для изучения становления древнерусской культуры и властных отношений в Суздальской земле в X–XI вв.

2016 год стал шестым сезоном полевых работ. В ходе его отработывались методы взаимодействия геофизиков и археологов при поисках и исследовании погребальных насыпей, снимелированных распашкой. Для Шекшовского некрополя эта проблема исключительно актуальна: курганы здесь полностью сглажены многовековой распашкой, под которой не видны внешние признаки погребений. Раскоп 2016 г. заложили на участке площадью 336 м², где локализуются две круглые в плане аномалии, выявленные группой геофизиков под руководством И.Н.Модина и С.А.Ерохина методом электротомографических измерений. В раскопе были обнаружены площадки трех курганов, местоположение которых точно соответствовало аномалиям, диагностированным геофизиками. Целиком вскрыты остатки одного из курганов — площадка правильной круглой формы диаметром около 9 м, на которой сооружалась насыпь, и окружавший ее концентрический ровик. Погребение не сохранилось (очевидно, оно было



Общий вид раскопа могильника Шекшово в Суздальском Ополе. 2016 г.



Ритуальные предметы IX–X в. из могильника Шекшово — глиняная модель лапы бобра и глиняное кольцо.

полностью разрушено распашкой), однако в насыпи и ровиках собраны отдельные предметы, которые могли входить в состав погребального инвентаря: фрагмент весов для малых взвешиваний, шесть весовых гирек, наконечник стрелы, железный нож, перстнеобразное височное кольцо, несколько стеклянных и каменных бус.

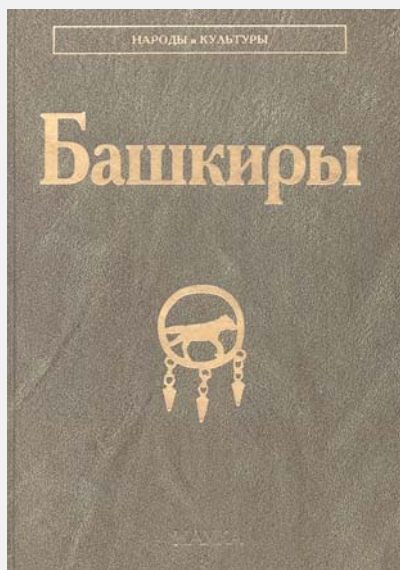
Вокруг кургана, за пределами его ровика, обнаружены три погребения по обряду ингумации в грунтовых ямах: мужское, женское и детское. В мужском у пояса найдены железные калачевидное кресало и нож, в ногах находился лепной сосуд. В женском расчищены два перстнеобразных височных кольца, четыре бусины из стекла, серебряная арабская монета дирхем, находившаяся на груди в качестве подвески, бронзовые детали обкладки кошелька и два сосуда — круговой и лепной. В детском найдены стеклянные бусины и перстнеобразное височное кольцо. Погребения могут быть датированы XI в. Раскопки показали, что электро-томографическая съемка дает точные ориентиры для выявления остатков курганных площадок, окруженных ровиками, но не позволяет выявить бескурганные захоронения в грунтовых ямах.

Уникальный характер имеет погребение в другом кургане, площадка которого была вскрыта раскопками лишь частично. Здесь обнаружены остатки кремации: скопление пережженных костей человека и животных и перегоревших вещей (более 80 предметов из цветного металла, железа, рога и глины), сосредоточенное на площади примерно 1.5×1.5 м. Несмотря на повреждение распашкой, погребение имеет высокую степень сохранности. При его расчистке удалось собрать 3850 г пережженных костей человека, лошади и птицы. Кремация проводилась в другом месте. Принесенные после сожжения останки были помещены в небольшое округлое в плане сооружение диаметром

чуть более метра, каркас которого составляли вбитые в землю деревянные жерди (ямки от них прослеживались в основании кургана). Среди погребального инвентаря — бронзовые украшения конской узды (решмы, накладки, наконечники), фрагменты рогового гребня в футляре, две железные пряжки, две гирьки для малых взвешиваний, миниатюрный керамический сосуд и лепной сосуд обычных размеров, а также бесформенные фрагменты оплавленного металла. Здесь же находились глиняная модель лапы бобра с четырьмя пальцами и глиняное кольцо — ритуальные предметы, которые в IX(?)–X вв. помещали в погребения элитных могильников Волго-Окского междуречья.

Погребения с глиняными лапами и кольцами неизменно вызывают повышенный интерес в силу особой выразительности ритуальных предметов, специально изготавливавшихся для языческого обряда, и географии этих находок. Конкретное назначение предметов и связанные с ними религиозные представления неизвестны. Однако большая часть исследователей солидарна в том, что лапы и кольца имеют отношение к обряду почитания бобра — важного объекта промысла в IX–X вв. За время изучения погребальных памятников Древней Руси в них зафиксированы находки 113 глиняных лап и 56 глиняных колец. Все они, за единственным исключением (могильник Шестовицы под Черниговом), происходят из курганов Волго-Окского региона. Наиболее крупная серия (66 лап и 16 колец) — из Тимеревских курганов под Ярославлем. За пределами Руси погребения с глиняными лапами известны лишь на Аландских о-вах (около 70 комплексов) и в единственном погребении в материковой Швеции. В Суздальском Ополье глиняные лапы и кольца были обнаружены при раскопках 1851–1852 гг. в трех могильниках: в Шекшово, Веси и Васильках. Со времен исследований Уварова археологам ни разу не удавалось выявить здесь погребения с такими предметами. Находка 2016 г. из Шекшова впервые после полуторовекового перерыва документирует этот редкий погребальный обряд в центре Суздальской земли и дает новый импульс для изучения взаимосвязи ритуальных предметов, происходящих из Волго-Окского региона и с Аландских о-вов.

© академик **Макаров Н.А.**
Зайцева И.Е.,
 кандидат исторических наук
Угулава Н.Д.
 Институт археологии РАН
 Москва



Очередной том фундаментальной серии «Народы и культуры» посвящен башкирам — четвертому по численности народу Российской Федерации. Первые письменные свидетельства о башкирах относятся к VIII–IX вв. и принадлежат арабским миссионерам и путешественникам. В то время башкирские племена были частью кочевого тюрко-угорского мира, раскинувшегося на территории от Приуралья до Волги, от Южного Урала и Западной Сибири до Северного Кавказа, Прикаспия и Причерноморья. Начальная стадия этногенеза башкир пришлась на середину I тыс. н.э. и продолжалась до рубежа VIII–IX вв. До прихода на Южный Урал древние башкиры долгое время кочевали в присырдарьинских и приаральских степях, активно контактируя с местным населением (узбеками, каракалпаками, казахами). Древний башкирский этнос представлял собой сложное образование, включавшее, помимо тюркского компонента (центральноазиатского происхождения), еще и монгольский и сармато-иранский субстраты. В составе хазарских и печенежских племен башкиры двигались в авангарде миграционной волны на север и заняли обширные пространства Бугульминской возвышенности. Эта территория (от левобережья р.Белой на востоке до левых притоков Волги на западе) стала с IX–X вв. центром древней Башкирии. С X в. до начала XIII в. древнебашкирские племена находились под политическим влиянием Волжской Булгарии, а с 1236 г. их земли вошли в состав Золотой Орды. С этого периода в башкирский этногенез вовлекались новые группы тюркоязычных кочевников с востока, снятые с мест монгольским нашествием. Мощное вливание кыпчакских и кыпчакизированных групп в XIII–XIV вв. окончательно обрисовало современный этнический облик народа, изменив его языковое развитие и оказав серьезное влияние на культуру в целом. Направления развития Башкирии в XV–XVI вв. определялись распадом Золотой Орды и разделением башкирских земель между Казанским и Сибирским ханствами и Ногайской Ордой, а затем — постепенным включением в состав России (1552–1557). Кочевники-скотоводы в ходе контактов с русскими крестьянами и переселенцами — представителями народов Поволжья и Прикамья — все более втягивались в пространство оседлой земледельческой культуры. Увеличение плотности населения, сокращение свободных земель и пастбищных угодий, а также ряд административных мер способствовали коренным изменениям в хозяйственном комплексе башкир.

Коллективная монография подготовлена специалистами Института этнографии и антропологии имени Н.Н.Миклухо-Маклая РАН, Института этнологических исследований имени Р.Г.Кузеева и Института истории, языка и литературы Уфимского научного центра РАН. Книга включает введение и 12 глав («Общие сведения», «История изучения», «Этническая и социально-политическая история», «Язык и письменность», «Хозяйство», «Система жизнеобеспечения», «Одежда и декоративно-прикладное искусство», «Семейный быт», «Фольклор и праздничная культура», «Религиозные представления», «Профессиональная культура», «Социально-демографическое и этнокультурное развитие в XX — начале XXI века»). Завершают том глоссарий и обширная библиография.

Тематический указатель за 2016 год

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Механика жидкости, газа и плазмы

Капли: короны, всплески, звуки... **Чашечкин Ю.Д.** 11 13

Астрофизика и звездная астрономия

De rerum natura сегодня: об открытии темной материи.

Капаччиоли М., Сажина О.С., Сажин М.В. 11 3

Астрокомплекс в Саянах укомплектован новым телескопом* 5 83

Гравитационные аномалии в бассейнах крупных рек

России. **Зотов Л.В., Фролова Н.Л., Шам С.К.** 5 3

Изучение неба в гамма-диапазоне*. **Быков А.М.,**

Красильщиков А.М., Холупенко Е.Е. 7 77

Исследование космических лучей в Антарктиде*.

Антонов Р.А., Роганова Т.М., Чернов Д.В. 4 86

Компьютерное моделирование взрыва астероида*.

Галушина Т.Ю. 8 83

Обнаружена одна из самых далеких нейтронных звезд

в нашей Галактике*. **Лутовинов А.А.** 11 88

«Радиоастрон» разглядел ядро галактики

с рекордной детализацией* 4 87

Сверхяркая сверхновая ASASSN-15lh.

Пружинская М.В. 3 48

След космической катастрофы: первая регистрация

гравитационных волн. **Руденко В.Н.** 4 15

Тайна облака G2* 2 77

Эксперимент «Конус-Винд»:

новые данные о гамма-всплесках*. **Аптекарь Р.Л.** 9 84

Планетные исследования

Вулканизм планеты Венера: прошлое и настоящее.

Базилевский А.Т., Маркевич В.Е. 9 3

Марс под влиянием солнечного ветра*. **Вайсберг О.Л.** 2 78

Рельеф поверхности Венеры проступает

сквозь толщу облаков*. **Хатунцев И.В.,**

Федорова А.А., Пацаева М.В., Тюрин А.В. 10 87

Приборы и методы экспериментальной физики

Диффузионный спектрометр аэрозоля: особенности

и применение*. **Валиулин С.В., Дубцов С.Н.** 11 90

Лазерная интерферометрия: за занавесом триумфа.

Халили Ф.Я. 6 54

Радиофизика

Томограф для микрообъектов* 8 84

Акустика

Капли: короны, всплески, звуки... **Чашечкин Ю.Д.** 11 13

Физика конденсированного состояния

Магнитоэлектрический эффект в феррите висмута

и его возможности* 9 85

Физика плазмы

Релятивистские плазменные зеркала. **Буланов С.В.** 6 62

Укрошение плазмы на установке C2-У* 1 77

Физика полупроводников

Органические солнечные батареи — легкие, гибкие,

полупрозрачные. **Дроздов Ф.В., Пономаренко С.А.** 4 3

Теплофизика и теоретическая теплотехника

Гидрофобное покрытие для теплообменных устройств*.

Сафонов А.И., Тимошенко Н.И. 7 78

Физика атомного ядра и элементарных частиц

Лауреаты Нобелевской премии 2015 года.

По физике — А.Макдональд, Т.Каджита.

Герштейн С.С., Куденко Ю.Г. 1 59

На пути к созданию «Супер чарм-тау-фабрики»* 3 86

Физика пучков заряженных частиц

и ускорительная техника

Релятивистские плазменные зеркала. **Буланов С.В.** 6 62

Сверхпроводящий вигглер с новой системой

охлаждения* 11 88

Лазерная физика

Волоконный лазер на основе висмутового световода* 10 86

Высококонтрастный метод газоанализа*. **Цхай С.Н.** 1 76

Светогидравлический эффект

Прохорова—Аскарьяна—Шипуло. **Андреев С.Н.,**

Кочиев Д.Г., Шафеев Г.А., Щербаков И.А. 6 22

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Физическая химия

Кто открыл новые элементы таблицы Менделеева?* 3 88

Четыре новых химических элемента получили

официальные названия* 8 85

Высокомолекулярные соединения

Стареют ли полимеры? **Вольнский А.Л.** 1 3

Биоорганическая химия

Аналитический комплекс для исследования

твердых топлив*. **Козлов А.Н.** 5 84

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Биофизика

SERS — изучение цитохрома c в живых митохондриях.

Никельшпарг Э.И. 3 17

Молекулярная биология

Инфекционность амилоидов. **Дергалёв А.А.** 5 9

Биохимия

Боль, воспаление и другие неприятности: обратная

сторона ощущений. **Андреев Я.А., Логашина Ю.А.,**

Лубова К.И., Василевский А.А., Козлов С.А. 12 3

Как уровень серотонина матери определяет тип

поведения потомков?* **Воронезская Е.Е.** 2 80

Какой водой лучше утолять жажду?

Иванов-Омский В.И. 10 93

Биотехнология (в том числе бионанотехнологии)

Нанокристаллы с антистоксовой флуоресценцией

на пути в медицину. **Генералова А.Н., Zubov В.П.,**

Хайдуков Е.В. 11 24

Знаком * отмечены материалы, опубликованные в разделе «Новости науки».

Наномеханика: адресная доставка лекарств.			Видимо-невидимое разнообразие дождевых червей		
Ефремова М.В., Мажуга А.Г., Головин Ю.И., Клячко Н.Л.	7	3	Сибири. Берман Д.И., Шеховцов С.В., Пельтек С.Е.	5	16
Молекулярная генетика			Генофонд славян*	1	78
Лауреаты Нобелевской премии 2015 года.			Женские тетрады в династии Романовых.		
По химии — Т.Линдаль, П.Модрич, А.Санджар.			Голубовский М.Д.	9	14
Жарков Д.О., Торгашева Н.А.	1	65	Распознавание эмоций: гены и опыт. Алфимова М.В.	3	11
Математическая биология, биоинформатика			Экология		
Геном неандертальца: открытые вопросы.			Видимо-невидимое разнообразие дождевых червей		
Гельфанд М.С.	1	27	Сибири. Берман Д.И., Шеховцов С.В., Пельтек С.Е.	5	16
Инфекционный рак. Гельфанд М.С.	2	3	Живородящая ящерица зимой в Сибири.		
Истории, прочитанные в митохондриальных геномах: слоны, медведи, люди... Сернова Н.В., Гельфанд М.С.	12	10	Берман Д.И., Булахова Н.А., Алфимов А.В., Мещерякова Е.Н.	10	16
Молекулярная эволюция: как киты уходили под воду.			Литофагия: причины феномена. Паничев А.М.	4	25
Гельфанд М.С.	10	39	Биогеохимия		
Новости о древних людях. Гельфанд М.С.	11	38	Литофагия: причины феномена. Паничев А.М.	4	25
Общая биология			Сульфатовосстанавливающие бактерии: великие дела маленьких существ. Кизильштейн Л.Я.	2	51
Сложные вопросы о функциях и истории организмов.			Паразитология		
Гродницкий Д.Л., Пономаренко А.Г., Расницын А.П.	5	92	Лауреаты Нобелевской премии 2015 года.		
Ботаника			По физиологии или медицине — У.С.Кэмпбелл, С.Омура, Ю.Ту. Сергиев В.П.	1	71
Как меняется фитобентос южных морей России?			Физиология		
Степаньян О.В.	2	32	Золотая медаль имени И.П.Павлова — Л.В.Розенштрауху	3	82
Почему карельская береза не растет на плодородных землях?*			Антропология		
Новицкая Л.Л., Галибина Н.А., Никерова К.М.	9	87	Краниология Франца Галля. Васильев С.В., Веселовская Е.В., Григорьева О.М., Пестряков А.П.	1	36
Микробиология			Иммунология		
ВЗРЫВЫ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ.			Т-лимфоциты: путешественники и домоседы.		
КАК С НИМИ БОРОТЬСЯ	7	12	Касацкая С.А.	2	8
Геологические опасности в угольных шахтах.			Кондратова М.С.	3	45
Кизильштейн Л.Я.	7	12	ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ		
Использование микроорганизмов при борьбе с метаном в угольных шахтах. Иванов М.В.	7	16	Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы		
Зоология			Отечественная волоконная оптика: остановленный взлет. Дианов Е.М.	6	31
Бурые медведи Большого Хехцира. Ткаченко К.Н.	8	42	Фотоэлектронная «лупа времени». Щелев М.Я.	6	41
В царстве летучих драконов. Бобров В.В.	8	60	Приборы, системы и изделия медицинского назначения		
Городские голуби: полиморфизм и стратегии выживания. Обухова Н.Ю.	9	42	Лазеры — зрению. Вартапетов С.К., Щербаков И.А.	6	70
Дубровник и клоктун: опасные флуктуации численности. Колбин В.А.	8	69	Приборы и методы преобразования изображений и звука		
Есть ли почки у иглокожих? Ежова О.В., Малахов В.В.	7	22	Фотоэлектронная «лупа времени». Щелев М.Я.	6	41
Как возникли жаберные щели?			Нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям)		
Ежова О.В., Малахов В.В.	10	9	Нанокристаллы с антистоксовой флуоресценцией на пути в медицину. Генералова А.Н., Зубов В.П., Хайдуков Е.В.	11	24
Книга вышла декоративная, а могла стать и познавательной. Колбин В.А.	5	81	Получена фазовая диаграмма переходов между фотонными кристаллами и метаматериалами*	3	87
Новый взгляд на строение и происхождение полости тела многоклеточных.			Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах		
Малахов В.В., Богомолова Е.В.	11	33	Органические солнечные батареи — легкие, гибкие, полупрозрачные. Дроздов Ф.В., Пономаренко С.А.	4	3
Новый отряд паукообразных в фауне бывшего СССР*.			ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ		
Михайлов К.Г.	1	79	Археология		
Энтомология			«Боспорские ворота» на Узунларском валу*.		
Хищный клоп периллюс осваивает юг России.			Супренков А.А.	11	91
Нейморовец В.В.	2	43			
Ихтиология					
В погоне за гибридной сельдью.					
Стрелков П.П., Лайус Д.Л., Вайнола Р.О.	10	51			
Генетика					
В погоне за гибридной сельдью.					
Стрелков П.П., Лайус Д.Л., Вайнола Р.О.	10	51			

В Звенигороде обнаружен частный арсенал русского воина XVI в.* Энговатова А.В.		
Двуреченский О.В., Алексеев А.В.	7	80
Зарождение творчества. Панов Е.Н.	7	41
Зарождение творчества: загадки неандертальцев. Панов Е.Н.	8	50
Зарождение творчества: знаки на камне. Панов Е.Н.	9	51
Культура вальдивия: возможности трансокеанских контактов в Пасифике*. Табарев А.В., Попов А.Н., Маркос Х.Г.	2	81
Новые находки из средневекового некрополя Суздальского Ополья*. Макаров Н.А., Зайцева И.Е., Угулава Н.Д.	12	85
Новые открытия из мира новгородского Средневековья*. Гайдуков П.Г., Олейников О.М.	8	87
Новый Иерусалим в контексте культуры и истории Московской Руси. Беляев Л.А., Глазунова О.Н., Капитонова М.А.	11	64
Поселения эпохи дзёмон*. Соловьева Е.А.	4	89
Природный феномен или древний изобразительный комплекс? Успенская М.Б.	3	54
Русь, Россия и культуры Степного пояса: от аваров до Золотой Орды. Черных Е.Н.	4	45
Русь, Россия и культуры Степного пояса: путь в Новое время. Черных Е.Н.	5	49
Русь, Россия и культуры Степного пояса: триста лет в рамках империй. Черных Е.Н.	7	50
Сейсмические деформации в древнем городе Илурате. Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С.	10	30
Следы землетрясений в затерянном городе. Корженков А.М., Вардания А.А., Стаховская Р.Ю.	3	37
Что скрывают древнейшие курганы Тывы?*		
Рукавишников И.В., Гладченков А.А.	1	80
Этнография, этнология и антропология		
Северные манси: восхождение к Мир-сусне-хуму*.		
Бауло А.В.	3	89
История науки и техники		
А.Н.Рябинин — первый в России исследователь динозавров. Ермацанс И.А., Болотский И.Ю.	11	68
АВТОР «КУРСА ФИЗИКИ»		
ДЛЯ НОБЕЛЕВСКИХ ЛАУРЕАТОВ	10	68
К истории учебника физики О.Д.Хвольсона. Буссемер П., Ржевский В.В.	10	69
Гегель, Геккель, Коссут и Двенадцатая заповедь. Критический этюд. Хвольсон О.Д.	10	77
Арктический вектор энергетики России. Ковальчук М.В.	9	24
Б.Б.Голицын — физик на государственной службе. Булюбаш Б.В.	7	69
Георгий Ушаков — вот такая история с географией. Ушакова М.Г., Думанская И.О.	12	60
ДЕЛО БРУНО ПОНТЕКОРВО	2	58
Два взгляда. Булюбаш Б.В.	2	58
Факты и предположения. Герштейн С.С.	2	65
«Дорогой Михаил Михайлович!». Письма советских генетиков И.М.Лернеру. Конашев М.Б.	11	77
Если бы было больше Фарадеев... К 225-летию со дня рождения великого физика. Щербаков Р.Н.	8	73
Краниология Франца Галля. Васильев С.В., Веселовская Е.В., Григорьева О.М., Пестряков А.П.	1	36

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2015 ГОДА

По физике — А.Макдональд, Т.Каджита. Герштейн С.С., Куденко Ю.Г.	1	59
По химии — Т.Линдаль, П.Модрич, А.Санджар. Жарков Д.О., Торгашева Н.А.	1	65
По физиологии или медицине — У.С.Кэмпбелл, С.Омура, Ю.Ту. Сергиев В.П.	1	71
Отечественная волоконная оптика: остановленный взлет. Дианов Е.М.	6	31
ПИСЬМО А.И.ЛЕЙПУНСКОГО Л.Д.ЛАНДАУ	9	74
Из истории письма. Шифман М.А.	9	74
Письмо из Кембриджа в Харьков. Лев Ландау и Александр Лейпунский. Горелик Г.Е.	9	77
Почему Петр I собирал уродов? Радзюн А.Б., Хартанович М.В.	3	74
Природой очарованные странники. Н.М.Пржевальский и его ученики. Андреев А.И.	4	76
Рыцари великого закона. К 175-летию открытия закона сохранения энергии. Щербаков Р.Н.	2	68
Советская генетика и Ф.Г.Добржанский. Конашев М.Б.	5	73
МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ		
Клиническая лабораторная диагностика		
Нанокристаллы с антистоксовой флуоресценцией на пути в медицину. Генералова А.Н., Зубов В.П., Хайдуков Е.В.	11	24
ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ		
Психофизиология		
Распознавание эмоций: гены и опыт. Алфимова М.В.	3	11
СОЦИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ		
Социология культуры		
Зарождение творчества. Панов Е.Н.	7	41
Зарождение творчества: загадки неандертальцев. Панов Е.Н.	8	50
Зарождение творчества: знаки на камне. Панов Е.Н.	9	51
КУЛЬТУРОЛОГИЯ		
Музееведение, консервация и реставрация историко-культурных объектов		
Почему Петр I собирал уродов? Радзюн А.Б., Хартанович М.В.	3	74
НАУКИ О ЗЕМЛЕ		
Общая и региональная геология		
Гармония хаоса олистодромов. Комаров В.Н.	12	55
Доказано существование на Земле Сибирско-Американского континента*. Гладкочуб Д.П.	7	79
Фрагменты древних океанических островов в горах Тянь-Шаня*. Сафонова И.Ю.	9	86
Палеонтология и стратиграфия		
А.Н.Рябинин — первый в России исследователь динозавров. Ермацанс И.А., Болотский И.Ю.	11	68
Геохимический стресс как причина вымирания мамонтов*. Лещинский С.В.	4	88
Новые данные о птерозаврах Поволжья*. Архангельский М.С.	9	89
Первая находка архаичного плезиозавра из среднеюрских отложений Поволжья*. Зверьков Н.Г.	1	81

Первые находки четвертичных насекомых на юге Западной Сибири*.	Легалов А.А., Дудко Р.Ю.	10	90	Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия			
Почему исчезли ихтиозавры?*				В долине замороженной реки Селиндэ.	Махинов А.Н.	9	32
Архангельский М.С.		8	86	Наводнение на Амуре в 2013 году:			
Узоры на когтях дьявола.	Комаров В.Н.	5	59	причины, масштабы, последствия.	Махинов А.Н.	3	26
Юрские динозавры Забайкалья.				Нефтяное загрязнение Азовского и Черного морей			
Алифанов В.Р., Савельев С.В.		4	35	растет.	Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Сойер В.Г.	5	64
		5	39	Океанология			
Минералогия, кристаллография				Атлантика: обмен вещества на границе вода—воздух.			
Илюхинит — новый член семейства фамильных минералов ИК РАН.	Расцветаева Р.К., Аксенов С.М.	9	64	Немировская И.А., Новигатский А.Н., Реджепова З.Ю.		11	56
Король Кальцит.	Расцветаева Р.К.	4	56	Глубоководные коралловые банки.	Келлер Н.Б.	3	51
Менделеевит: новые ракурсы исследования.				Неизвестные биоморфные структуры — природные образования или лабораторный артефакт?			
Рихванов Л.П.		5	70	Козина Н.В., Леин А.Ю., Дара О.М.		4	70
Неповторимый нефрит.	Портнов А.М., Дронова Н.Д.	12	18	Нефтяное загрязнение Азовского и Черного морей			
Литология				растет.	Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Сойер В.Г.	5	64
Разрезы, спрессовавшие время.	Комаров В.Н.	2	48	СЕМЬДЕСЯТ ЛЕТ В ОКЕАНЕ			
Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение				К юбилею Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН		8	3
Подземные льды в бассейне реки Кимпиче.				Имена ученых и научных судов Института океанологии на карте Мирового океана.			
Мурзин Ю.А.		10	60	Алехина Г.Н., Ушакова М.Г., Агапова Г.В.		8	6
Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых				Морская Арктика от П.П.Ширшова до наших дней.			
Новые идеи в геохимии недр и атмосферы Земли*.				Мельников И.А.		8	15
Бялко А.В.		10	88	Климатические ритмы теплового режима Мирового океана.	Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А.	8	26
Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых				Физика атмосферы и гидросферы			
Глубинные источники вулканизма на Кавказе.				Как поживаешь, антарктическая озоновая дыра?			
Кулаков И.Ю., Забелина И.В.		4	73	Киселев А.А., Кароль И.Л.		10	3
Метеорологические цунами: что это такое?				Наземный мониторинг озона на миллиметровых волнах*.	Розанов С.Б.	12	84
Рабинович А.Б., Шепич Я.		1	12	Метеорология, климатология, агрометеорология			
Мощное цунами. В проливе... Керченском.				Комфортна ли погода Водлозерья?			
Никонов А.А.		5	29	Назарова Л.Е., Кузнецова Е.В.		2	54
		7	30	Парижское соглашение по климату: реальны ли цели?			
		5	85	Бялко А.В.		3	3
Почему «поют» землетрясения?*				Гляциология и криология Земли			
Сейсмические деформации в древнем городе Илурате.				Новый природный феномен в зоне вечной мерзлоты.			
Корженков А.М., Овсюченко А.Н., Ларьков А.С.		10	30	Лейбман М.О., Кизяков А.И.		2	15
Следы землетрясений в затерянном городе.				Снегоопасность городов Сахалина.			
Корженков А.М., Варданян А.А., Стаховская Р.Ю.		3	37	Лобкина В.А., Казакова Е.Н.		2	25
Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр				Геоэкология			
ВЗРЫВЫ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ: КАК С НИМИ БОРОТЬСЯ				В долине замороженной реки Селиндэ.	Махинов А.Н.	9	32
Геологические опасности в угольных шахтах.				Заповедные маршруты Кабардино-Балкарии.			
Кизильштейн Л.Я.		7	12	Газаев М.А., Мурзамуратова Л.С., Статова Ю.Г.		1	43
Использование микроорганизмов при борьбе с метаном в угольных шахтах.	Иванов М.В.	7	16	Как глобальное потепление меняет природу сибирской тайги?	Медведков А.А.	12	40
Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов				Нужны ли Алтаю малые ГЭС?	Рыбкина И.Д.	8	34
Баджал. Феномен дальневосточных гор.				Озера северо-западного Синьцзяна.	Горбунов А.П.	7	62
Шлотгауэр С.Д., Кондратьева Е.В.		12	48	АПРЕЛЬСКИЙ ФАКУЛЬТАТИВ			
Климатические циклы в характеристиках ленточных глин озер Хакасии*.	Дарьин А.В.	5	85	Король Кальцит.	Расцветаева Р.К.	4	56
Геоморфология и эволюционная география				ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ			
Меловой карст: особенности современного спелеогенеза.	Трофимова Е.В.	9	68	Атлантика: обмен вещества на границе вода—воздух.			
Тукуланы: песчаные пустыни Якутии.	Галанин А.А., Павлова М.Р., Шапошников Г.И., Лыткин В.М.	11	44	Немировская И.А., Новигатский А.Н., Реджепова З.Ю.		11	56

В царстве летучих драконов. Бобров В.В.	8	60
Как глобальное потепление меняет природу сибирской тайги? Медведков А.А.	12	40
Подземные льды в бассейне реки Кимпиче. Мурзин Ю.А.	10	60
Природный феномен или древний изобразительный комплекс? Успенская М.Б.	3	54
В КОНЦЕ НОМЕРА		
Какой водой лучше утолять жажду? Иванов-Омский В.И.	10	93
Ода собакам Севера. Быкасов В.Е.	7	89
Палеоарт. Наугольных С.В.	2	90
Сложные вопросы о функциях и истории организмов. Гродницкий Д.Л., Пономаренко А.Г., Расницын А.П.	5	92
ВРЕМЕНА И ЛЮДИ		
А.Н.Рябинин — первый в России исследователь динозавров. Ермацанс И.А., Болотский И.Ю.	11	68
АВТОР «КУРСА ФИЗИКИ» ДЛЯ НОБЕЛЕВСКИХ ЛАУРЕАТОВ	10	68
К истории учебника физики О.Д.Хвольсона. Буссемер П., Ржевский В.В.	10	69
Гегель, Геккель, Коссут и Двенадцатая заповедь. Критический этюд. Хвольсон О.Д.	10	77
Б.Б.Голицын — физик на государственной службе. Булюбаш Б.В.	7	69
Владимир Фортов: уравнение состояния в науке. Герштейн С.С., Зеленый Л.М., Сон Э.Е.	1	49
ВСПОМИНАЯ ВИТАЛИЯ ЛАЗАРЕВИЧА	12	66
К 100-летию со дня рождения Гинзбурга	12	68
Живая физика. Кузнецов В.Д.	12	68
Научное общение как работа и жизнь. Кочаровский Вит.В., Кочаровский Вл.В.	12	71
На научной орбите в эпоху Гинзбурга. Дорман Л.И.	12	75
Георгий Ушаков — вот такая история с географией. Ушакова М.Г., Думанская И.О.	12	60
ДЕЛО БРУНО ПОНТЕКОРВО	2	58
Два взгляда. Булюбаш Б.В.	2	58
Факты и предположения. Герштейн С.С.	2	65
Если бы было больше Фарадеев... К 225-летию со дня рождения великого физика. Щербаков Р.Н.	8	73
Культурный импульс профессора Покровского. Гнездилов В.М.	3	65
Минералогическая коллекция и ее создатели. Минина Е.Л.	1	88
ПИСЬМО А.И.ЛЕЙПУНСКОГО Л.Д.ЛАНДАУ	9	74
Из истории письма. Шифман М.А.	9	74
Письмо из Кембриджа в Харьков. Лев Ландау и Александр Лейпунский. Горелик Г.Е.	9	77
Природой очарованные странники. Н.М.Пржевальский и его ученики. Андреев А.И.	4	76
Рыцари великого закона. К 175-летию открытия закона сохранения энергии. Щербаков Р.Н.	2	68
Советская генетика и Ф.Г.Добржанский. Конашев М.Б.	5	73

Специальный выпуск

К 100-ЛЕТИЮ АЛЕКСАНДРА МИХАЙЛОВИЧА ПРОХОРОВА		
Всегда на гребне волны	6	3
Чем наука отличается от рыбной ловли. Прохоров А.М.	6	4
ЖИЗНЬ ЧЕЛОВЕКА		
Хроника: 1916–2002 ¹ .	6	6
Первая глава. Из воспоминаний Г.А.Прохоровой	6	14
ЖИЗНЬ ИДЕЙ		
Светогидравлический эффект Прохорова—Аскарьяна—Шипуло. Андреев С.Н., Кочнев Д.Г., Шафеев Г.А., Щербаков И.А.	6	22
Отечественная волоконная оптика: остановленный взлет. Дианов Е.М.	6	31
Фотоэлектронная «лупа времени». Щелев М.Я.	6	41
Лазерная интерферометрия: за занавесом триумфа. Халили Ф.Я.	6	54
Релятивистские плазменные зеркала. Буланов С.В.	6	62
Лазеры — зрению. Вартапетов С.К., Щербаков И.А.	6	70
ЖИЗНЬ ПАМЯТИ		
Такая замечательная жизнь. Фортов В.Е.	6	80
Штрихи воспоминаний. Алферов Ж.И.	6	82
Александр Михайлович был смелым человеком. Бункин Ф.В.	6	85
Александр Михайлович Прохоров ² . Таунс Ч.Х.	6	87
Несколько слов о моем дедушке. Прохоров А.К.	6	88
Австралия помнит. Дианов Е.М.	6	92

ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

Гармония хаоса олистостромов. Комаров В.Н.	12	55
Дубровник и клоктун: опасные флуктуации численности. Колбин В.А.	8	69
Меловой карст: особенности современного спелеогенеза. Трофимова Е.В.	9	68

НАУКА И ОБЩЕСТВО

Почему Петр I собирал уродов? Радзюн А.Б., Хартанович М.В.	3	74
Эхо океана в московском музее. Сидорова Е.В., Ушакова М.Г.	9	71

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Баджал. Феномен дальневосточных гор. Шлотгауэр С.Д., Кондрагьева Е.В.	12	48
Глубинные источники вулканизма на Кавказе. Кулаков И.Ю., Забелина И.В.	4	73
Глубоководные коралловые банки. Келлер Н.Б.	3	51
Илюхинит — новый член семейства фамильных минералов ИК РАН. Расцветаева Р.К., Аксенов С.М.	9	64
Комфортна ли погода Водлозерья? Назарова Л.Е., Кузнецова Е.В.	2	54
Менделеевит: новые ракурсы исследования. Рихванов Л.П.	5	70

¹ Материал подготовлен Т.Б.Воляк и Г.Н.Михайловой.

² Перевод А.К.Прохорова.

Неизвестные биоморфные структуры — природные образования или лабораторный артефакт?

Козина Н.В., Леин А.Ю., Дара О.М. 4 70

Нефтяное загрязнение Азовского и Черного морей

растет. **Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Соьер В.Г.** 5 64

Новый Иерусалим в контексте культуры и истории Московской Руси. **Беляев Л.А., Глазунова О.Н., Капитонова М.А.** 11 64

Озера северо-западного Сибиряна. **Горбунов А.П.** 7 62

Разрезы, спрессовавшие время. **Комаров В.Н.** 2 48

Сверхъяркая сверхновая ASASSN-15lh. **Пружинская М.В.** 3 48

Сульфатвосстанавливающие бактерии: великие дела маленьких существ. **Кизильштейн Л.Я.** 2 51

Точечное воздействие в иммунотерапии рака. **Кондратова М.С.** 3 45

Узоры на когтях дьявола. **Комаров В.Н.** 5 59

Хищный клоп периллюс осваивает юг России. **Нейморовец В.В.** 2 43

НОВЫЕ КНИГИ

1 85, 2 86, 3 94, 4 93, 5 90, 7 88, 8 94, 9 95, 10 92, 11 93, 12 87

ОБЪЯВЛЕНИЯ

7 96, 8 95, 9 96

РЕДАКЦИОННАЯ ПОЧТА

Книга вышла декоративная, а могла стать и познавательной. **Колбин В.А.** 5 81

РЕЦЕНЗИИ

«Некоторая история вопроса» (на кн.: С.Г.Инге-Вечтомов. Ретроспектива генетики: Курс лекций). **Бородин П.М.** 5 87

В подтверждение вышесказанного? (на кн.: М.В.Родкин. Катастрофы и цивилизации. Проблема выживания цивилизаций глазами физика). **Рундквист Д.В.** 4 91

Внешние воздействия и наше здоровье (на кн.: В.А.Черешнев, А.Г.Гамбурцев, А.В.Сигачёв, Л.Ф.Верхотурова, Е.В.Горбаренко, Н.Г.Гамбурцева. Внешние воздействия — стрессы — заболеваемость). **Пономарев А.В., Степанова С.И.** 9 90

Древние существа Земли и среда их обитания (на кн.: М.С.Архангельский, А.В.Иванов. Картины прошлого Земли. Палеоэкологические этюды). **Комаров В.Н.** 2 83

Книга о выдающемся биологе-эволюционисте и педагоге (на кн.: Э.И.Колчинский. Кирилл Михайлович Завадский. 1910–1977). **Трускинов Э.В.** 7 81

Олень его жизни (на кн.: А.А.Данилкин. Косули: Биологические основы управления ресурсами). **Баскин Л.М.** 8 89

Природноочаговые болезни на карте России (на кн.: Природноочаговые болезни: Медико-географический атлас России / Ред. С.М.Малхазова). **Равкин Ю.С., Соловьев С.А.** 3 91

Удивительная книга о первопроходцах Арктики (на кн.: Первоначальное заселение Арктики человеком в условиях меняющейся природной среды: Атлас-монография / Отв. ред. В.М.Котляков, А.А.Величко, С.А.Васильев). **Корякин В.С.** 1 82

Авторский указатель за 2016 год

Агапова Г.В.		Алфимова М.В.	3 11	Бауло А.В.	3 89
(Алехина Г.Н., Ушакова М.Г.)*	8 6	Андреев А.И.	4 76	Беляев Л.А. (Глазунова О.Н., Капитонова М.А.)	11 64
Аксенов С.М. (Расцветаева Р.К.)	9 64	Андреев С.Н. (Кочиев Д.Г., Шафеев Г.А., Щербаков И.А.)	6 22	Берман Д.И. (Булахова Н.А., Алфимов А.В., Мещерякова Е.Н.)	10 16
Алексеев А.В. (Энговатова А.В., Двуреченский О.В.)	7 80	Андреев Я.А. (Логашина Ю.А., Лубова К.И., Василевский А.А., Козлов С.А.)	12 3	Берман Д.И. (Шеховцов С.В., Пельтек С.Е.)	5 16
Алехина Г.Н.		Антонов Р.А.		Бобров В.В.	8 60
(Ушакова М.Г., Агапова Г.В.)	8 6	(Роганова Т.М., Чернов Д.В.)	4 86	Богомоллова Е.В. (Малахов В.В.)	11 33
Алифанов В.Р. (Савельев С.В.)	4 35	Аптекарь Р.Л.	9 84	Болотский И.Ю. (Ермацанс И.А.)	11 68
		Архангельский М.С.	8 86	Бородин П.М.	5 87
Алферов Ж.И.	6 82		9 89	Буланов С.В.	6 62
Алфимов А.В. (Берман Д.И., Булахова Н.А., Мещерякова Е.Н.)	10 16			Булахова Н.А. (Берман Д.И., Алфимов А.В., Мещерякова Е.Н.)	10 16
		Базилевский А.Т. (Маркевич В.Е.)	9 3		
		Баскин Л.М.	8 89		

* Здесь и далее в скобках указаны соавторы.

Булюбаш Б.В.	2	58	Григорьева О.М. (Васильев С.В., Веселовская Е.В., Пестряков А.П.)	1	36	Козлов С.А. (Андреев Я.А., Логашина Ю.А., Лубова К.И., Василевский А.А.)	12	3
Бункин Ф.В.	6	85	Гродницкий Д.Л.			Колбин В.А.	5	81
Буссемер П. (Ржевский В.В.)	10	69	(Пономаренко А.Г., Расницын А.П.)	5	92	Комаров В.Н.	2	48
Быкасов В.Е.	7	89	Дара О.М.			(Козина Н.В., Леин А.Ю.)	4	70
Быков А.М. (Красильщиков А.М., Холупенко Е.Е.)	7	77	Дарьин А.В.	5	85	Двуреченский О.В.	12	55
Бышев В.И.			(Энговатова А.В., Алексеев А.В.)	7	80	Дергалёв А.А.	5	9
(Нейман В.Г., Романов Ю.А.)	8	26	Дианов Е.М.	6	31	Кондратова М.С.	3	45
Бялко А.В.	3	3		6	92	Кондратьева Е.В. (Шлотгауэр С.Д.)	12	48
Вайнола Р.О.			Дорман Л.И.	12	75	Корженков А.М.		
(Стрелков П.П., Лайус Д.Л.)	10	51	Дроздов Ф.В. (Пономаренко С.А.)	4	3	(Варданян А.А., Стаховская Р.Ю.)	3	37
Вайсберг О.Л.	2	78	Дронова Н.Д. (Портнов А.М.)	12	18	Корженков А.М.		
Валиулин С.В. (Дубцов С.Н.)	11	90	Дубцов С.Н. (Валиулин С.В.)	11	90	(Овсяченко А.Н., Ларьков А.С.)	10	30
Варданян А.А. (Корженков А.М., Стаховская Р.Ю.)	3	37	Дудко Р.Ю. (Легалов А.А.)	10	90	Корякин В.С.	1	82
Вартапетов С.К. (Щербаков И.А.)	6	70	Думанская И.О. (Ушакова М.Г.)	12	60	Кочаровский Вит.В.		
Василевский А.А. (Андреев Я.А., Логашина Ю.А., Лубова К.И., Козлов С.А.)	12	3	Ежова О.В. (Малахов В.В.)	7	22	(Кочаровский Вл.В.)	12	71
Васильев С.В. (Веселовская Е.В., Григорьева О.М., Пестряков А.П.)	1	36	Ермацанс И.А. (Болотский И.Ю.)	11	68	Кочаровский Вл.В.	12	71
Веселовская Е.В. (Васильев С.В., Григорьева О.М., Пестряков А.П.)	1	36	Ефремова М.В. (Мажуга А.Г., Головин Ю.И., Клячко Н.Л.)	7	3	Кочиев Д.Г. (Андреев С.Н., Шафеев Г.А., Щербаков И.А.)	6	22
Вольнский А.Л.	1	3	Жарков Д.О. (Торгашева Н.А.)	1	65	Красильщиков А.М. (Быков А.М., Холупенко Е.Е.)	7	77
Воронежская Е.Е.	2	80	Забелина И.В. (Кулаков И.Ю.)	4	73	Куденко Ю.Г. (Герштейн С.С.)	1	59
Газев М.А. (Мурзамуратова Л.С., Статова Ю.Г.)	1	43	Зайцева И.Е.	12	85	Кузнецов В.Д.	12	68
Гайдук П.Г. (Олейников О.М.)	8	87	(Макаров Н.А., Угулава Н.Д.)	12	85	Кузнецова Е.В. (Назарова Л.Е.)	2	54
Галанин А.А. (Павлова М.Р., Шапошников Г.И., Лыткин В.М.)	11	44	Зверьков Н.Г.	1	81	Кулаков И.Ю. (Забелина И.В.)	4	73
Галибина Н.А.			Зеленый Л.М.			Лайус Д.Л.		
(Новицкая Л.Л., Никерова К.М.)	9	87	(Герштейн С.С., Сон Э.Е.)	1	49	(Стрелков П.П., Вайнола Р.О.)	10	51
Галушина Т.Ю.	8	83	Зотов Л.В.			Ларьков А.С. (Корженков А.М., Овсяченко А.Н.)	10	30
Гельфанд М.С.	1	27	(Фролова Н.Л., Шам С.К.)	5	3	Легалов А.А. (Дудко Р.Ю.)	10	90
	2	3	Зубов В.П.			Леин А.Ю.		
	10	39	(Генералова А.Н., Хайдуков Е.В.)	11	24	(Козина Н.В., Дара О.М.)	4	70
Гельфанд М.С. (Сернова Н.В.)	12	10	Иванов М.В.	7	16	Лейбман М.О. (Кизяков А.И.)	2	15
Генералова А.Н.			Иванов-Омский В.И.	10	93	Лещинский С.В.	4	88
(Зубов В.П., Хайдуков Е.В.)	11	24	Казакова Е.Н. (Лобкина В.А.)	2	25	Лобкина В.А. (Казакова Е.Н.)	2	25
Герштейн С.С.	2	65	Капаччиоли М.			Логашина Ю.А. (Андреев Я.А., Лубова К.И., Василевский А.А., Козлов С.А.)	12	3
Герштейн С.С.			(Сажина О.С., Сажин М.В.)	11	3	Лубова К.И. (Андреев Я.А., Логашина Ю.А., Василевский А.А., Козлов С.А.)	12	3
(Зеленый Л.М., Сон Э.Е.)	1	49	Капитонова М.А.			Луговинов А.А.	11	88
Герштейн С.С.			(Беляев Л.А., Глазунова О.Н.)	11	64	Лыткин В.М. (Галанин А.А., Павлова М.Р., Шапошников Г.И.)	11	44
(Куденко Ю.Г.)	1	59	Кароль И.Л. (Киселев А.А.)	10	3			
Гладкочуб Д.П.	7	79	Касацкая С.А.	2	8			
Гладченков А.А.			Келлер Н.Б.	3	51			
(Рукавишников И.В.)	1	80	Кизильштейн Л.Я.	2	51			
Глазунова О.Н.			Кизяков А.И. (Лейбман М.О.)	7	12			
(Беляев Л.А., Капитонова М.А.)	11	64	Киселев А.А. (Кароль И.Л.)	10	3	Мажуга А.Г. (Ефремова М.В., Головин Ю.И., Клячко Н.Л.)	7	3
Гнездилов В.М.	3	65	Клячко Н.Л. (Ефремова М.В., Мажуга А.Г., Головин Ю.И.)	7	3	Макаров Н.А.		
Головин Ю.И. (Ефремова М.В., Мажуга А.Г., Клячко Н.Л.)	7	3	Ковальчук М.В.	9	24	(Зайцева И.Е., Угулава Н.Д.)	12	85
Голубовский М.Д.	9	14	Козина Н.В.			Малахов В.В. (Богомолова Е.В.)	11	33
Горбунов А.П.	7	62	(Леин А.Ю., Дара О.М.)	4	70	Малахов В.В. (Ежова О.В.)	7	22
Горелик Г.Е.	9	77	Козлов А.Н.	5	84	Маркевич В.Е. (Базилевский А.Т.)	9	3

Маркос Х.Г. (Табарев А.В., Попов А.Н.)	2	81	Пружинская М.В.	3	48	Трускинов Э.В.	7	81
Матишов Г.Г. (Степаньян О.В., Харьковский В.М., Сойер В.Г.)	5	64	Рабинович А.Б. (Шепич Я.)	1	12	Тюрин А.В. (Хатунцев И.В., Федорова А.А., Пацаева М.В.)	10	87
Махинов А.Н.	3	26	Равкин Ю.С. (Соловьев С.А.)	3	91	Угулава Н.Д. (Макаров Н.А., Зайцева И.Е.)	12	85
Медведков А.А.	12	40	Радзюн А.Б. (Хартанович М.В.)	3	74	Успенская М.Б.	3	54
Мельников И.А.	8	15	Расницын А.П. (Гродницкий Д.Л., Пономаренко А.Г.)	5	92	Ушакова М.Г. (Алехина Г.Н., Агапова Г.В.)	8	6
Мещерякова Е.Н. (Берман Д.И., Булахова Н.А., Алфимов А.В.)	10	16	Расцветаева Р.К. (Аксенов С.М.)	9	64	Ушакова М.Г. (Думанская И.О.)	12	60
Минина Е.Л.	1	88	Реджепова З.Ю. (Немировская И.А., Новигатский А.Н.)	11	56	Ушакова М.Г. (Сидорова Е.В.)	9	71
Михайлов К.Г.	1	79	Ржевский В.В. (Буссемер П.)	10	69	Федорова А.А. (Хатунцев И.В., Пацаева М.В., Тюрин А.В.)	10	87
Мурзамуратова Л.С. (Газаев М.А., Статова Ю.Г.)	1	43	Рихванов Л.П.	5	70	Фортос В.Е.	6	80
Мурзин Ю.А.	10	60	Роганова Т.М. (Антонов Р.А., Чернов Д.В.)	4	86	Фролова Н.Л. (Зотов Л.В., Шам С.К.)	5	3
Назарова Л.Е. (Кузнецова Е.В.)	2	54	Розанов С.Б.	12	84	Хайдукос Е.В. (Генералова А.Н., Зубов В.П.)	11	24
Наугольных С.В.	2	90	Романов Ю.А. (Бышев В.И., Нейман В.Г.)	8	26	Халили Ф.Я.	6	54
Нейман В.Г.	2	43	Руденко В.Н.	4	15	Хартанович М.В. (Радзюн А.Б.)	3	74
(Бышев В.И., Романов Ю.А.)	8	26	Рукавишникова И.В. (Гладченков А.А.)	1	80	Харьковский В.М. (Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Сойер В.Г.)	5	64
Нейморовец В.В.	2	43	Рундквист Д.В.	4	91	Хатунцев И.В. (Федорова А.А., Пацаева М.В., Тюрин А.В.)	10	87
Немировская И.А. (Новигатский А.Н., Реджепова З.Ю.)	11	56	Рыбкина И.Д.	8	34	Хвольсон О.Д.	10	77
Никельшпарг Э.И.	3	17	Савельев С.В. (Алифанов В.Р.)	4	35	Холупенко Е.Е. (Быков А.М., Красильщиков А.М.)	7	77
Никерова К.М. (Новицкая Л.Л., Галибина Н.А.)	9	87	Сажин М.В. (Капаччиоли М., Сажина О.С.)	11	3	Цхай С.Н.	1	76
Никонов А.А.	5	29	Сажина О.С. (Капаччиоли М., Сажин М.В.)	11	3	Чашечкин Ю.Д.	11	13
Новигатский А.Н. (Немировская И.А., Реджепова З.Ю.)	11	56	Сафонов А.И. (Тимошенко Н.И.)	7	78	Чернов Д.В. (Антонов Р.А., Роганова Т.М.)	4	86
Новицкая Л.Л. (Галибина Н.А., Никерова К.М.)	9	87	Сафонова И.Ю.	9	86	Черных Е.Н.	4	45
Обухова Н.Ю.	9	42	Сергиев В.П.	1	71	Шам С.К. (Зотов Л.В., Фролова Н.Л.)	5	3
Овсяченко А.Н. (Корженков А.М., Ларьков А.С.)	10	30	Сернова Н.В. (Гельфанд М.С.)	12	10	Шапошников Г.И. (Галанин А.А., Павлова М.Р., Лыткин В.М.)	11	44
Олейников О.М. (Гайдуков П.Г.)	8	87	Сидорова Е.В. (Ушакова М.Г.)	9	71	Шафеев Г.А. (Андреев С.Н., Кочиев Д.Г., Щербаков И.А.)	6	22
Павлова М.Р. (Галанин А.А., Шапошников Г.И., Лыткин В.М.)	11	44	Сойер В.Г. (Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М.)	5	64	Шепич Я. (Рабинович А.Б.)	1	12
Паничев А.М.	4	25	Соловьев С.А. (Равкин Ю.С.)	3	91	Шеховцов С.В. (Берман Д.И., Пельтек С.Е.)	5	16
Панов Е.Н.	7	41	Соловьева Е.А.	4	89	Шифман М.А.	9	74
Пацаева М.В. (Хатунцев И.В., Федорова А.А., Тюрин А.В.)	10	87	Сон Э.Е. (Герштейн С.С., Зеленый Л.М.)	1	49	Шлоттауэр С.Д. (Кондратьева Е.В.)	12	48
Пельтек С.Е. (Берман Д.И., Шеховцов С.В.)	5	16	Статова Ю.Г. (Газаев М.А., Мурзамуратова Л.С.)	1	43	Щелев М.Я.	6	41
Пестряков А.П. (Васильев С.В., Веселовская Е.В., Григорьева О.М.)	1	36	Стаховская Р.Ю. (Корженков А.М., Варданян А.А.)	3	37	Щербаков И.А. (Андреев С.Н., Кочиев Д.Г., Шафеев Г.А.)	6	22
Пономарев А.В. (Степанова С.И.)	9	90	Степанова С.И. (Пономарев А.В.)	9	90	Щербаков И.А. (Вартапетов С.К.)	6	70
Пономаренко А.Г. (Гродницкий Д.Л., Расницын А.П.)	5	92	Степаньян О.В.	2	32	Щербаков Р.Н.	2	68
Пономаренко С.А. (Дроздов Ф.В.)	4	3	Степаньян О.В. (Матишов Г.Г., Харьковский В.М., Сойер В.Г.)	5	64	Энговатова А.В. (Двуреченский О.В., Алексеев А.В.)	7	80
Попов А.Н. (Табарев А.В., Маркос Х.Г.)	2	81	Стрелков П.П. (Лайус Д.Л., Вайнола Р.О.)	10	51			
Портнов А.М. (Дронова Н.Д.)	12	18	Супренков А.А.	11	91			
Прохоров А.К.	6	88	Табарев А.В. (Попов А.Н., Маркос Х.Г.)	2	81			
Прохоров А.М.	6	4	Таунс Ч.Х.	6	87			
Прохорова Г.А.	6	14	Тимошенко Н.И. (Сафонов А.И.)	7	78			
			Ткаченко К.Н.	8	42			
			Торгашева Н.А. (Жарков Д.О.)	1	65			
			Трофимова Е.В.	9	68			

Информация для авторов

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

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

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

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

ПРИРОДА

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Научные редакторы
М.Б.БУРЗИН

Т.С.КЛЮВИТКИНА

К.Л.СОРОКИНА

Н.В.УЛЬЯНОВА

М.Е.ХАЛИЗЕВА

О.И.ШУТОВА

А.О.ЯКИМЕНКО

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Перевод
А.О.ЯКИМЕНКО

Графика, верстка:
С.В.УСКОВ

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Президиум Российской академии наук

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

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

Подписано в печать 18.11.2016
Формат 60×88 1/8
Бумага офсетная. Офсетная печать
Усл. печ. л. 11,16. Уч. изд. л. 12,2
Тираж 295 экз.
Заказ 884
Цена свободная

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

www.ras.ru/publishing/nature.aspx

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.

в следующем номере



Детальный фотогеологический анализ поверхности северных равнин Марса показал существование там в далеком прошлом резервуаров протяженностью в тысячи километров. Такие образования относятся к естественным формам рельефа, имеющим водное происхождение. Итак, вода на Марсе была и есть. Однако размеры проявлений ее геологической деятельности менялись с течением времени.

При всей несомненности присутствия воды надежных признаков жизни, хотя бы микроскопической, на Марсе пока не найдено. Это дает основание думать, что вода, хоть и необходимое, но все-таки недостаточное условие для возникновения и поддержания жизни. А может, мы просто не там ищем? Может быть, марсианская жизнь скрывается под поверхностью планеты — где теплее, и где, возможно, существует вода в свободном состоянии, и где нет губительной для живых организмов солнечной радиации?

Иванов М.А. ОКЕАН НА МАРСЕ: МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

