

ПРИРОДА

10 2019

РОССИЯ — РОДИНА ТИТАНОЗАВРОВ?

Ископаемые остатки этих динозавров ранее были практически неизвестны в России. Исследования 2017–2018 гг. проясняют важные этапы их эволюции.

С.26



ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
Издается с января 1912 года

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

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

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

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Титанозавр рюкватитан из мела Танзании.
Фрагмент рисунка А.А.Атучина. См. в номере: **А.О.Аверьянов**. *Титанозавры России*.

В НОМЕРЕ:

3 А.В.Розенфельд

Карманная лаборатория для новых лекарств

Какому ученому не хотелось бы иметь миниатюрную лабораторию, которая помещалась бы в карман? Ученые из Германии создали капельную микрочиповую платформу, позволяющую проводить тысячи экспериментов одновременно, экономя время, биоматериал, дорогостоящие реактивы и оборудование. Новая технология может значительно ускорить появление новых лекарственных средств, а также индивидуальный подбор препаратов для терапии различных заболеваний, особенно онкологических.

9 Н.В.Томин, И.С.Бутов, В.С.Алексинский, А.В.Московский, П.В.Флоренский, М.А.Дебелый

Мироточащие иконы: что говорит наука?

Изучение выделений на «чудотворных» иконах часто понимается как чисто религиозная область, лежащая за пределами научных изысканий. Однако современный методологический аппарат и специализированное лабораторное оборудование позволяют беспристрастно исследовать мироточение икон.

19 Ю.А.Мурзин

Вечная мерзлота Туостакской впадины

В низовьях реки Адычи, в Туостакской впадине, развита мощная толща вечной мерзлоты. Здесь можно встретить различные виды подземных льдов и многочисленные криогенные формы рельефа — от булгуных озер, термокарстовых озер и аласов до нагорных террас и каменных морей.

26 А.О.Аверьянов

Титанозавры России

Титанозавры — одна из групп гигантских мезозойских ящеров завропод. Исследования 2017–2018 гг. дали три новых таксона этих динозавров. Изучение завропод (ранее практически неизвестных на территории России) позволит прояснить важные этапы эволюции титанозавров в Азии.

35 М.В.Родкин, С.А.Пунанова

Идеи Д.И.Менделеева и происхождение нефти

Кроме открытия периодического закона широкую известность Д.И.Менделеев получил также благодаря своей гипотезе о мантийном образовании нефти, положившей начало абиогенной теории нефтидогенеза.

43 А.В.Никитин, С.Ф.Измайлов

Новое о нитрате: сигналинг у растений в действии

В одном из недавних номеров журнала (2018. №4) рассказывалось о свойствах нитрата как сигнального агента в растениях. Теперь речь пойдет о механизмах реализации такого действия.

49 В.А.Брылёв, Ю.П.Князев, С.Н.Моников

Эльтонско-Баскунчакский регион — кандидат в список всемирного наследия ЮНЕСКО

Эльтонско-Баскунчакский регион — важный стратиграфический и палеонтологический объект, а также уникальный памятник недропользования, где можно проследить основные стадии добычи соли — от примитивных разработок до промышленной добычи.

56 ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

В.А.Колбин

Золотистая ржанка на Вишерском Урале

62 ВРЕМЕНА И ЛЮДИ

Р.Н.Щербаков

Л.Д.Ландау и А.И.Китайгородский как просветители и популяризаторы науки

73 НОВОСТИ НАУКИ

Клещевые инфекции (**73**). О миграциях морских мезозойских рептилий. **Н.Г.Зверьков, М.С.Архангельский (75)**. Мутация, позволяющая спать меньше (**76**).

77 НОВЫЕ КНИГИ

79 В КОНЦЕ НОМЕРА

В.Н.Комаров

Война миров

CONTENTS:

3 A.V.Rosenfeld

Pocket Lab for New Drugs

Which scientist would not want to have a miniature laboratory that fits in a pocket? Scientists from Germany have created a drip microchip platform that allows thousands of experiments to be carried out simultaneously, saving time, biomaterial, and expensive chemicals and equipment. New technology can significantly speed up the process of finding new drugs, as well as the enable personalized selection of treatment of various diseases, especially oncological ones.

9 N.V.Tomin, I.S.Butov, V.S.Aleksinsky,
A.V.Moskovsky, P.V.Florensky, M.A.Debelyy

Myrrh-Streaming Icons: What Does Science Say?

The studies on «wonder-working» weeping icons are usually understood as purely religious field that lies beyond the scope of scientific research. However, the modern methodological apparatus and specialized laboratory equipment allow an impartial study of the myrrh-streaming of icons.

19 Yu.A.Murzin

Permafrost of the Tuostakh Depression

In the lower reaches of the Adychi River, in the Tuostakh Depression, a thick layer of permafrost is developed. Here you can find various types of underground ice and wide variety of periglacial landforms — from the pingos, thermokarst lakes, and alases to upland terraces and felsenmeers.

26 A.O.Averianov

Titanosaurs of Russia

Titanosaurs is one of the groups of giant Mesozoic sauropods dinosaurs. Studies of 2017–2018 result in describing of three new taxa of these dinosaurs. The study of sauropods (previously almost unknown in Russia) will clarify the important stages in the evolution of Titanosauria in Asia.

35 M.V.Rodkin, S.A.Punanova

The Ideas of D.I.Mendeleev and the Origin of Oil

In addition to formulation the Periodic Law, D.I.Mendeleev also came to prominence by his hypothesis on the mantle formation of petroleum, which laid the foundation for the abiogenic theory of naftidogenesis.

43 A.V.Nikitin, S.F.Izmailov

New on Nitrate. Signaling in Action in Plants

This communication is a continuation of the previously published report (2018. №4) about the properties of nitrate as a signaling agent in plants. The problems of implementation mechanisms of such an action are considered.

49 V.A.Brylev, Yu.P.Knyazev, S.N.Monikov

Elton–Baskunchak Region — Candidate in the World Heritage List

The Elton–Baskunchak region is proposed to be included in the UNESCO World Heritage List. This is an important stratigraphic and paleontological object, as well as a unique natural monument of subsoil management where you can trace the main stages of salt production – from primitive mining to industrial production.

56 NOTES AND OBSERVATIONS

V.A.Kolbin

European Golden Plover in the Vishera Urals

62 TIMES AND PEOPLE

R.N.Shcherbakov

L.D.Landau and A.I.Kitaigorodsky as Educators and Science Communicators

73 SCIENCE NEWS

Tick-Borne Diseases (**73**). Migrations of Marine Mesozoic Reptiles. **N.G.Zverkov, M.S.Arkhangel'sky (75)**. A Mutation that Allows You to Sleep Less (**76**).

77 NEW BOOKS

79 IN THE END OF THE ISSUE

V.N.Komarov

The War of the Worlds

Карманная лаборатория для новых лекарств

А.В.Розенфельд

Институт токсикологии и генетики Технологического института Карлсруэ (Карлсруэ, Германия)

Для поиска новых лекарств служат библиотеки химических веществ, действие которых сначала необходимо проверять на клетках. Традиционные способы такого скрининга слишком трудоемкие, дорогие и требуют огромного расхода клеточного материала и самих веществ. Группа ученых из Германии создала платформу на основе одновременно водоотталкивающего и смачиваемого полимера, благодаря которой за считанные секунды можно образовать тысячи капель, содержащих клеточную культуру. Платформа делает возможным одновременное проведение тысяч токсикологических экспериментов на обычных и стволовых клетках. Это ускоряет процесс нахождения новых биоактивных веществ и делает возможным индивидуальный подбор медикаментов.

Ключевые слова: комбинаторные библиотеки, высокопроизводительный синтез, микрочипы, активные материалы, реагирующие на раздражители материалы.

Романтики с восхищением смотрят на звездное небо, ученые, разрабатывающие новые лекарства, черпают вдохновение в химическом пространстве, которое населяют миллиарды и миллиарды самых разных химических веществ. И подобно тому, как звезды объединяются в галактики, ученые группируют химические вещества в так называемые комбинаторные библиотеки. Когда приходит время для поиска нового лекарства, тысячи, а то и миллионы веществ из одной библиотеки сначала тестируют на клетках в надежде, что будет найден достойный кандидат для доклинических (на животных) испытаний, а затем и клинических (на людях). В предварительных экспериментах используются разные виды клеток — раковые, стволовые или, например, клетки почек. Чтобы клетки чувствовали себя хорошо, их помещают в питательную среду и растят в атмосфере углекислого газа и практически стопроцентной влажности в специальных инкубаторах.

В отличие от Александра Флеминга (1881–1955), открывшего пенициллин по счастливой случайности, современные исследователи пользуются в процессе создания новых лекарств достижениями робототехники и информатики. Молекулярное моделирование помогает отсеять совсем бесперспективные вещества еще до начала эксперимента, а роботы выполняют за ученых многие рутинные задачи. Новые лаборатории буквально напичканы ком-



Алиса Владиславовна Розенфельд, аспирант Института токсикологии и генетики Технологического института Карлсруэ (Германия). Область научных интересов — разработка высокопроизводительных комбинаторных методов синтеза «умных» материалов для биомедицинских и биотехнологических целей. Лауреат конкурса «Био/мол/текст–2017». e-mail: alisa.rosenfeld@kit.edu

пьютерами и лабораторными киборгами. Но какому ученому не хотелось бы иметь настолько маленькую лабораторию, чтобы она помещалась в карман, да еще и проводить по тысяче экспериментов за раз?

Прототип такой миниатюрной высокопроизводительной лаборатории сделали сотрудники Института токсикологии и генетики (Institute of Toxicology and Genetics, ITG), входящего в состав Технологического института Карлсруэ (Karlsruhe Institute of Technology, KIT). В Северном кампусе этого института раньше проводили регенерацию ядерного топлива, а сейчас у окошка с видом на захоронение 60 тыс. тонн мало- и среднерadioактивных ядерных отходов живет моя кофейная чашка, ободряющая в суровые аспирантские будни. Я работаю в группе функциональных и «умных» материалов, которой руководит московский химик Павел Левкин*. Именно в этой группе придумали,

* www.levkingroup.com

как превратить обычную стеклянную пластинку (слайд) в целую лабораторию для исследования стволовых и обычных клеток, при этом находить новые лекарства.

Исследование стволовых клеток — полоса препятствий

Стволовые клетки — настоящие маги-оборотни. Они могут превращаться (дифференцироваться) в практически любую клетку нашего организма, например в клетку сердца или в нервную клетку. Эта способность называется плюрипотентностью. В то время как обычная клетка просто умирает от старости или повреждений, стволовые клетки могут самообновляться и размножаться. Именно плюрипотентность и самообновление отличает стволовые клетки от остальных клеток и делает их уникальным объектом для исследований. Недаром за создание первых индуцированных плюрипотентных стволовых клеток в 2012 г. была присуждена Нобелевская премия по физиологии или медицине*, а самая крупная в мире биомедицинская организация — Национальные институты здравоохранения США (National Institutes of Health, NIH) — щедро финансирует исследования, связанные со стволовыми клетками. Так, в 2018 г. было выделено более 1.8 млрд долларов, а в 2019 г. NIH планирует потратить более 1.9 млрд, т.е. примерно столько же, сколько тратится на изучение ишемической болезни сердца, рака молочной железы и атеросклероза вместе взятых**.

Сохранить характерные для стволовых клеток свойства (способность к самообновлению и генерации) в лабораторных условиях сложно, потому что пока неизвестны все факторы, которые влияют на превращение стволовых клеток в обычные [1]. Как только стволовая клетка дифференцировалась, она перестает быть стволовой. Получившиеся клетки можно использовать в регенеративной медицине и тканевой инженерии, но их уникальные качества, называемые в англоязычной литературе «stemness» (буквально — «стволовость»), уже утрачены.

Чтобы узнать, в каких условиях «стволовость» сохраняется дольше всего, ученые добавляют к стволовым клеткам всевозможные вещества и смотрят, сохранили ли клетки это свойство или превратились в другие клетки. Чтобы как можно быстрее получить точные данные, сотни таких экспериментов проводят одновременно. Такое серий-

* Подробнее см.: *Шутова М.В., Киселев С.Л.* Нобелевская премия по физиологии или медицине 2012 года — Д.Гёрдон, С.Яманака // Природа. 2013. №1. С.82–86.

** Полный перечень биомедицинских проблем, которые финансирует NIH, см.: report.nih.gov/categorical_spending.aspx.

ное тестирование веществ из библиотек химических соединений называется высокопроизводительным скринингом (англ. high-throughput screening). С этой целью во многих лабораториях мира используют микротитрационные планшеты, которые представляют собой прямоугольные пластиковые плашки с большим количеством углублений, где и хранят стволовые клетки и куда потом добавляют тестируемые вещества. Количество таких микропробирок обычно не превышает 1536 — столько веществ или их комбинаций можно за раз опробовать на клетках. Чтобы не заполнять многие сотни микропробирок самостоятельно, ученые используют роботов, которые с помощью пипетки переносят нужное количество исследуемых веществ в соответствующее углубление планшета.

Однако эта работа очень кропотливая и занимает много времени даже у самого дорогого и современного робота. Кроме того, хотя углубления в планшете довольно малы (но не меньше 40 мкл, т.е. 40 миллионных долей литра), в каждом эксперименте расходуется большое количество дорогих стволовых клеток, не говоря уж о необходимости использования сложной и дорогостоящей робототехники. Это тормозит работу многих исследовательских лабораторий.

Спонтанные капли для выращивания клеток

Как же уменьшить количество используемых стволовых клеток и исключить из уравнения дорогого и медленного робота? Для этого перенесемся обратно в Германию. Представьте, что мы едем по скоростному немецкому автобану ко мне на работу в Северный кампус. С самого утра моросит дождь — типичная немецкая осень. К лобовому стеклу прилипают капли. В какой-то момент две маленькие капли обнимаются и начинают лениво стекать вниз, подминая под себя другие капли и становясь все больше и больше. Можно делать ставки, какая лужица быстрее доберется до дворников.

А теперь попробуем мысленно прокрутить этот процесс в обратную сторону. Берем лужицу (большую материнскую каплю) и тащим ее по стеклу, а она оставляет за собой след в виде одинаковых капель до тех пор, пока не закончится. Конечно, с обычным автомобильным стеклом такое не получится — лужица будет размазываться, менять свою форму, вытягиваться, но так и не станет рассаживать капли по нужным нам местам. Что же делать?

Павел Левкин и аспиранты (чьи кофейные чашки смотрели на ядерное захоронение задолго до моей) придумали такое покрытие для стекла, которое позволяет из одной большой материнской капли делать тысячи упорядоченных маленьких (до 3 нл — трех миллиардных долей литра!) капель одним движением руки [2, 3].



Процесс создания капель с помощью пипетки [4]. Размер масштабной линейки 2 мм.

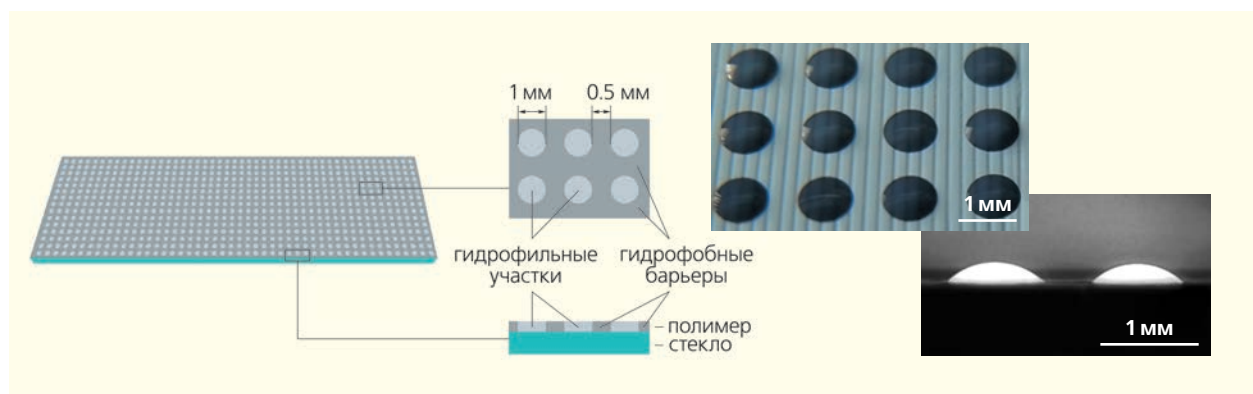


Схема и микрофотографии распределения гидрофильных и гидрофобных участков на DMA-слайде [4].

Это полимерное покрытие состоит из участков, задерживающих капли воды (гидрофильных регионов), и участков, которые воду отталкивают (гидрофобных регионов). Участки чередуются друг с другом, образуя нужный шаблон [4]. Таким образом, если мы тянем материнскую каплю через все покрытие, она оставляет маленькие дочерние капельки только на гидрофильных участках, в то время как гидрофобные участки ее отпугивают*.

Этот спонтанный процесс называется прерываемым каплеобразованием, а слайд с гидрофильно-гидрофобным полимерным покрытием — DMA-слайдом (от англ. Droplet Microarray Platform — капельная микрочиповая платформа).

Зачем нам нужны эти капли? Биологи в нашей группе используют их взамен углублений в микротитрационных планшетах [2, 3]. Классически мы бы заполнили чашку Петри или микропланшеты питательной средой вместе с клетками и поместили их в инкубатор. Однако, чтобы заполнить углубления в планшетах, нужно большое количество клеток. Вместо этого мы набираем в пипетку немного питательной среды вместе с клетками, делаем материнскую каплю на DMA-слайде и катим ее через всю полимерную поверхность. В течение пары минут мы получаем до 4563 капель объемом

в 3 нл каждая, и в каждой можно проводить отдельный эксперимент вместо того, чтобы для каждого отдельного эксперимента капать в углубления микротитрационного планшета или напрягать для этих целей робота. Таким образом можно сэкономить дорогостоящее оборудование: DMA-слайд с 4563 гидрофильными участками в 15 тыс. раз экономнее, чем стандартные микротитрационные планшеты с 384 углублениями. Этот эффект достигается за счет радикального уменьшения объема используемой питательной среды с клетками. Другими словами, если изготовить DMA-слайд размером с микротитрационный планшет, то один DMA-слайд заменит около 75 планшетов.

Скрининг на раз-два

Теперь исследовать влияние различных веществ на сохранение или потерю стволовыми клетками своих уникальных качеств гораздо проще. Необходимо нанести на гидрофильные регионы DMA-слайда нужные вещества, а затем провести по слайду материнской каплей, содержащей стволовые клетки, которые затем распределятся по гидрофильным регионам. По тому, дифференцировались ли стволовые клетки после взаимодействия с веществами или нет, можно судить о сохранении «стволовости». Аспиранты в нашей группе также показали, что сам DMA-слайд поддерживает «стволовость»

* Об эффекте гидрофобности подробнее см.: Чузунов А.О., Полянский А.А., Ефремов Р.Г. Физическая водобоязнь // Природа. 2013. №1. С.24–34.

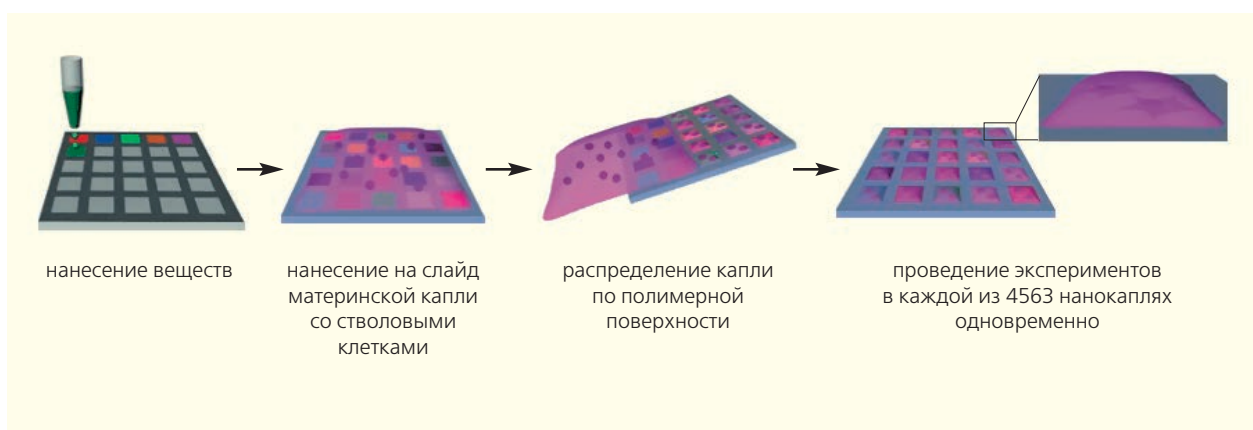
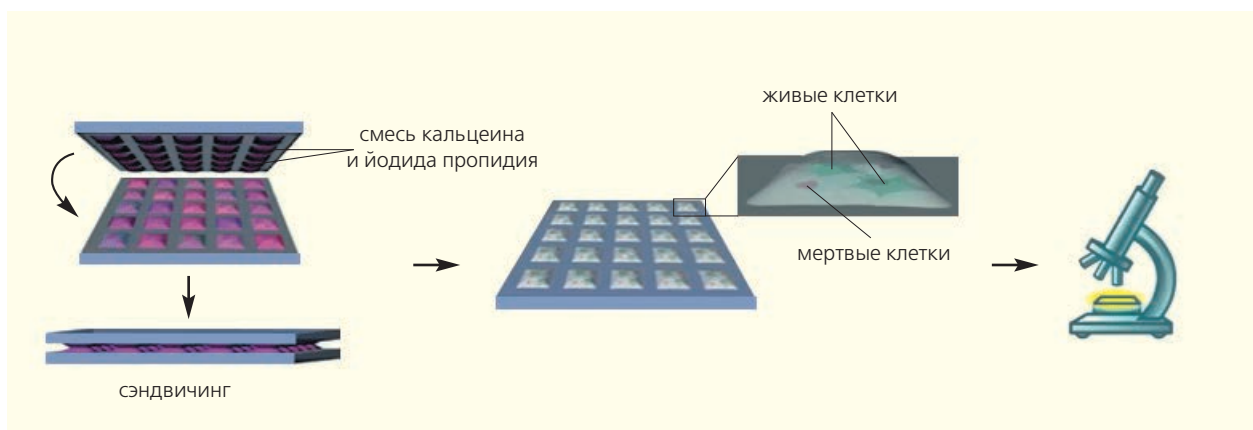


Схема эксперимента взаимодействия разных веществ и стволовых клеток [5].



Процесс сэндвичинга — параллельного добавления красящих реагентов к клеткам [5].

клеток за счет особой шероховатой структуры полимера, выгодно отличаясь от гладких микротитрационных планшетов [1, 5].

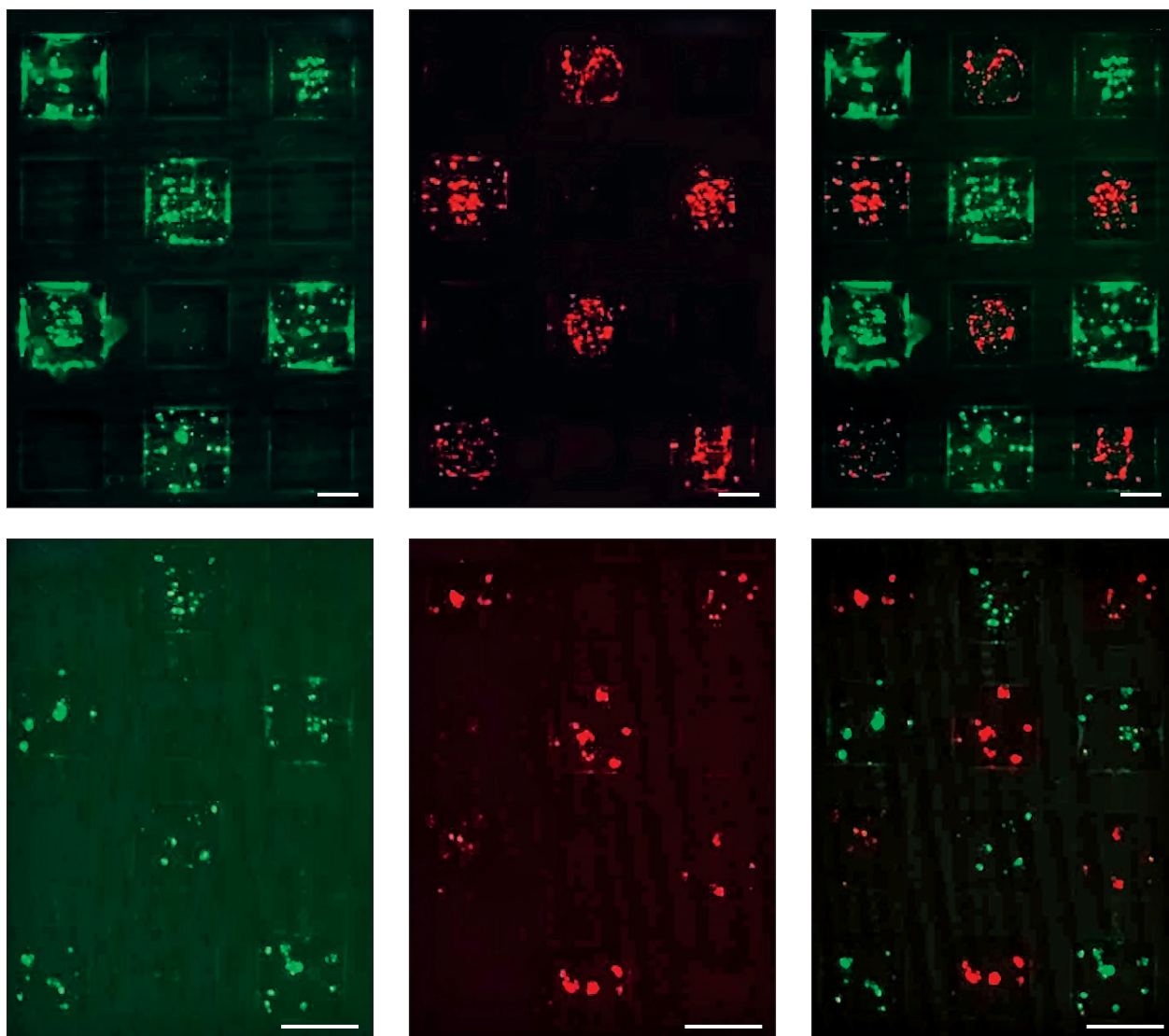
Другие виды клеток (например, раковые клетки шейки матки, клетки почек человеческого эмбриона или клетки аденокарциномы) тоже можно культивировать на DMA-слайдах [3]. Таким образом можно сканировать огромные библиотеки веществ и определять их взаимодействие с разными видами клеток. Цель подобных экспериментов — выявление тенденций в жизнеспособности клеток в зависимости от химической структуры молекул, предварительно нанесенных на слайд. Чтобы определить, остались ли клетки живыми после контакта с веществом, или вещество оказалось для них токсичным, клетки необходимо окрасить. Классически для этого используют смесь йодистого пропидия и ацетометоксикальцеина. Ацетометоксикальцеин проникает через мембрану живых клеток и расщепляется ферментом эстеразой, образуя кальцеин. Благодаря зеленой флуоресценции (свечению) кальцеин можно увидеть под флуоресцентным микроскопом. Йодистый пропидий, напротив, не может проникнуть через мембрану живых клеток. Если клетка погибла, то ее мембрана

разрушается, пропидий попадает внутрь мертвой клетки и внедряется в ее ДНК. Красная флуоресценция йодистого пропидия указывает на то, что клетка мертва.

Чтобы одновременно добавить красящие реагенты ко всем клеткам в каплях, используют второй DMA-слайд, на который с помощью прерываемого каплеобразования мы наносим окрашивающую смесь [4]. Этот слайд потом совмещается со слайдом с клетками — мы в лаборатории называем этот процесс сэндвичингом (от англ. sandwich). Окрашенные таким образом клетки можно выявить на микрофотографиях. Так как добавление окрашивающей смеси происходит одновременно во все капли, использование двух DMA-слайдов позволяет окрашивать все клетки параллельно и таким образом экономить время. Расход окрашивающей смеси также значительно уменьшается по сравнению с микротитрационными планшетами.

Новые лекарства и точная диагностика

Реакция клеток на различные вещества очень важна в процессе создания новых лекарств. За счет низкой стоимости производства DMA-слайдов



Микрофотографии DMA-слайдов с эмбриональными клетками почки человека (HEK293) [3]. Красным светятся клетки, которые производят белок RFP, зеленым — белок GFP. На одном DMA-слайде можно одновременно культивировать несколько типов клеток (каждой клетке — свой гидрофильный участок). Например, в шахматном порядке расположить GFP- и RFP-положительные клетки (справа). Благодаря гидрофобному барьеру между гидрофильными участками не происходит смешивания двух типов клеток, и каждый тип остается на своем участке. Размер масштабной линейки — 100 мкм, ячеек DMA-слайдов в верхнем ряду — 1000 мкм, в нижнем — 500 мкм.

и тысячекратного уменьшения количества клеток и других расходных материалов эксперименты можно повторять бóльшее число раз для более точной статистики. В крупных фармацевтических компаниях сканируют до 100 тыс. химических соединений в день [6], и новая технология может значительно ускорить появление новых лекарственных средств. Дочерняя компания нашей группы AquAggaу недавно выиграла грант от Федерального министерства экономики и технологии (Германия) и теперь занимается выведением DMA-технологии на рынок.

В будущем DMA-слайды можно будет использовать в персонализированной диагностике и терапии различных заболеваний, особенно онколо-

гических. Практикующие врачи нередко сталкиваются с трудностями подбора химиотерапии для пациентов, так как разные опухоли индивидуально и иногда непредсказуемо реагируют на противораковые препараты. В этом случае выделенные при биопсии раковые клетки можно исследовать на DMA-слайде, на который нанесены химиотерапевтические препараты, и быстро определить, на какой из препаратов опухоль отреагирует наилучшим образом. В результате подбора правильной и эффективной терапии у пациента повысятся шансы на успех.

Кроме того, из злокачественных новообразований порой удается выделить лишь небольшое количество раковых стволовых клеток, которые мо-

гут вызвать метастазирование и возвращение болезни. Поскольку для исследования на DMA-слайде нужно совсем немного биоматериала и времени, то эта технология позволит быстро скорректировать курс лечения и сохранить жизнь многим раковым больным или повысить качество их жизни.

Кроме распечатывания уже готовых химических библиотек на гидрофильные участки в нашей группе ведутся активные разработки методов, позволяющих синтезировать новые химические вещества прямо на DMA-чипе. Каждый гидрофильный участок выступает как микроколба, и таких микроколб на одном чипе может быть несколько сотен. Гидрофобные барьеры, окружающие гидрофильные участки, не дают растворителю из одной реакции смешаться с растворителем из другой, разделяя реакции в пространстве, как если бы в лаборатории мы бы провели несколько реакций в разных колбах. При этом мы уже освоили два принципиально разных способа проведения реакций. В жидкофазном синтезе все реагенты находятся в жидкой фазе микрокапли. В твердофазном синтезе мы используем полимер, находящийся на стекле DMA-чипа, как твердую фазу.

Таким образом, на DMA-чипе сначала производится химический синтез, а затем после выделения и очистки веществ можно высевать клетки и смотреть, как они взаимодействуют с свежесинтезированными веществами. За счет миниатюризации химического синтеза и биологического скрининга мы экономим большое количество реагентов, растворителей и клеточной питательной среды, а из-за объединения химического и биологического этапов на одном и том же чипе мы избавляемся от необходимости переноса химической библиотеки в плашки, как это сейчас традиционно делается в фармацевтической промышленности. Результаты этих исследований недавно опубликованы в *Nature Communications* и в *Materials Today Bio* [7, 8].

* * *

Почти сто лет назад счастливый случай подарил нам пенициллин, а сегодня открытие нового лекарства — динамичный, развивающийся, относительно управляемый, пусть и очень трудоемкий процесс. Миниатюризация и упрощение протоколов исследования не оставляют его без изменений. Возможно, когда-то всю вселенную химических веществ удастся поместить на ладони. ■

Литература / References

1. Tronser T., Popova A.A., Levkin P.A. Miniaturized platform for high-throughput screening of stem cells. *Current Opinion in Biotechnology*. 2017; 46: 141–149. DOI:10.1016/j.copbio.2017.03.005.
2. Popova A.A., Depew C., Permana K.M. et al. Evaluation of the droplet-microarray platform for high-throughput screening of suspension cells. *SLAS TECHNOLOGY: Translating Life Sciences Innovation*. 2017; 22(2): 163–175. DOI:10.1177/2211068216677204.
3. Popova A.A., Demir K., Hartanto T.G. et al. Droplet-microarray on superhydrophobic–superhydrophilic patterns for high-throughput live cell screenings. *RSC Adv*. 2016; 6: 38263–38276. DOI:10.1039 / C6RA06011K.
4. Popova A.A., Schillo S.M., Demir K. et al. Droplet-Array (DA) sandwich chip: a versatile platform for high-throughput cell screening based on superhydrophobic-superhydrophilic micropatterning. *Adv. Mater*. 2015; 27(35): 5217–5222. DOI:10.1002/adma.201502115.
5. Jaggy M., Zhang P., Greiner A.M. et al. Hierarchical micro-nano surface topography promotes long-term maintenance of undifferentiated mouse embryonic stem cells. *Nano Lett*. 2015; 15(10): 7146–7154. DOI:10.1021/acs.nanolett.5b03359.
6. Smith A. Screening for drug discovery: the leading question. *Nature*. 2002; 418: 453–459. DOI:10.1038/418453a.
7. Benz M., Molla M.R., Böser A., Rosenfeld A., Levkin P.A. Marrying chemistry with biology by combining on-chip solution-based combinatorial synthesis and cellular screening. *Nature Communications*. 2019; 10: 2879. DOI:10.1038/s41467-019-10685-0.
8. Rosenfeld A., Brehm M., Welle A. et al. Solid-phase combinatorial synthesis using microarrays of microcompartments with light-induced on-chip cell screening. *Materials Today Bio*. 2019; 3: 100022. DOI:10.1016/j.mtbio.2019.100022.

Pocket Lab for New Drugs

A.V.Rosenfeld

Institute of Toxicology and Genetics, Karlsruhe Institute of Technology (Karlsruhe, Germany)

For drug development, various chemical libraries are tested on cells in the course of high-throughput screening. Traditional screening methods involving robotics and microtiter plates are laborious, expensive and require huge amounts of chemicals and cells. A group of scientists from Germany created a platform based on a pattern of water-repellent and wettable polymer that can form thousands of cell-containing droplets within seconds. The platform allows highly miniaturized simultaneous conducting of thousands of toxicological experiments on various types of cells, including stem cells. This speeds up the process of finding new bioactive substances and can potentially enable personalized selection of treatment.

Keywords: combinatorial libraries, high-throughput synthesis, microarrays, smart materials, stimuli-responsive materials.

Мироточащие иконы: что говорит наука?

Н.В.Томин¹, И.С.Бутов², В.С.Алексинский³, А.В.Московский⁴, П.В.Флоренский⁵,
М.А.Дебелый⁶

¹Институт систем энергетики имени Л.А.Мелентьева СО РАН (Иркутск, Россия)

²Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства (Московская обл., Раменский р-н, дер. Верея, Россия)

³Клиника Нойкирхен (Нойкирхен, Германия)

⁴Российский православный университет святого Иоанна Богослова (Москва, Россия)

⁵Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М.Губкина (Москва, Россия)

⁶Фрибургский университет (Фрибур, Швейцария)

Многими изучение выделений на «чудотворных» иконах понимается как чисто религиозная область, лежащая за пределами научных изысканий. Однако в разные годы несколькими лабораториями и группами ученых проводились полномасштабные исследования образцов «чудесных» жидкостей, полученных с предметов культа различных конфессий, в том числе с привлечением методов спектроскопии и хроматографии. В этом отношении наука дала современные инструменты изучения любого неидентифицируемого вещества и тем самым позволила беспристрастно исследовать феномен мироточения икон. Представленная статья содержит результаты детального биохимического исследования ряда выделений, взятых с икон.

Ключевые слова: высокоразрешающая масс-спектрометрия, газовая хроматография с масс-спектрометрическим окончанием, липидомика, мироточение.

Мироточением в целом называют появление любой влаги на поверхности икон или предметах культа*. Оно может происходить не только в стенах сакральных сооружений (монастырей, храмов, соборов), но и в обычных жилых домах или квартирах [1–4]. За мироточение принимаются различные, чаще всего естественные процессы (выделение смол или шеллака, набухание и загнивание клея и некоторых используемых в живописи органических веществ, осаждение конденсата или запотевание, сорбция различных веществ на липофильных поверхностях, образование ржавчины). Кроме того, это может быть результат жизнедеятельности специфических

бактерий или других микроорганизмов, следы от елеса, масла от лампад и др. [4].

В результате мироточения довольно часто происходит осаждение разнородных по химическому составу жидкостей на поверхности икон (рис.1). Если икона застеклена, маслянистая жидкость появляется на внешней поверхности стекла, но нередки случаи, когда она возникает



Рис.1. Мироточащая икона Пантелеймона Целителя из г.Клина.

* На самом деле миро — это священное масло, которое при особом богослужении варит патриарх или католикос в сослужении епископов.

и под стеклом. Неоднократно наблюдались рядом с иконой следы масла, имеющие различную форму (чаще всего неправильную), причем иногда фиксировалось уменьшение частоты и размера капель по мере удаления от иконы. Реже происходит осаждение масла вокруг икон, тогда правильнее говорить не о мироточении, а о маслоосаждении*. Миро, собранное с икон, имеет разнообразную консистенцию и цвет, часто напоминает маслянистую жидкость, похожую на смолу [3]. В ряде случаев такая жидкость обладает приятным запахом, напоминающим запахи ароматических веществ (в частности, розы, жасмина, лаванды и др.), которые входят в состав духов или благовоний [1, 4]. Иногда выделение, имеющее консистенцию масла, называют елеем. Однако в широком смысле елей — это оливковое, а впоследствии в православном церковном обиходе и любое освященное растительное масло [1].

До последнего времени вещество с мироточащих предметов не было предметом объективного научного анализа, в первую очередь из-за расхожего убеждения, что это всегда фальсификация. Мы не отрицаем, что нередко это справедливо, так как сталкивались с обманом в корыстных целях. Однако зафиксированы многие случаи появления на иконах «мира», независимого от окружения. Более того, многие опытные иереи, наблюдая появление масла и ажиотаж, происходящий среди прихожан, уносят такую икону в алтарь, не видя в этом ничего особенного.

Мы полагаем, что наряду с фальсификацией или неаккуратным уходом за иконой могут происходить и вполне естественные процессы. Они и стали предметом нашего внимания. Поэтому допустимо изучать «чудесные явления» с помощью научных методик, которые должны контролироваться, проверяться и повторяться исследованиями в различных лабораториях с применением нескольких альтернативных подходов. Изучение «чудес», связан-

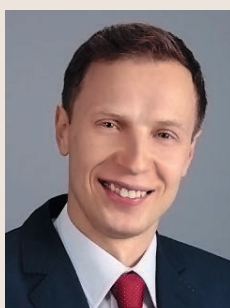
* Флоренский П.В., Московский А.В., Сошинский С.А., Шутова Т.А. Испытание чудом? Чудеса истинные и ложные. М., 2012. С.11–36; Флоренский П.В. Чудеса и знамения // Русская история. 2013. Т.3. №26. С.54–59.



Никита Викторович Томир, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института систем энергетики имени Л.А.Мелентьева СО РАН. Область научных интересов — электроэнергетика, искусственный интеллект, религиозные феномены.
e-mail: tomin.nv@gmail.com



Илья Станиславович Бутов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства — филиала ФНБНУ «Федеральный научный центр овощеводства». Специалист по вопросам гибридизации, селекции, сакральной географии.
e-mail: illiabutov@gmail.com



Вадим Сергеевич Алексинский, соискатель, врач специализированной клиники Нойкирхен. Научные интересы — патологическая анатомия, иммуногистохимия, диагностика рака, гистопатология.
e-mail: aleksinski.w.s@gmail.com

ных с веществом икон, началось почти четверть века назад, когда была создана экспертная рабочая группа по описанию чудесных знамений в Русской православной церкви (РПЦ) при Синодальной Богословской комиссии Московского патриархата (далее — экспертная группа).

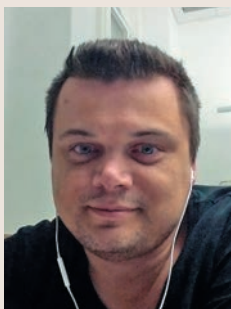
В данной статье мы попытались продемонстрировать возможность и целесообразность исследования современными научными методами образцов жидкостей, появляющихся на поверхностях икон и иных предметов религиозного культа. Представленный материал разделен на две основные части. В первой дан аналитический обзор немногочисленных научных исследований в этой области. Вторая же посвящена результатам анализа образцов, полученных с икон Иверской Божьей Матери из г.Клина Московской обл. и пос.Локоть Брянской обл. Применялись методы высокоэффективной газовой хроматографии этерифицированных жирных кислот, сопряженной с масс-спектрометрией; липидомики с прямой инъекцией в масс-спектрометр, а также бактерио- и микологические анализы.



Александр Викторович Московский, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Российского православного университета святого Иоанна Богослова. Область научных интересов — религиоведение, религиозные феномены, история православия.



Павел Васильевич Флоренский, доктор геолого-минералогических наук, профессор Российского государственного университета нефти и газа имени И.М.Губкина. Научные интересы — нефтегазовая геология, метеоритика, этнология, история русской философии.
e-mail: florenpv@gmail.ru



Михаил Александрович Дебелый, кандидат биологических наук, научный сотрудник Фрибургского университета. Специалист в области биохимии, липидомики, масс-спектрометрии.
e-mail: mykhaylo.debelyy@unifr.ch

изучение началось еще как минимум в XIX в. В 1846 г. профессор Ф.Г.Солнцев насухо вытер сукном одну из мироточивых глав и сосуд, в котором она помещалась, «обвязал все это протечной бумагой и запечатал». Комнату с главой тоже запечатали. На следующий день профессор обнаружил в сосуде миро**. Биохимические исследования вещества мироточивых глав в 1988 г. провели И.А.Концевич, Ю.В.Хмелевской и И.И.Бобрик из Национального медицинского университета имени А.А.Богомольца (Киев, Украина). Они установили, что субстанция неизвестной природы, взятая из чаш с мироточивыми главами №4, 9 и 26, — во всех трех случаях высокоочищенные масла (триглицериды высших жирных кислот), не имевшие в себе примесей свободных кислот. Это подтверждалось отсутствием реакций этерификации (в частности, метилирования). Образцы хорошо растворялись в хлороформе и ацетоне и практически не растворялись в воде и метаноле. Низкая электропроводность свидетельствовала об отсутствии ионизированной среды. Не было выявлено неорганических фосфатов и ионов

Что было сделано раньше?

Большинство доступных научных исследований мироточащих предметов культа (прежде всего, икон и статуй) построено на определении состава вещества с использованием различных методов спектрометрии и хроматографии. К примеру, спектрографический анализ жидкости, взятой с деревянного распятия в австралийском городе Маунт Причард (штат Новый Южный Уэльс), показал, что по своему составу она схожа с оливковым маслом*. Скульптура Девы Марии Гваделупской в г.Хоббсе (США) в 2018 г. обильно выделяла из глаз ароматические масла (по предварительным оценкам, до 500 мл). Исследование 5 мл жидкости показало, что «слезы» также имеют состав оливкового масла, но с приятным запахом [5].

Интерес к мироточению в РПЦ существует столетиями и связан с широко известными мироточивыми главами Киевско-Печерской лавры. Их

аммония, что указывало на отсутствие процессов распада органических веществ, содержащих азот и фосфор. Исследование содержания белка (по Лорури) проводилось в водных вытяжках. Выяснилось, что образец №26 содержал 20 мг белка на 100 мл, №9 — 13 мг и №4 — 73 мг [6].

В 2001 г. появились сообщения о том, что в г.Клину, в квартире В.Жучковой, замироточили многочисленные (в основном современные) иконы. Помимо прочих обильно мироточила икона Иверской Божьей Матери. По инициативе экспертной группы было проведено углубленное физико-химическое исследование четырех образцов различных маслянистых жидкостей (из поддонов под иконами) в Институте криминалистики ФСБ РФ, Физическом институте имени П.Н.Лебедева РАН и в Институте геохимии и аналитической химии имени В.И.Вернадского РАН. От каждого образца отбиралось по три пробы (по 0.08 мг). Все

* Сядро В., Иовлева Т., Очкурова О. 100 знаменитых загадок природы. Харьков, 2008. С.494–497.

** Опыт доктора над мироточивою главою // Литовскія епархіяльныя вѣдомости. 1877. №25. С.192.

они были переданы в институты для параллельной идентификации. Исследование химического состава проводилось методами протонного магнитного резонанса (ПМР), хромато-масс-спектрометрии (ХМС) и инфракрасной спектроскопии (ИКС). В результате для четырех образцов были получены следующие значения $\delta^{13}\text{C}$ (относительно эталона PDB): -29.2 , -28.7 ; -27.7 и -27.5 ‰ соответственно. Все три исследования показали, что образцы по своему химическому составу идентичны растительному маслу. Наиболее близкий аналог — подсолнечное масло* [7]. Продукты биологического происхождения имеют индивидуальный изотопный состав, который незначительно меняется в различных регионах. Было установлено, что изотопный состав всех образцов в пределах точности измерений полностью соответствовал подсолнечному маслу, произведенному в России.

Образцы вещества, появившегося в 2007 г. на иконах в квартире А.А.Фоминой (г.Северск Томской обл.), были переданы для анализа в лабораторию углеводородов и высокомолекулярных соединений Института химии нефти (ИХМ) СО РАН. Общее количество жидкости, образовавшейся на иконах, оценивалось в 30–50 мл. Исследование включало элементный анализ, ИК-, УФ-, ^1H -, ^{13}C -ЯМР-спектроскопию, газожидкостную хроматографию (ГЖХ) и ХМС, а также определение молекулярной массы. Вещество было идентифицировано как смесь жиров типа оливкового масла с различными примесями, в том числе витамина Е ($\text{C}_{29}\text{H}_{53}\text{O}_2$), который содержится в растительных маслах. Инфракрасные спектры оливкового и кукурузного масла на 95–96% совпадали со спектрами

* Заметим, что участвовавший в экспертизе военный криминалист обнаружил в квартире коробки с наполненными и пустыми бутылками подсолнечного масла.

собранного мира [8]. Исследованный образец состоял из смеси органических соединений различного строения. В нем отмечались небольшие концентрации углеводородов нормального строения (данные ГЖХ и газовой хроматографии с масс-спектрометрией — GC-MS-анализа), а также значительные количества кислородсодержащих соединений: 2.4-декадиеналь (*цис*- и *транс*-изомеры), фарнезол, токоферолы, стигмастерол и др. (данные элементного анализа, ИК-, ЯМР- и GC-MS-исследований). Однако следует учесть, что в образце могло содержаться больше соединений, чем удалось идентифицировать, в связи с особенностями их физико-химических свойств (низкой летучести, высокой температуры кипения и др.) [8]. Таким образом, довольно часто вещества с поверхности иконы представляют собой органические масла и бывают близкими по составу ароматизированному подсолнечному, оливковому или кукурузному маслу. Органические соединения, входящие в их состав, могут слегка отличаться, поэтому и вещества с разных икон также различны. Часто определяемые масла не принадлежат нефтяному ряду, т.е. они не минеральные [8]. В свою очередь, лампадное масло чаще всего состоит именно из минеральных масел, а на поверхности икон в большинстве случаев, наоборот, обнаруживаются органические масла (рис.2).

Как уже упоминалось, собирательным термином «мироточение» называют сходные по своей структуре процессы и явления. За миром могут приниматься специфические выделения плесневых грибов (или некоторых микроорганизмов) [4]. В этом случае состав возникающих на иконах или иных предметах культа жидкостей должен отличаться от масел. Так, пробы бесцветного маслянистого вещества, взятые в 2006 г. в квартире А.А.Пионовой (г.Томск), изучались в ИХН СО РАН. Анализы показали, что субстанция представляла собой смесь нормальных алканов** (C_{22} – C_{35}) с максимумом распределения, приходящимся на соединения состава C_{26} – C_{29} , а также фталатов и жирных кислот (пальмитиновой, стеариновой, арахидиновой, линоленовой, акролеина и сквалена). Данные, полученные методом ИК-спектроскопии, подтвердили присутствие в пробе жирных карбоновых кислот [9].

Аналогичные исследования мы проводили в 2015 г. с веществом, которое выделилось из-под наклеек, используемых в совре-

** Кроме того, в минорных количествах присутствовали и n-алканы C_{14} – C_{21} .

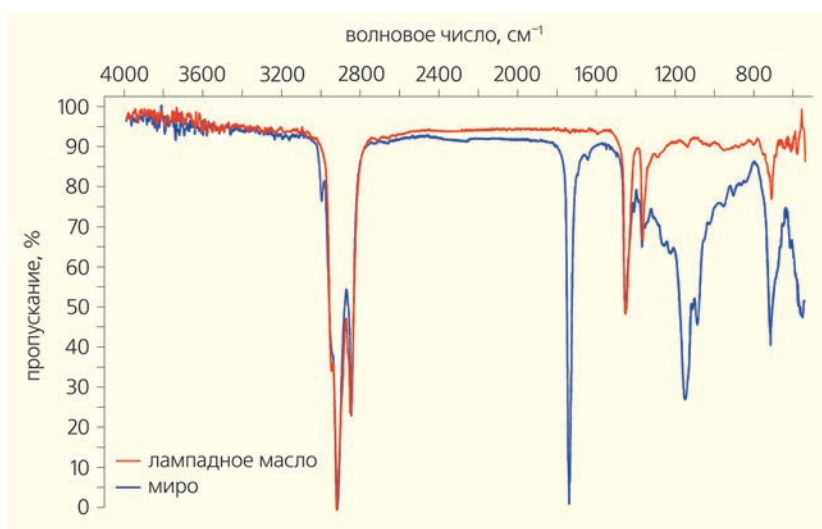


Рис.2. Сравнение ИК-спектров мира и лампадного масла. Северск, 2007 г. [8].

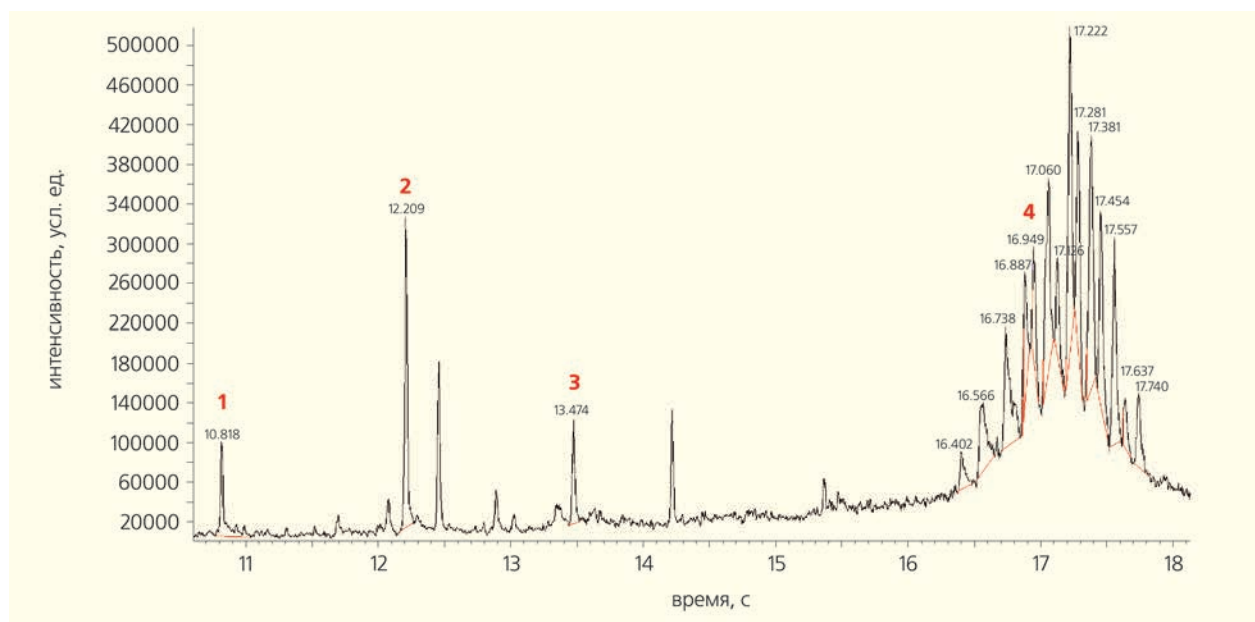


Рис.3. Химическая идентификация веществ, присутствующих в образце из Бреста, 2015 г. 1 — пальмитиновая кислота, 2 — стеариновая кислота, 3 — миристиновая кислота, 4 — производные фталевой кислоты [4].

менном православии при освящении квартир (г.Брест, Беларусь) [4]. Анализы показали, что данный образец содержал фталаты, эфиры и ангидрид фталевой кислоты (целая фракция), глицерин, не-

которые силикаты и другие соединения (рис.3). Из них отдельные соли и эфиры фталевой кислоты могли входить в клеевую основу наклеек и служить субстратом для развития плесневых грибов (рис.4).

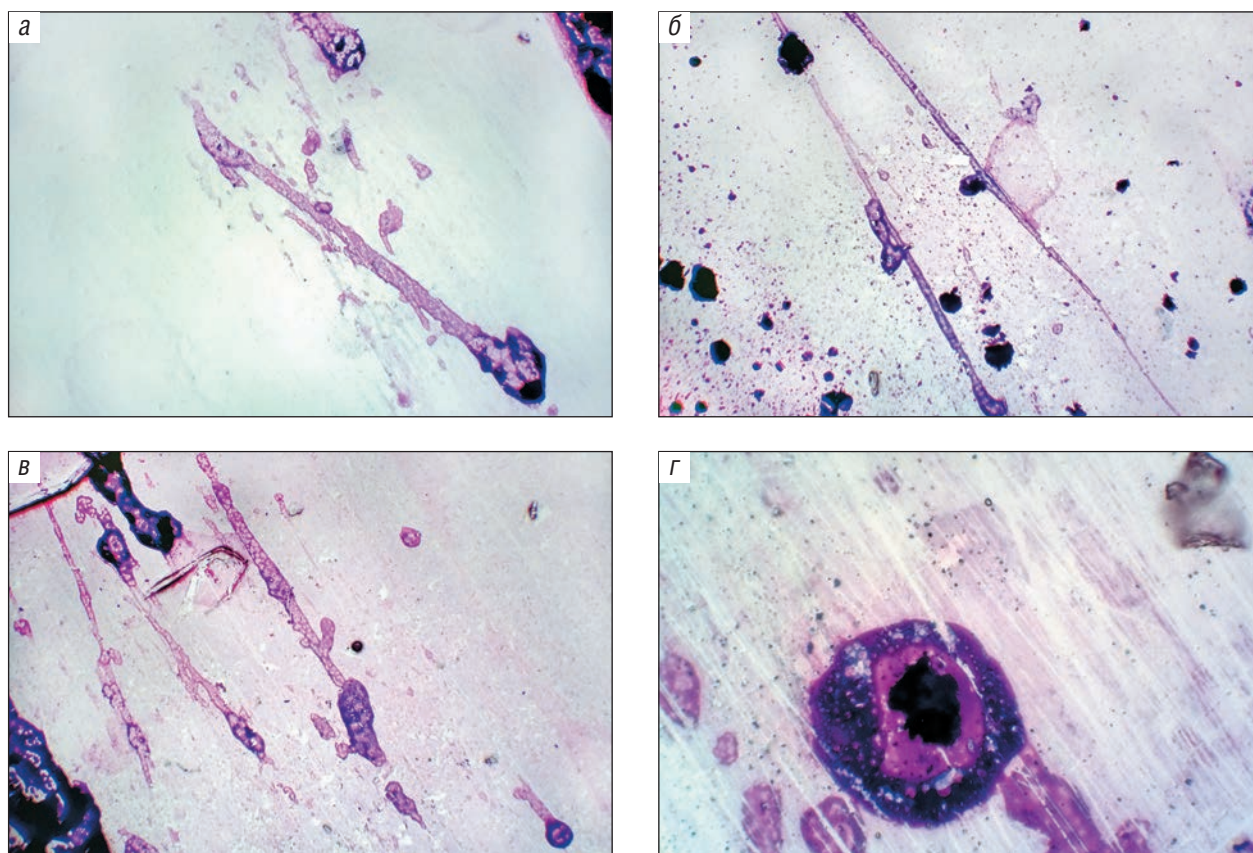


Рис.4. Микрофотографии образца из Бреста, 2015 г. Окраска по Паппенгейму. а-в — гифы гриба, объектив $\times 5$; г — спорангий, объектив $\times 20$ [4].

Еще с советских времен упоминаются анализы крови и мира, взятые с кровоточащих икон или крестов. Однако сами анализы в литературе не приводятся, лишь утверждается, что в том или ином случае удалось обнаружить вещество, состоящее из «смеси кармина с глицерином»* или из «смеси разных химических веществ»**. В средневековой Италии, где кроваво-красные пятнышки нередко появлялись на церковных тканях и хлебах, их расценивали как «капли крови Господа»***. В 1914 г. подобные выделения с иконы Христа из г.Мирабо-ен-Пуату (Франция) проанализировали в лондонском Институте Листера и установили, что это — не человеческая кровь. Точный состав определен не был, но в собранном материале удалось обнаружить «микроорганизм, обычно встречающийся в застойной воде» [10]. Один из главных претендентов на роль «чудесной бактерии» для различных исторических случаев подобного рода — серрация *Serratia marcescens* [11]. Л.Гарлашелли из отдела органической химии Павийского университета (Италия) поставил ряд опытов, которые подтвердили, что и за современные случаи кровотечения евхаристического хлеба (икон и статуй) могут приниматься специфические выделения этой самой бактерии [12] (рис.5). Й.Каллен, студентка-медик из

Университета Джорджа Мейсона (США), обратила внимание, что многие чудеса с появлением «крови» происходят с мая по сентябрь, с «драматическим пиком» в июле. В это время устанавливается теплая и влажная погода. Такие условия хорошо подходят для развития *S.marcescens* [13]. И все же, несмотря на то что эта бактерия чаще других называется при детальном описании подобных случаев, есть упоминания и о других «подозреваемых» — о красной плесени *Neurospora crassa*, о некоторых видах *Halobacterium*, об одном из родов одноклеточных пигментированных дрожжей *Rhodotorula*, а также о кокках и дрожжеподобных грибах [4, 14].

К сожалению, многие случаи мироточения по разным причинам не подвергались полноценному научному исследованию. Более того, часто в околицерковных источниках циркулирует обрывочная информация о якобы проведенных исследованиях, реальность и достоверность которых сложно установить. Ярким примером может служить знаменитый случай с монреальской иконой Иверской Божьей Матери, которая мироточила в течение 15 лет и даже была признана Архиерейским синодом РЦП за границей чудотворной. Со слов ее обладателя — преподавателя истории и исследователя иконописи И.Муньоса Кортеса, анализ проводился неким «ученым из Майями», который при этом изучал не выделяемое вещество, а саму икону. В результате он установил, что икона написана на обычном еловом дереве и масло поступало «не с задней стороны и не из самого дерева, на ко-

* Спутник атеиста / Отв. ред. С.И.Ковалев. М., 1961. С.500.

** Мезенцев В.А. Есть ли чудеса в природе? М., 1967. С.169.

*** Костюкова Н.Н. Серрации // Большая медицинская энциклопедия. Т.23. М., 1984. С.213–214.

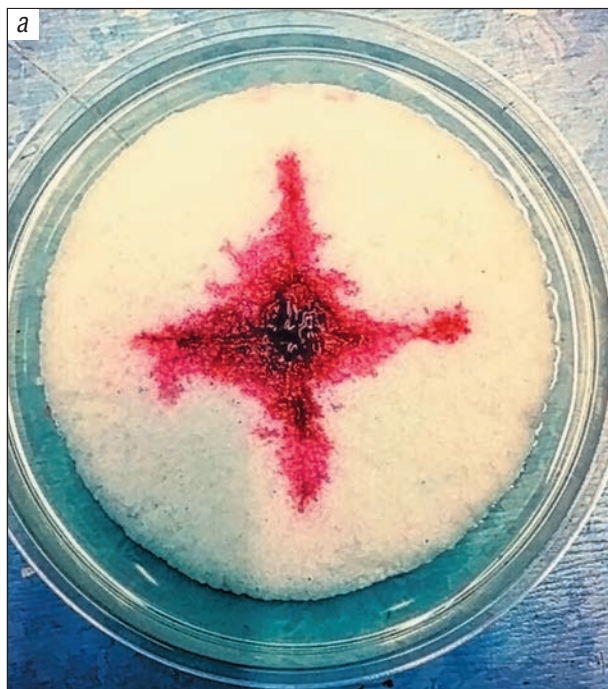


Рис.5. Евхаристический хлеб после инокуляции красной пигментированной бактерией *Serratia marcescens*: а — через 12 ч после инокуляции, б — через 24 ч.

тором она была написана»*. Очевидно, что такое «исследование» мало о чем говорит. Ватку с образцом «мира» монреальской иконы присылали и специалистам экспертной группы, однако вещества для проведения полноценного анализа оказались слишком мало.

Наши исследования

Анализ иконы Иверской Божьей Матери из поселка Локоть (Брянская обл.). В 1994 г. жительница пос.Локоть Н.Н.Мурашкина купила в магазине «Детский мир» настенный календарь с изображением иконы Божьей Матери «Умиление». В 1999 г., во время болезни женщины, изображение неожиданно стало источать приятный запах. После прочтения акафиста приглашенным священником образ Богородицы обильно заморозил. Впоследствии стали мироточить и другие иконы, выставляемые перед ней многочисленными паломниками (в том числе и икона Иверской Божьей Матери). Миром покрывались даже хлеб и вода. Все эти происшествия в 2004 г. были засвидетельствованы экспертной группой, члены которой взяли пробы выделяющейся жидкости с иконы Иверской Божьей Матери для проведения анализов. Образцы хранились при комнатных условиях, в закрытых стеклянных флаконах с резиновой пробкой, обеспечивающих герметичность. Флаконы располагались в вертикальном положении, что предотвращало контакт образцов с пробкой. Детальное изучение субстанции стало возможным только в 2018 г.

Анализ проводился в современной лаборатории отдела биохимии Фрибургского университета (Швейцария) на высокоэффективном газовом хроматографе Hewlett-Packard 5890 с масс-спектрометрическим окончанием (использовался масс-спектрометр Hewlett-Packard 5927) [15].

Маслянистая жидкость (возможно смесь триацилглицеридов) перед внесением в хроматограф была подвергнута щадящему гидролизу и этерификации (до метиловых эфиров жирных кислот) (рис.6). В качестве контроля использовалось подсолнечное (марка «Bellasan», производство Бразилия) и оливковое (марка «Bertolli», производство Италия) масло. Было установле-

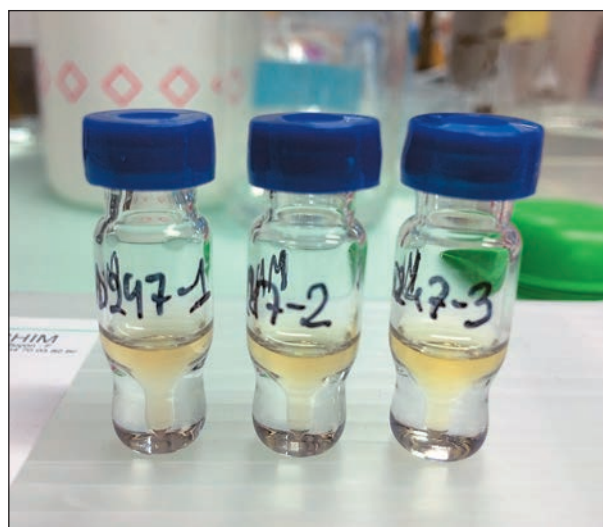


Рис.6. Разведенные в гептане образцы для газовой хроматографии: 1 — подсолнечное масло, 2 — оливковое масло, 3 — миро из пос.Локоть.

но практически полное совпадение жирно-кислотного состава исследуемой жидкости с жирно-кислотным составом подсолнечного масла (рис.7). Найденные незначительные отличия обуславливались наличием некоторых органических соединений, входящих в состав бытовых полимеров (пластиков) — фталатов и современных синтетических красителей. Данные соединения могли попасть в маслянистую жидкость с поверхности иконы или пластиковой кюветы, куда собиралась анализируемая субстанция.

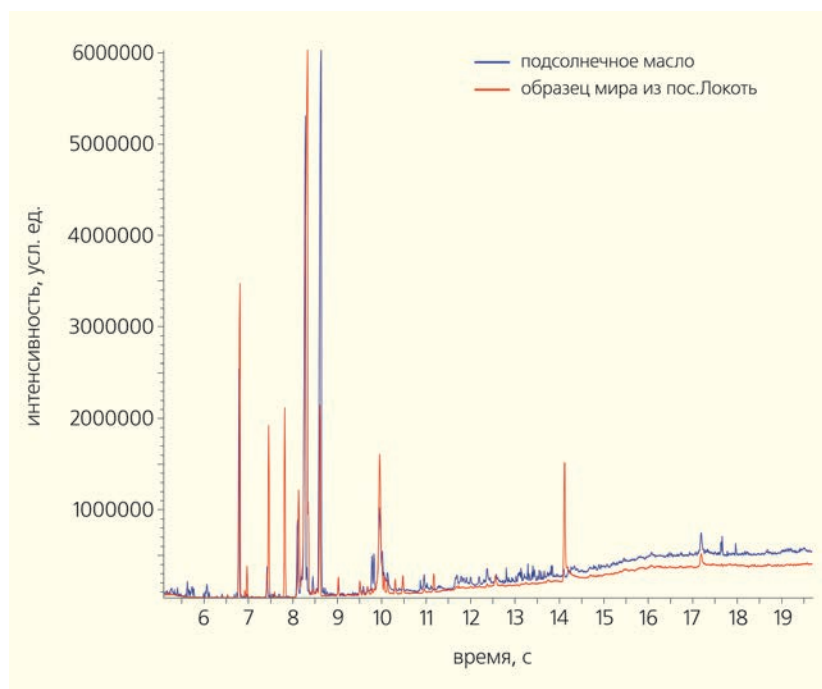


Рис.7. Результаты анализа образцов из пос.Локоть, полученные при проведении газовой хроматографии.

* Ивашевич А., Филипьев В., Ткачук И.Г. и др. Монреальская мироточивая икона и брат Иосиф. М., 2003.

Таблица

Результаты анализа, полученные на основе метода липидомики с прямой инъекцией образца в масс-спектрометр

	Вещество	Состав
Основные компоненты	растительное масло	триацилглицеролы, диацилглицеролы, моноацилглицеролы, свободные жирные кислоты, токоферол (витамин Е) и ретиноевая кислота (витамин А)
	гербициды	мезотрион, пентахлорфенол, изоконазол, дифлюфеникан
	фунгициды	пираклостробин
Примеси	растительные эфирные масла	флавоноид сциадопизин (кипарисовое масло), флавоны диадзин и генистен (эфирное масло мяты), флавоны полистахин
	продукты жизнедеятельности грибов	зеараленон (нестероидный эстрогенный микотоксин), ланостерол пальмитолеат и зимостерол пальмитолеат

Параллельно образец анализировался методом липидомики с прямой инъекцией в масс-спектрометр (Thermo Scientific™ Q Exactive™ Hybrid Quadrupole-Orbitrap™ Mass Spectrometer). Помимо соединений, входящих в состав подсолнечного масла (к примеру, токоферола и ретиноевой кислоты), мы обнаружили и примеси растительных эфирных масел — кипарисового (флавоноид сциадопизин) и мяты (флавоны диадзин и генистен) (табл.). Скорее всего, в анализируемом образце кроме подсолнечного масла, как основного компонента, присутствовали примеси многокомпонентных благовоний, которые используются для ароматизации церковных и жилых помещений. Возможно, именно они обуславливали необычный запах. Вполне закономерно и присутствие действующих веществ некоторых гербицидов и фунгицидов, если на полях проводилась интегрированная система мероприятий по защите растений подсолнечника от болезней и сорняков. Обнаруженные следы жизнедеятельности грибов позволяют предположить, что последние могли паразитировать на поверхности семян и таким образом попасть в выделяемое из них масло.

Важно отметить, что следы некоторых вышеперечисленных компонентов определялись нами на уровне спектрального шума. Их концентрация настолько мала, что диагностика не в состоянии полностью исключить ложноположительное определение. Из них только такие примеси, как действующие вещества гербицидов и фунгицидов, составляют реально обнаруживаемый профиль.

Микробиологическое исследование иконы Иверской Божьей матери из г.Клина (Московская обл.). Как уже отмечалось выше, в 2001 г. в квартире Жучковой, помимо прочих, обильно замироточила икона Иверской Божьей матери. Наряду с этим членам экспертной группы показали неидентифицированные темно-красные и темно-коричневые выделения на поверхности иконы. Образец таких выделений был собран в стерильную пластиковую пипетку и герметично зафиксирован канцелярской клипсой для последующего хранения при комнатных условиях (рис.8, а). В 2018 г. мы провели микробиологическое исследование данного образца на базе диагностической лаборатории Spezialklinik Neukirchen GmbH & Co KG (Германия) с использованием стандартной панели



Рис.8. Образец темно-красных выделений с иконы Иверской Божьей матери из Клина (а) и пример питательной среды, использованной для бактериологического и микологического исследования данного образца (б).

питательных сред (рис.8, б). Типирование выросших колоний выполнялось в лаборатории Synlab MVZ Weiden (Германия, исследование № 8032 9429 от 19.10.2018, ID 109 2323 133).

При типировании выросших колоний были изолированы грибы родов *Penicillium* (1КОЕ) и *Cladosporium* (3КОЕ). Последние характеризуются темноокрашенным мицелием, на котором образуются разветвленные цепочки темноокрашенных бластоконоидий. Наличие спор и метаболитов плесневых грибов в образцах свидетельствует в пользу выдвинутого нами предположения об участии плесневых грибов в синтезе продуктов мироточения [4].

Учитывая давность образца, можно предполагать, что количество колониеобразующих единиц в «свежем» материале было достаточно высоким, так как при таком сроке хранения рост колоний маловероятен. Условия хранения образца какую-либо вторичную контаминацию исключают. Следовательно, данный образец отчасти может быть продуктом метаболизма плесневых грибов. Последние, оказавшись в несколько необычных микробиологических условиях*, способствовали образованию на иконах метаболитов. Процесс, выдаваемый за кровотоечение, возможно, впоследствии был кем-то «усилен» и «дополнен». Во всяком случае плесневые грибы стали уже обычной находкой в образцах подобного рода, что дает повод продолжать дальнейшие исследования в этом направлении [4].

Важную роль, безусловно, играет скорость доставки материала в лабораторию и использование транспортных сред (например, глубокого охлаждения). Это позволяет обеспечить хорошую сохранность колониеобразующих единиц для получения релевантных микробиологических результатов. Выделение чистой «мироточащей» культуры можно было бы считать важным этапом в данном направлении исследовательской работы.

* * *

Итак, полученные нами результаты анализа выделений с икон во многом коррелируют с исследованиями, проведенными ранее другими группами. Масс-спектрометрический анализ маслянистой жидкости с иконы из пос..Локоть показал практиче-

ски полное совпадение ее жирно-кислотного состава с жирно-кислотным составом подсолнечного масла. Обнаруженные в образце следы эфирных растительных масел, а также гербицидов и фунгицидов могут свидетельствовать в пользу некоего переноса «мира» из одного места в другое. Например, при прикладывании к иконе паломника или прихожанина, лоб которого предварительно мог быть помазан елеем или иным церковным маслом**.

Микробиологическое изучение темно-коричневых образований с иконы из г.Клина подтвердило возможность участия плесневых грибов, которые могли способствовать образованию метаболитов, принимаемых за сгустки крови [16].

Проведенное исследование говорит о том, что задействованный методологический аппарат и специализированное лабораторное оборудование позволяют успешно изучать и анализировать мироточение икон с позиции науки. Однако наложение личных мировоззренческих установок ученых часто формирует барьеры и откровенное неприятие серьезного исследования «чудесных явлений», а следовательно, и препятствует развитию научного знания в этом направлении. Понятно, что принцип бритвы Оккама призывает нас искать максимально простые, «экономные» объяснения тех или иных явлений, без привлечения дополнительных сущностей. Однако это справедливо, если нет особых оснований для поиска более сложных механизмов происходящего. Например, в научном исследовании другого «чудесного явления» — волн обновления икон — было установлено, что данный феномен «не может быть полностью объяснен простыми рациональными причинами (обманом, ошибочными трактовками или редкими природными явлениями)» [17]. Очевидно, что и случаи образования «чудесных» жидкостей на иконах и иных предметах культа также требуют более глубокого понимания.

Таким образом, мироточение, как и любое явление, имеет право на научное исследование. Этим правом мы и воспользовались. В то же время нами не ставилась задача подтвердить или опровергнуть факт чуда. Мы считаем, что по большому счету эта проблематика выходит за границы науки. ■

* Под термином «микробиологических» здесь понимается изменение экологии в масштабе отдельно взятого помещения.

** Конечно, не исключается как сознательная фальсификация с нанесением растительного масла на икону, так и, возможно, протекание некоего редкого физико-химического процесса.

Литература / Reference

1. Бирюкова Ю.А., Шишкалова А.А. Типология феномена чудотворной иконы в восточно-христианской традиции. Актуальные направления научных исследований: перспективы развития: Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 8 октября 2017 г.). Чебоксары, 2017; 173–175. [Biryukova Yu.A., Shishkalova A.A. Typology of the phenomenon of the miraculous icon in the Eastern Christian tradition. Actual directions of scientific research: development prospects: Materials of the III Intern. scientific-practical conf. (Cheboksary, October 8, 2017). Cheboksary, 2017; 173–175. (In Russ.)]
2. Бутов И.С. Арел чудес: волны обновлений икон в XIX — первой половине XX в. Минск, 2018. [Butov I.S. The area of miracles: waves of renewal of icons in the 19th — first half of the 20th centuries. Minsk, 2018. (In Russ.)]

3. Kocój E. Sacrum i łyzy. Fenomen piaczących ikon w wyobrażeniach religijnych w prawosławiu (wybrane zagadnienia). *Slavica Slovaca*. 2015; (2): 140–155.
4. Алексинский В.С., Соколова Т.Н., Бутов И.С. и др. Феномен мироточения: новая гипотеза и химико-микробиологический анализ мироточащих объектов. *Лабораторная диагностика. Восточная Европа*. 2017; (1): 121–129. [Aleksinsky V.S., Sokolova T.N., Butov I.S. et al. The phenomenon of myrrh-streaming: a new hypothesis and chemical-microbiological analysis of myrrh-streaming objects. *Laboratory diagnostics. Eastern Europe*. 2017; (1): 121–129. (In Russ.).]
5. Bever L. A Virgin Mary statue has been “weeping” olive oil. Church leaders can’t explain it. *The Washington Post* (www.washingtonpost.com/news/acts-of-faith/wp/2018/07/18/a-virgin-mary-statue-has-been-weeping-olive-oil-church-leaders-cant-explain-it/?hpid=hp_hp-top-table-main-virgin-mary-statue%3Ahomepage%2Fstory&hpid=hp_hp-top-table-main-virgin-mary-statue%3Ahomepage%2Fstory). Date of access: 01.08.2018).
6. Кириллова В.Е. Феномен бессмертия: чудо мироточения глав на территории Киево-Печерской лавры. Наука и культура: Сборник материалов Междунар. науч.-практ. форума молодых ученых и студентов, посвященного 70-летию Оренбургской государственной медицинской академии. Оренбург, 2014; 371–372. [Kirillova V.E. The phenomenon of immortality: the miracle of the myrrh-streaming of chapters on the territory of the Kiev-Pechersk Lavra. *Science and Culture: Collection of materials Intern. scientific-practical Forum of young scientists and students dedicated to the 70th anniversary of the Orenburg State Medical Academy*. Orenburg, 2014; 371–372. (In Russ.).]
7. Иванов А.А., Московский А.В., Сошинский С.А., Флоренский П.В. Физико-химический анализ веществ, возникших в результате мироточения. Физика взаимодействия живых объектов с окружающей средой: Труды Междунар. совещания «Новые результаты в биофизике взаимодействия живых объектов с окружающей средой» (Москва, 7 декабря 2002 г.). М., 2004; 229–230. [Ivanov A.A., Moskovsky A.V., Soshinsky S.A., Florensky P.V. Physico-chemical analysis of substances resulting from myrrh-streaming. *Physics of the interaction of living objects with the environment: Proceedings of the Intern. meeting «New Results in the Biophysics of Interaction of Living Objects with the Environment»* (Moscow, December 7, 2002). М., 2004; 229–230. (In Russ.).]
8. Головки А.К., Певнева Г.С., Огородников В.Д. и др. Отчет по исследованию образцов «мира» и масла «лампадного»; предисл. к отч. Фелелова В.Н. Томск, 2007. [Golovko A.K., Pevneva G.S., Ogorodnikov V.D. et al. Report on the study of samples of the «myrrh» and oil «lamp»; foreword to rep. Fefelova V.N. Tomsk, 2007. (In Russ.).]
9. Результаты исследования маслянистого вещества (аналитическая записка). Сост. Н.П.Савиных. Томск, 2006. [The results of the study of oily substances (analytical note). Composed N.P.Savinykh. Tomsk, 2006. (In Russ.).]
10. Nickell J. Looking for a Miracle: Weeping Icons, Relics, Stigmata, Visions and Healing Cures. Amherst, 1998.
11. Gaughran E.R. From superstition to science: the history of a bacterium. *Transactions New York Academy of Sciences*. 1969; 31(1): 3–24.
12. Garlaschelli L. Chemie der Wunder. *Chemie in Unserer Zeit*. 1999; 33(3): 152–157.
13. Randi J. Investigating Miracles, Italian-Style. *Scientific American*. 1996; 274(2): 136.
14. Bennett J.W., Bentley R. Seeing Red: The Story of Prodigiosin. *Advances in applied microbiology*. 2000; 47: 9–10.
15. Bielawska K., Dziakowska I., Roszkowska-Jakimiec W. Chromatographic determination of fatty acids in biological material. *Toxicol. Mech. Methods*. 2010; 20(9): 526–537.
16. Бутов И.С., Томин Н.В., Флоренский П.В. и др. Феномен «кровоточащих» предметов религиозного культа и раскрытие его природы с использованием методов высокотехнологичного протеомического анализа. *Лабораторная диагностика. Восточная Европа*. 2019; 8(2): 257–270. [Butov I.S., Tomin N.V., Florensky P.V. et al. The phenomenon of “bleeding” objects of a religious cult and the disclosure of its nature using high-tech proteomic analysis methods. *Laboratory diagnostics. Eastern Europe*. 2019; 8(2): 257–270. (In Russ.).]
17. Бутов И.С., Томин Н.В. Обновления икон на историческом фоне. *Религиоведение*. 2018; (3): 20–34. [Butov I.S., Tomin N.V. Icon updates on a historical background. *Religious studies*. 2018; (3): 20–34. (In Russ.).]

Myrrh-Streaming Icons: What Does Science Say?

N.V.Tomin¹, I.S.Butov², V.S.Aleksinsky³, [A.V.Moskovsky⁴], P.V.Florensky⁵, M.A.Debelyy⁶

¹Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch, RAS (Irkutsk, Russia)

²All-Russian Research Institute of Vegetable Growing (Vereya, Russia)

³Special Clinic Neukirchen (Neukirchen, Germany)

⁴Russian Orthodox University of Saint John the Divine (Moscow, Russia)

⁵Gubkin Russian State University of Oil and Gas (Moscow, Russia)

⁶University of Fribourg (Fribourg, Switzerland)

For many people, the studies on “wonder-working” weeping icons are understood as purely religious field that lies beyond the scope of scientific research. However, in different years, several laboratories and groups of scientists conducted full-scale studies of samples of “miraculous” liquids obtained from cult objects of various faiths. These studies also included using of spectroscopy and chromatography methods. In this regard, science has provided modern tools for the study of any unidentifiable substance and thereby allowed an impartial study of the phenomenon of myrrh-streaming icons. The presented article contains the results of a detailed biochemical study of a number of samples of streamed myrrh taken from icons.

Keywords: high-resolution mass spectrometry, gas chromatography with mass spectrometry, lipidomics, myrrh-streaming.

Вечная мерзлота Туоустахской впадины

Ю.А.Мурзин

Институт мерзлотоведения имени П.И.Мельникова СО РАН (Якутск, Россия)

В 1980–1990-х годах Институт мерзлотоведения СО РАН проводил масштабные геокриологические исследования в низовьях р.Адычи, в пределах Туоустахской впадины. Здесь развита сплошная толща мерзлых пород мощностью от 200 до 500 м. Несмотря на малое количество осадков и засушливость климата, в горных породах Туоустахской впадины широко развиты различные виды подземных льдов и представлен разнообразный криогенный рельеф. Установлено, что для каждого участка впадины характерен свой набор криогенных форм рельефа. На водоразделах Кисилыхского хребта ярко выражены кигиляхи, нагорные террасы, каменные моря и курумы. На пологих склонах появляются делли, солифлюкционные потоки, бороздящие валуны, термокарстовые котловины. В пределах речных террас отмечаются морозобойные трещины, термокарстовые просадки по ледяным жилам, миграционные бугры пучения, байджедрахи и булгуннях. В центральной части Табалахской депрессии распространены многочисленные термокарстовые озера, встречаются аласы.

Ключевые слова: Туоустахская впадина, мерзлота, морозобойная трещина, криогенная текстура, ледяная жила, термокарстово-пещерные льды, бугор пучения, булгуннях, термокарстовое озеро, алас, термокарстовые котловины, бороздящий валун.

Туоустахская межгорная впадина находится на северо-востоке Якутии, в пределах Яно-Адычанского эрозионно-денудационного плоскогорья. Она занимает междуречья нижних течений рек Адычи (правый приток р.Яны), Туоустаха, Табалаха и Борулаха и включает в себя Табалахскую и Борулахскую депрессию и Хастаское поднятие.

В советское время на Адыче планировали возвести крупный гидроэнергетический узел (первый на северо-востоке Якутии), наполнить водохранилище и построить ГЭС. Для проектирования этих объектов требовались серьезные инженерные изыскания. В 1980 г. наш институт заключил с институтом «Ленгидропроект» договор на проведение геокриологических исследований на всей площади Туоустахской впадины. Большое внимание предполагалось уделить изучению подземных льдов и криогенного рельефа. Первый этап работ продолжался три года — в 1980–1982 гг. Был создан полевой отряд, в состав которого вошли двое штатных сотрудников института (В.С.Шейнкман и я) и шестеро внештатных.

В 1986 г. исследования в низовьях Адычи продолжались. Новый контракт был заключен с институтом «Гидропроект» имени С.Я.Жука, и назывался он «Геокриологические исследования в районе строительства Адычанской ГЭС». Для выполнения этих работ создали специальную Адычан-



Юрий Андреевич Мурзин, научный сотрудник лаборатории геотеплофизики и прогноза Института мерзлотоведения имени П.И.Мельникова СО РАН. Область научных интересов — процессы криоморфогенеза на севере Якутии и в горах Восточной Сибири.
e-mail: murzin@mpi.ysn.ru

скую экспедицию, состоявшую из пяти полевых отрядов. Начальником экспедиции стал В.А.Базылев, его заместителем — я. В состав участников входили 18 штатных сотрудников (Е.М.Катасонов, В.В.Кунницкий, Е.А.Слагода, Я.И.Торговкин А.В.Бойцов, А.С.Любомиров и др.) и 10 внештатных. Исследования велись в течение 1987–1991 гг. Согласно техническому заданию заказчика, нам необходимо было составить крупномасштабные геокриологические карты участков, где предполагалось размещать основные сооружения проектируемого гидроузла, а также зоны будущего водохранилища. Требовалось определить естественные параметры сезонной и многолетней криолитозоны и спрогнозировать их возможные изменения при хозяйственном освоении территории.

По климатическим условиям район Туоустахской впадины относится к континентальной области субарктического пояса. Зимы здесь очень холодные

и малоснежные из-за господства азиатского антициклона. Летом активизируются циклоны, поэтому осадков выпадает больше, чем зимой. По данным ближайших метеостанций (Верхоянск, Оюн-Хомото), среднегодовая температура воздуха составляет минус 15.7°C. Самый холодный месяц — январь, его среднемесячная температура минус 48.6–48.4°C (минимальная — минус 68°C). Теплее всего бывает в июле — в среднем 15.2°C. Максимум температуры достигает 35°C [1]. Среднегодовое количество осадков невелико (170–200 мм, из них летом выпадает 85–134 мм). Во многом это объясняется географическим положением Туостяхской впадины: она находится в орографической тени Верхоянского хребта, который существенно понижает влагосодержание приходящих с запада воздушных масс. Суммарное испарение с поверхности почвы за теплое время года равно 190 мм, а испаряемость (испарение с поверхности воды) — 275 мм. Коэффициент увлажнения за летнее время составляет 0.12–0.25, что говорит о недостатке влаги.

Суровые климатические условия привели к формированию в Туостяхской впадине сплошной низ-



Схематическая мерзлотно-ландшафтная карта Туостяхской впадины. Типы местности: 1 — долинный, 2 — мелкодолинный, 3 — аласный, 4 — склоновый, 5 — плакорный. Криогенные формы рельефа: 6 — морозобойные полигоны, 7 — повторно-жильные льды, 8 — бугры пучения, 9 — булгунняхы, 10 — термокарст, 11 — термокарстовые озера, 12 — делли.

котемпературной (минус 6.0–10.0°C) толщи многолетнемерзлых горных пород мощностью порядка 200 м [2–4]. Толщина мерзлого слоя возрастает при движении вверх по склону. На водоразделах хребтов, ограничивающих впадину, она достигает 500 м и более. Под руслом Адычи развит талик (незамерзающий участок) мощностью от 12 до 27 м. Буровыми работами и расчетным путем установлено, что под крупными термокарстовыми озерами здесь развиты сквозные (пронизывающие всю толщу мерзлоты) талики [5].

В Туостяхской впадине широко распространены различные формы криогенного рельефа. Плоские водоразделы Кисильянского хребта, расположенного западнее впадины, представляют собой древнюю поверхность выравнивания, на которой ярко выражены кигиляхи, нагорные террасы, каменные моря и курумы [6]. На пологих склонах появляются делли, солифлюкционные потоки, бороздящие валуны и термокарстовые котловины. В пределах речных террас отмечаются морозобойные трещины, термокарстовые просадки по ледяным жилам, миграционные бугры пучения, байджерахи и булгунняхы. В центральной части Табалахской депрессии распространены многочисленные термокарстовые озера, встречаются аласы.

По результатам наших геокриологических исследований мы построили схематическую мерзлотно-ландшафтную карту Туостяхской впадины. На ней выделено несколько типов местности [7, 8].

Долинный тип формируется в долине Адычи. Здесь установлены высокая и низкая пойма и первая терраса. Низкая пойма имеет относительную высоту до 2 м, она выражена в рельефе в виде островов и прирусловых кос. Летом они длительное время находятся под водой. Русловой аллювий представлен гравием и галькой осадочных и изверженных пород различной крупности. Местами подобные галечники перекрыты маломощным чехлом песчано-гравийных отложений.

Высокая пойма с относительными высотами 2–4 м распространена лишь местами. Ее поверхность занята разнотравным лугом с густыми зарослями ивы высотой до 2 м и отдельными лиственницами. Отложения высокой поймы представляют собой песок с прослоями гравия и мелкого галечника в нижней части. Глубина сезонного протаивания здесь составляет 0.8–1.0 м, а на заболоченных участках она уменьшается до 0.6–0.8 м. Криогенное строение песков преимущественно массивное. В оторфованных слоях отмечается линзовидная текстура*. В отложениях высокой поймы широко

* Линзовидная криогенная текстура формируется, когда ледяные включения образуют параллельные линзы, которые чередуются со слоями частиц и минеральных агрегатов, связанных льдом-цементом.

развиты небольшие растущие ледяные жилы. На относительно сухих местах они фиксируются морозобойными трещинами, а на заболоченных площадках — полигональным микрорельефом.

Высота первой надпойменной террасы 4–8 м. Ее более возвышенные участки заняты бруснично-зеленомошным лесом с подлеском из ольхи и ивы. Для понижений характерно сочетание осоковых и заокочаренных лугов с угнетенным листовичным редколесьем. В разрезах террасы мы видим, что пылеватые пески с прослоями супеси, суглинка и оторфованными горизонтами с растительными остатками подстилаются гравийно-галечниковой толщей руслового аллювия.

В пределах первой надпойменной террасы широко распространены ледяные жилы. В пылеватых песках с массивной криогенной текстурой их ширина не превышает 0.5 м. В некоторых ледяных жилах были отмечены морозобойные трещины, не заполненные водой. Наличие полых трещин говорит о том, что наиболее высокие участки первой террасы испытывают недостаток увлажнения. В суглинках ширина повторно-жильных (многократно систематически образующихся в морозобойных трещинах на одних и тех же местах) льдов достигает 1 м, а в оторфованных суглинках она максимальна — 1.5–2.0 м. Большинство ледяных жил, скорее всего, растут, о чем свидетельствуют «плечики» на боковых контактах с вмещающими породами.

Наряду с широким развитием ледяных жил, в разрезах террасы отмечаются и необычные ледо-грунтовые образования. Лед, переслаиваясь с грунтовыми примесями, по своему строению резко отличается от повторно-жильного. Эти формы представляют собой «ледяные псевдоморфозы», в литературе они называются термокарстово-пещерными льдами [9–11]. Их изучение показало, что первоначально на их месте располагались ледяные жилы. Смена жил на термокарстово-пещерные льды происходит следующим образом. При переходе высокой поймы к первой надпойменной террасе или при уничтожении пожарами растительного покрова увеличивается мощность сезонно-талого слоя. Верхние части ледяных жил протаивают, образуются пустоты. Стекающая со склонов вода проникает в пустоты и вызывает дальнейшее вытравливание повторно-жильных льдов. Новые пустоты постепенно заполняются ледогрунтовой массой, формируя термокарстово-пещерные льды, никак не выраженные в рельефе. В связи с тем что тыловые части террас во многих местах перекрываются склоновыми отложениями, образующиеся по ледяным жилам пустоты и термокарстово-пещерные льды могут переходить в захороненное состояние.

В тыловых частях террас, у подножия склонов, широко развиты небольшие многолетние бугры пучения. Форма бугров разнообразная — от округ-

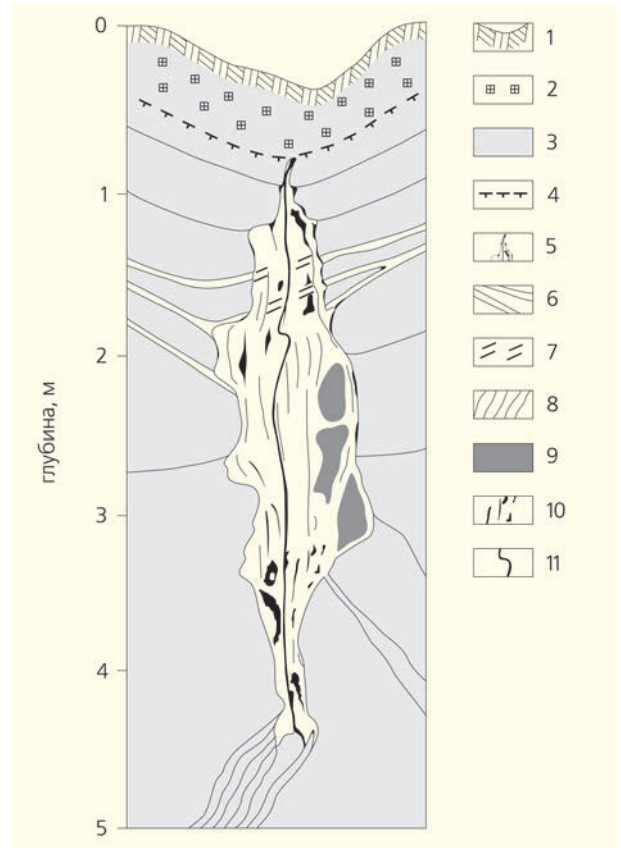


Растущая ледяная жила в отложениях первой террасы реки Адычи.

Здесь и далее фото автора



Морозобойная трещина на поверхности первой надпойменной террасы.



Ледяная жила в пылеватых песках первой надпойменной террасы. Условные обозначения: 1 — моховой покров, 2 — торф, 3 — песок, 4 — граница многолетнемерзлых пород, 5 — повторно-жильный лед, 6 — сегрегационные шлиры льда, 7 — шлиры льда в ледяной жиле, 8 — элементарные шлиры, 9 — ксенолиты грунта, 10 — включения грунта в ледяной жиле, 11 — морозобойные трещины, не заполненные льдом.

лой до вытянутой вдоль подножия склона. Часто, сливаясь друг с другом, они образуют участки площадного пучения до нескольких сотен квадратных метров. Высота бугров 0.5–0.7 м. Максимальное летнее оттаивание не превышает 0.3–0.4 м. До глубины 0.3 м бугры сложены торфом, а ниже следует мерзлая, сильно льдистая светло-серая супесь с включением дресвы и гравия. Лед бугров представлен ветвящимися шлирами чистого прозрачного сегрегационного (образующегося из влаги, которая содержится в породе в период промерзания) льда толщиной до 2.5 см. Соединяясь, шлиры образуют сложную густую решетку. В местах соединения шлиров толщина льда увеличивается до 5 см. Супесчаный горизонт подстилается щебнисто-дресвяным. Некоторые бугры пучения разбиты морозобойными трещинами, по которым формируются повторно-жильные льды.

На поверхности первой надпойменной террасы мы обнаружили несколько бугров пучения, появившихся на днищах спущенных старичных озер в результате промерзания несквозных подозерных таликов. Это булгунняхы. Они имеют округлую форму и в диаметре составляют примерно 50–60 м при высоте 5–6 м. Сложены они светло-

серым песком. Криогенное строение булгунняхов проследить не удалось.

Еще один тип местности — мелководинный — занимает днища долин небольших речек и ручьев. В поперечном сечении эти долины обычно имеют корытообразную форму с развитым мелкобугристым рельефом. Аллювиальные отложения представлены песками, супесями с галькой и дресвой, для которых характерны линзовидная, базальная* или сетчатая** криогенная текстура. Глубина сезонного протаивания изменяется в пределах от 0.2 до 0.6 м. В долинах растет лиственничный лес с подлеском из ольхи, на заболоченных участках распространены ерники из березы кустарниковой с голубичником.

Аласный тип местности распространен в центральной части Туостахской впадины и представ-

* Базальная криогенная текстура характерна для грубозернистых и обломочных пород. Она образуется при их промерзании в условиях полного водонасыщения. Лед в этих случаях преобладает над горной породой, и ее обломки словно плавают в нем (часто не соприкасаясь между собой).

** Сетчатая криогенная текстура характеризуется расположением ледяных включений в виде сетки.

ляет собой переработанные термокарстом обширные понижения в рельефе, обычно вытянутые по уклону местности (аласы). В этих понижениях наблюдается около 100 остаточных озер. Отдельные озера достигают значительных размеров. Так, оз. Амыдай при глубине 10–15 м и ширине 500–700 м достигает в длину 3 км. Большинство озер соединены между собой ложбинами стока и образуют аласоподобные долины [12].

Буровыми работами Янской геологоразведочной экспедиции установлено, что мощность рыхлых отложений в этом районе составляет 150 м и что они представляют собой переслаивание супесей, суглинков, глин, песков, подстилаемых песчаниками юрской системы. Наши наблюдения показали, что в пределах межаласных пространств развито два яруса мощных повторно-жильных льдов. Вытаивание этих ледяных жил и привело к образованию термокарстовых озер. Первый ярус вскрывается в береговых обрывах озер. Второй залегает ниже уреза воды, в суглинисто-песчаном аллювии.

Термокарстовые озера в своем развитии находятся в стадии «тыымпы» (этим якутским словом обозначается первая стадия развития аласа). Геоморфологические условия способствуют многоводности этих котловин.

В пределах этого типа местности мы обследовали несколько аласов. Они имеют округлую форму и небольшие размеры. Например, ширина аласа Талалах составляет 400–500 м, высота бортов — 10–12 м. Дно котловины плоское, с незначительным уклоном к центру. В ее середине имеется два небольших остаточных озера. Морфологическое строение котловины, усыхание озера и остепненная растительность по берегам указывают на то, что аласы в данное время находятся в зрелой стадии своего развития.

Склоновый тип местности левобережья Адычи хорошо выражен в юго-восточной части хребта Кисиях и представляет собой пологий (2–3°) склон. Мощность склоновых супесчано-суглинистых отложений достигает 20 м, они пронизаны повторно-жильным льдом [13]. Ширина ледя-



Термокарстовое озеро Амыдай.

ных жил доходит до 2 м. Для верхней части склоновых отложений характерна крупнолинзовидная криогенная текстура, местами переходящая в базальную.

На пологих склонах с повторно-жильным льдом и линзовидно-базальной криогенной текстурой мы обнаружили термокарстовые котловины. Чаше всего они располагаются в нижней части склона и тяготеют к ложбинам стока — деллям. Обычно котловины имеют овальную форму и ширину 0.5–0.7 км и вытянуты вниз по склону на 1.0–1.5 км. От склона они отделены уступом крутизной 7–10°. Днище термокарстовых котловин покрыто кустарниково-луговой растительностью. Отдельные термокарстовые котловины, соединяясь друг с другом, иногда образуют сложные структуры. Одна из таких сложных котловин состоит из семи более мелких. Самая

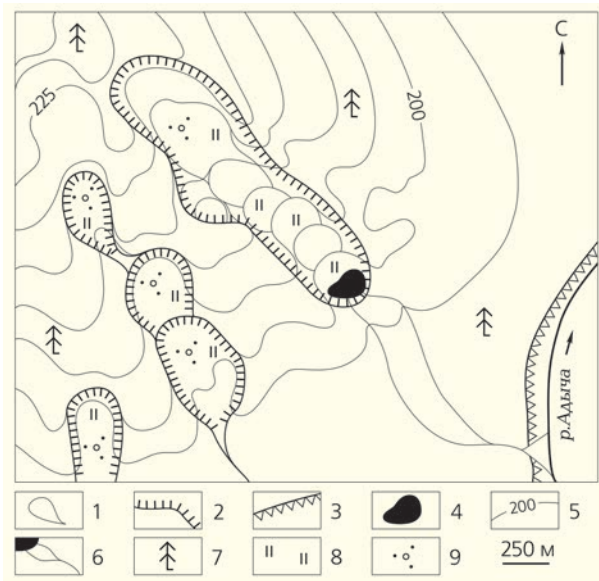


Повторно-жильный лед в береговом обрыве озера Амыдай.



Алас Талалах.

нижняя занята озером размером 100×250 м. Наше обследование этой территории позволило установить следующее. Мощность склоновых наносов, вмещающих повторно-жильные льды и имеющих линзовидную криогенную текстуру, не превышает 3–4 м, они перекрывают отложения первой надпойменной террасы Адычи. Аллювиальные отложения представлены заторфованными суглинками с базальной криогенной текстурой и повторно-жильными льдами шириной 1.5–2.0 м. В местах подпруживания талых вод наблюдается развитие термокарста по этим льдам.



Термокарстовые котловины на юго-восточном склоне хребта Кисилях. Условные обозначения: 1 — термокарстовые котловины, 2 — обрывистые борта котловин, 3 — берег реки, 4 — озеро, 5 — горизонталы, 6 — ложбины стока, 7–9 — растительность (7 — древесная, 8 — луговая, 9 — кустарниковая).

В гольцовой зоне, на пологих склонах хребта Кисилях, мы заметили так называемые бороздящие валуны. Это отдельные глыбы гранитов, движущиеся с большей скоростью, чем окружающие их склоновые массы. Бороздящие валуны могут быть различных размеров и конфигураций. Максимальный размер одной из встреченных нами глыб 2×1 м. Чаще всего обломки горных пород появляются на склоне в результате морозного пучения, реже из-за обвалов. А двигаются они вот почему. С наступлением осенних заморозков, вследствие того что теплопроводность камня почти на два порядка выше снега (0.14 и 0.002 м²/с соответ-

ственно [14]), под валунами устанавливаются более низкие температуры. Горные породы под валуном промерзают в первую очередь, и влага мигрирует к фронту промерзания, т.е. под валун. Весной же валун прогревается быстрее, чем покрытые мхом склоны, и под ним начинает протавить льдистый грунт (отличающийся к тому же высокой пластичностью). Оттаивающий супесчано-суглинистый материал превращается в жидкую массу, по которой валун и скользит вниз по склону в течение всего летнего периода.

И наконец, плакорный тип местности занимает плоские водораздельные пространства междуречий Адычи, Туостаха и Хастаха. Отложения, представленные гравийно-дресвяными породами с алевролитовым заполнителем и прослоями супеси, характеризуются линзовидной, базальной и атакситовой* криогенной текстурой. В основании разрезов залегает криогенный элювий, представленный щебнем с примесью дресвы и алевролита — глинистого материала, сцементированного льдом. Из криогенных форм рельефа мы обнаружили здесь морозобойные трещины, по которым развиты маломощные повторно-жильные льды, небольшие солифлюкционные языки, делли.

Таким образом, для каждого района Туостаской межгорной впадины характерен свой набор криогенных форм рельефа: от булгунняхов в долинах и термокарстовых озер и аласов в аласном типе местности до нагорных террас и каменных морей на водораздельных площадях. ■

* Атакситовая криогенная текстура характерна в основном для тонкодисперсных грунтов (минеральных и органо-минеральных), в которых наблюдается сложное сочетание ледяных включений и минеральных агрегатов, взвешенных во льду, а лед количественно преобладает над грунтом.

Литература / References

1. Научно-прикладной справочник по климату СССР. 1989; 24(1): Якутская АССР. Л., 1989. [Scientific-Applied Handbook on the USSR Climate. 1989; 24(1): Yakutia. Leningrad, 1989. (In Russ.)]
2. Некрасов И.А., Девиаткин В.Н. Морфология криолизозоны бассейна реки Яны и сопредельных районов. Новосибирск, 1974. *Nekrasov I.A., Deviatkin V.N. Morphology of the Yana River Basin Cryolithozone and Adjacent Areas. Novosibirsk, 1974. (In Russ.)*
3. Мурзин Ю.А., Самсонов А.А. Температура горных пород в низовьях р.Адычи. Региональные геокриологические исследования в Восточной Азии. Якутск, 1983; 97–101. [*Murzin Yu.A., Samsonov A.A. Rock temperature in the lower reaches of the Adycha River. Regional Geocryological Studies in East Asia. Yakutsk, 1983; 97–101. (In Russ.)*]
4. Мурзин Ю.А., Жижин В.И. Геокриологические условия хребта Кисилых на участке пересечения его рекой Адыча. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (31 марта – 2 апреля 2015 г.). Якутск, 2015; 299–303. [*Murzin Yu.A., Zhizhin V.I. Geocryological conditions of the Kisilyakh ridge at the site of its crossing the Adycha River. Geology and Mineral Resources of the North-East of Russia: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (March 31 – April 2, 2015). Yakutsk, 2015; 299–303. (In Russ.)*]
5. Мурзин Ю.А., Тетельбаум А.С., Шендер Н.И. Влияние термокарстовых озер Нижне-Адычанской впадины на формирование стационарного температурного поля горных пород. Озера холодных регионов: Материалы международной конференции. Якутск, 2000; 1: 127–136. [*Murzin Yu.A., Tetelbaum A.S., Shender N.I. The influence of thermokarst lakes of the Lower Adychanskaya Depression on the formation of a stationary temperature field of rocks. Lakes of Cold Regions: Proceedings of the International Conference. Yakutsk, 2000; 1: 127–136. (In Russ.)*]
6. Мурзин Ю.А. Кигиляхи Якутии. Природа. 2004; 5: 54–57. [*Murzin Yu.A. Kigilyakhi of Yakutia. Priroda. 2004; 5: 54–57. (In Russ.)*]
7. Мильков Ф.Н. Ландшафтная география и вопросы практики. М., 1966. [*Milkov F.N. Landscape Geography and Practical Issues. Moscow, 1966. (In Russ.)*]
8. Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты Якутии: Методика выделения и вопросы картографирования. Якутск, 1991. [*Fedorov A.N. Permafrost Landscapes of Yakutia: Methods of Individualization and Problems of Mapping. Yakutsk, 1991. (In Russ.)*]
9. Гасанов Ш.Ш. Строение и история формирования мерзлых пород Восточной Чукотки. М., 1966. [*Hasanov Sh.Sh. The Structure and History of the Formation of Frozen Rocks of Eastern Chukotka. Moscow, 1966. (In Russ.)*]
10. Розенбаум Г.Э., Архангелов А.А., Коняхин М.А. Термокарстово-пещерные льды Яно-Колымской низменности. Проблемы криолитологии. 1978; 8: 74–92. [*Rosenbaum G.E., Arkhangelov A.A., Konyakhin M.A. Thermokarst-cave ice of the Yano-Kolyma lowland. Problems of Cryolithology. 1978; 8: 74–92. (In Russ.)*]
11. Климовский И.В., Мурзин Ю.А. Подземные льды наледных полей горных районов Восточной Сибири. Взаимосвязь поверхностных и подземных вод мерзлой зоны. Якутск, 1980; 103–114. [*Klimovsky I.V., Murzin Yu.A. Underground ices of glacial glades of mountainous regions of Eastern Siberia. The Relationship of Surface and Groundwater in the Frozen Zone. Yakutsk, 1980; 103–114. (In Russ.)*]
12. Босиков Н.П., Мурзин Ю.А., Торговкин Я.И. Аласы Туостакской впадины. Материалы Второй конференции геокриологов России. Т.2: Динамическая геокриология. М., 2001; 52–57. [*Bosikov N.P., Murzin Yu.A., Torgovkin Y.I. Alases of the Tuostakh Depression. Proceedings of the Second Conference of Russian Geocryologists. T.2: Dynamic Geocryology. Moscow, 2001; 52–57. (In Russ.)*]
13. Слагода Е.А. Микростроение мерзлых склоновых отложений гряды Кисилых. Денудация в криолизозоне. М., 1991; 19–29. [*Slagoda Ye.A. Microstructure of permafrost slope deposits of the Kisilyakh Range. Denudation in the Cryolithozone. Moscow, 1991; 19–29. (In Russ.)*]
14. Горбунов А.П. Бороздящие валуны. Мерзлотные исследования в осваиваемых районах СССР. Новосибирск, 1980; 160–167. [*Gorbunov A.P. Furrowing boulders. Permafrost Research in the Developed Regions of the USSR. Novosibirsk, 1980; 160–167. (In Russ.)*]

Permafrost of the Tuostakh Depression

Yu.A.Murzin

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, RAS (Yakutsk, Russia)

In 1980–1990, the Melnikov Permafrost Institute conducted large-scale permafrost investigations in the lower reaches of the Adychi River, within the Tuostakh Depression. The cold climate is responsible for the existence of continuous permafrost with thickness ranging from 200 to 500 m. Despite the low precipitation and dry climate, underground ice is abundant in the rock formations here. The Tuostakh depression contains a wide variety of periglacial landforms, and various parts of the depression are characterized by its own periglacial landforms. On the flattened watersheds of the Kisilyakh Range they are represented by kigilyakhs, altiplanation terraces, felsenmeers, and block streams. The gentler slopes contain dells, solifluction streams, ploughing boulders, and thermokarst depressions. Frost cracks, thermokarst sinkholes, palsa, thermokarst mounds, and pingos are observed on the river terraces. Thermokarst lakes are abundant in the central part of the Tabalakh depression, and drained lake basins (alases) are occasionally presented.

Keywords: Tuostakh Depression, permafrost, frost crack, cryostructure, ice wedge, thermokarst-cave ice, frost mound, pingo, thermokarst lake, alas, ploughing boulder.

Титанозавры России

А.О.Аверьянов

Зоологический институт РАН (Санкт-Петербург, Россия)



Реконструкция раннемелового ландшафта в районе местонахождения Шестаково, Кемеровская обл. Показаны, в частности, завропод сибиротитан и рогатый динозавр пситтакозавр сибирский.

Рисунок А.А.Агучина



Ископаемые остатки гигантских динозавров завропод были практически неизвестны на территории России. В 2017–2018 гг. описаны первые три таксона завропод, найденные в нашей стране, — тенгризавр, волгатитан (титанозавры) и сибиротитан (титанозавриформ). Изучение завропод России позволит прояснить важные этапы эволюции титанозавров в Азии.

Ключевые слова: динозавры, завроподы, титанозавры, меловой период, Россия.



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

Завроподы — группа нептичьих* динозавров, включающая крупных и очень крупных растительноядных животных. Некоторые завроподы достигали 30 м в длину и 80 т веса и были самыми крупными наземными животными за всю историю Земли. Эти ящеры ходили на четырех колонноподобных ногах. Для них были характерны маленькая голова и очень длинная шея (у некоторых видов она была в четыре-пять раз длиннее туловища). В настоящее время известно уже около 200 родов завропод, что составляет примерно 15–20% разнообразия всех нептичьих динозавров. Однако, несмотря на обилие находок, завроподы долгое время были наименее изученной группой динозавров. В частности, филогенетические связи разных их групп стали проясняться лишь в последнее время благодаря внедрению кладистического метода.

Самую раннюю радиацию завропод представляют архаичные формы позднего триаса — ранней юры (вроде вулканодона из ранней юры Зимбабве). Они отличались от своих предков — «завропод» — более крупными размерами и хождением на четырех колонноподобных ногах. Однако эти первые архаичные завроподы еще плохо изучены. В частности, неизвестно строение их черепа. Большинство «настоящих» завропод относятся к кладе Eusauropoda, ра-

* Нептичьими называют всех динозавров, кроме относящихся к группе птиц (Aves). С позиций филогенетической систематики птицы — одна из групп (клад) хищных динозавров (Theropoda).

диация которой началась в ранней юре. В качестве примеров первых эузавропод приведу шунозавра из ранней юры Китая, барапазавра из ранней юры Индии, ферганозавра из средней юры Киргизии [1] и патагазавра из средней юры Аргентины. Характерные признаки эузавропод это, в частности, не менее 13 шейных позвонков, укороченные и редуцированные фаланги конечностей и более совершенная зубная система (при обработке пищи зубы верхней и нижней челюстей тесно соприкасались и образовывали фасетки стирания). Для всех представителей этой клады характерна морщинистая скульптура эмали зубов, что позволяет легко диагностировать их изолированные зубы. К первым эузавроподам относятся также маменьсизавриды (*Mamenchisauridae*) с необычной даже для завропод длинной шеей, включавшей 15 и более позвонков. Некоторые виды маменьсизавра из поздней юры — раннего мела Китая могли достигать 30 м в длину и более 70 тонн веса. Маменьсизавриды были распространены преимущественно в Китае и Юго-Восточной Азии. Лишь недавно ископаемые остатки представителя этой группы нашли в среднеюрских отложениях Западной Сибири [2]. Это самые древние находки завропод с территории нашей страны.

Более эволюционно продвинутые завроподы относятся к кладе *Neosauropoda*, которая разделяется на две большие клады — *Diplodocoidea* и *Macronaria*. Неозавроподы появились в средней юре, они характеризуются, в частности, отсутствием зубчиков по краям зубных коронок и формированием полукруглого вертикального блока из пяст-

ных костей, в результате чего передняя конечность опиралась только на фаланги пальцев, а не на всю ладонь. Общие для диплодокоидов признаки — это тонкие зубы-кольшники и длинный хвост, кончик которого похож на хлыст. К диплодокоидам относятся три семейства (реббахизавриды, дикраеозавриды и диплодоциды), радиация которых происходила в поздней юре — раннем мелу в Северной и Южной Америке и в Африке.

Другую большую кладу неозавропод составляют макронарии, названные так по большому носовым отверстиям. Камаразавр из поздней юры США — наиболее примитивный представитель макронариев. Брахиозавриды и более продвинутые макронарии объединяют в кладу *Titanosauriformes*, широко распространенную в поздней юре — мелу на всех континентах, кроме Антарктиды. К этой кладе относятся, например, брахиозавр и жираффатитан (брахиозавриды) из поздней юры соответственно США и Танзании, эухелоп (эухелопиды) из раннего мела Китая и эркету из самого начала позднего мела Монголии. Большинство диплодокоидей и нетитанозавровых макронарий вымерло к началу позднего мела.

Для позднего мела характерна радиация последней большой группы завропод — титанозавров. Позднемеловые титанозавры известны из Южной Америки, Африки, Мадагаскара, Индии, Европы, Центральной и Восточной Азии. В Северной Америке завроподы вымерли в конце раннего мела, и лишь один род (аламозавр) в самом конце позднего мела проник на этот континент из Южной Америки.



Основные клады завропод [15, рис.14].

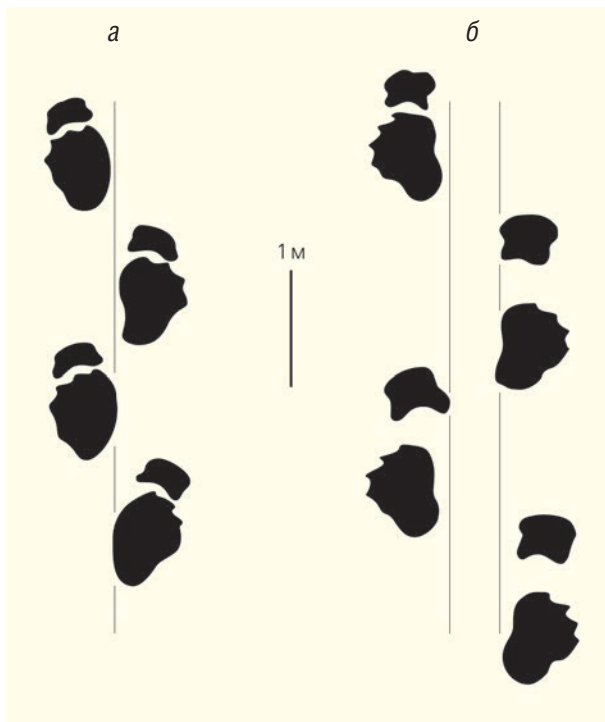
Титанозавры — последние гиганты

Титанозавры — единственная группа завропод, дожившая до конца мелового периода (маастрихта), причем в то время они были распространены почти на всех континентах и были достаточно разнообразны. Маастрихтские титанозавры известны в Северной (аламозавр) и Южной Америке (гондванатитан), на Мадагаскаре (рапетозавр), в Индии (изизавр), в Европе (ампелозавр, магиарозавр) и в Азии (нэмэгтозавр, опистоцеликаудия). К титанозаврам относится почти половина всех известных родов завропод. Неудивительно, что при таком разнообразии и размеры представителей этой группы варьируют больше, чем в других группах завропод. Среди них есть как сравнительно небольшие животные (сальтазавр, неукуэнзавр), так и самые крупные завроподы (аргентинозавр, пуэртозавр и др.).

Титанозавры характеризуются рядом морфологических особенностей, которые отличают их от других завропод. Напомню, что для динозавров характерна парасагиттальная постановка конечностей, при которой конечности ставятся близко к средней линии тела. Такая же постановка наблюдается и у териевых млекопитающих, тогда как у ящериц, крокодилов и однопроходных млекопитающих конечности расставлены широко. Особенности постановки конечностей хорошо видны на следовых дорожках, оставленных динозаврами. У нетитанозавровых завропод отпечатки передней и задней конечности расположены близко к средней линии следовой дорожки, часто ее пересекают. У титанозавров конечности были расставлены заметно шире, и их следы расположены на существенно большем расстоянии от средней линии сле-

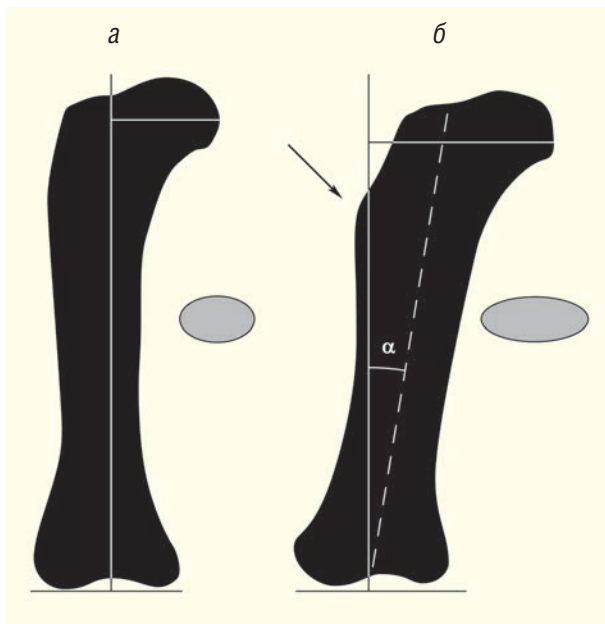


Титанозавр рюкватитан из мела Танзании. Реконструкция А.А.Агучина.



Следовые дорожки нетитанозаврового завропода (а) и титанозавра (б) [16, рис.1].

довой дорожки. Более широкая постановка конечностей обеспечивалась, в частности, ориентировкой бедренной кости не вертикально, а под углом к вертикальной оси тела, что позволяло вынести голень дальше от средней линии тела. Благодаря такой постановке бедра у титанозавров образыва-



Бедренная кость диплодока (а) и сальтазавра (б). У титанозавра сальтазавра бедренная кость расположена под углом α к вертикальной оси тела и имеет выступ на боковой поверхности, обозначенный стрелкой [17, рис.4].

вался особый латеральный вырост на бедренной кости, служивший местом крепления мышц, а поперечное сечение самой кости было эллипсоидным, вытянутым в медиолатеральном направлении, что увеличивало ее прочность. С широкой постановкой конечностей также связана серия морфологических модификаций в передней конечности и в грудной клетке. Видимо, с особенностями локомоции титанозавров связано укорочение их хвоста, который состоял примерно из 35 позвонков. Передние хвостовые позвонки у всех титанозавров (кроме опистоцеликаудии) процельные, т.е. вогнутые спереди и выпуклые сзади. У представителей клады продвинутых титанозавров-литостротий (*Lithostrotia*) процельными были не только передние, но и средние хвостовые позвонки (форма же сочленения задних позвонков могла сильно варьировать). Литостротии также характеризуются наличием небольших костных бляшек в коже — остеодерм. Опистоцеликаудия уникальна тем, что у нее передние хвостовые позвонки опистоцельные (т.е. выпуклые спереди и вогнутые сзади), а средние хвостовые — платицельные (плоские спереди и сзади). Укорочение хвоста и его увеличенная подвижность за счет появления шаровидного сустава между позвонками, возможно, были связаны с функцией хвоста как дополнительной опоры тела, что позволяло титанозаврам приподнимать переднюю часть тела и передние конечности во время питания или спаривания. Также у титанозавров передний отросток подвздошной кости таза ориентирован не вертикально, как у других завропод, а горизонтально, выступая наружу. Еще одна уникальная особенность титанозавров — неокостенение элементов запястья, кисти и предплюсны, которые, видимо, оставались хрящевыми в течение всей жизни.

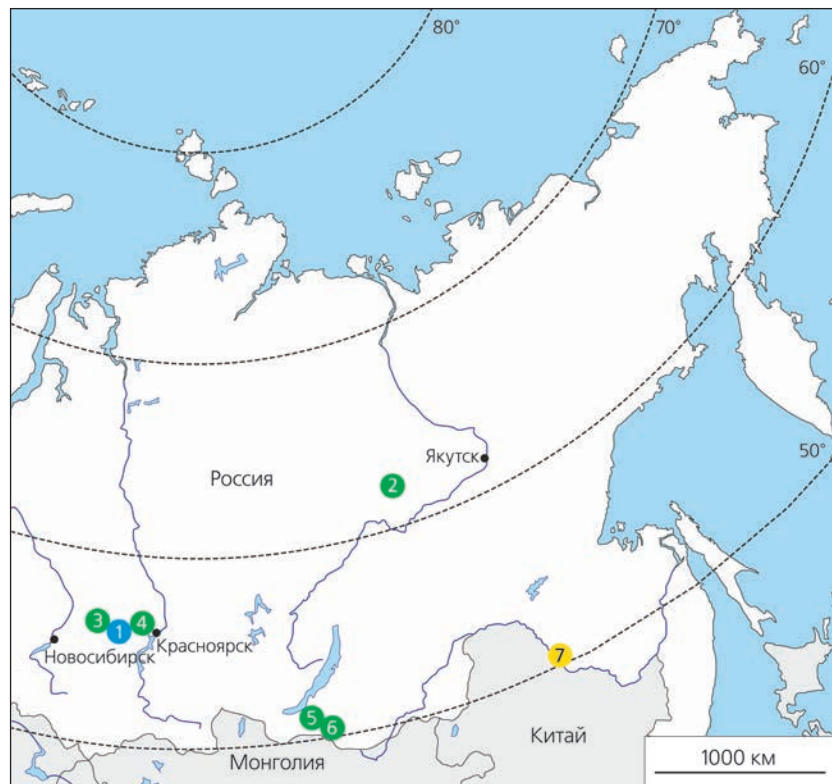
Функциональное значение многих особенностей скелета титанозавров пока полностью не понятно. Возможно, расширение постановки конечностей и латеральный изгиб подвздошной кости были связаны с увеличением туловища титанозавров, в частности с чрезмерным развитием органов пищеварения (желудок, кишечник), которые могли использоваться как бродильные чаны для переваривания зеленых частей растений с помощью микроорганизмов. Как бы то ни было, эти морфологические особенности обеспечили титанозаврам определенный эволюционный успех и позволили им пережить другие группы завропод.

Находки титанозавров в России

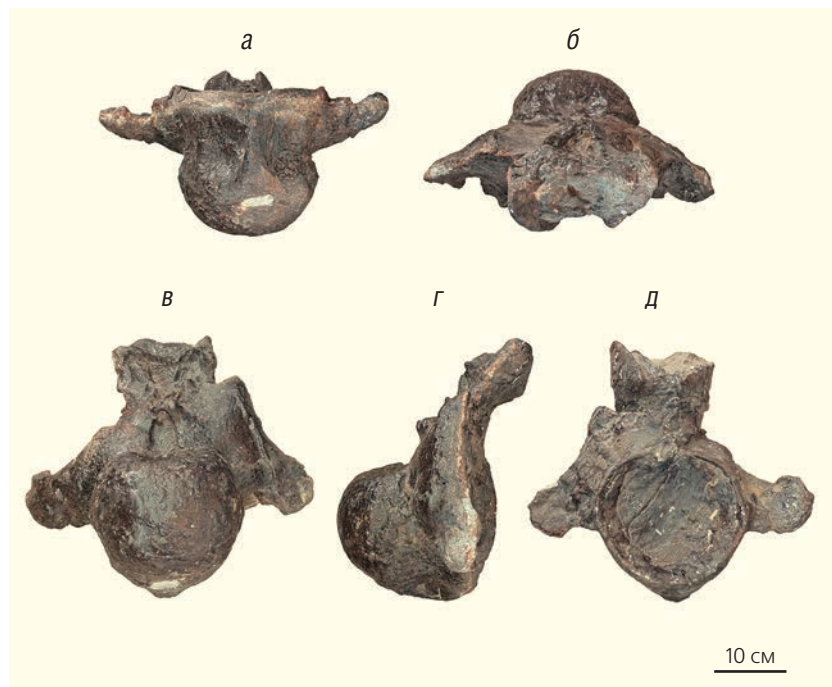
Долгое время завроподы в России были известны лишь по очень редким и фрагментарным остаткам, не поддающимся определению. Зубы завропод из раннемелового местонахождения Тээтэ в Якутии

были отнесены к американскому роду камаразавр [3] (однако изолированные зубы завропод не могут быть диагностированы на родовом уровне, так что данную находку можно в действительности определить не ближе, чем *Macronaria indet.*). Это местонахождение завропод — самое северное в Северном полушарии. Известно оно также уникальной находкой зубов детенышей завропод — первым свидетельством того, что эти динозавры могли размножаться в приполярных широтах.

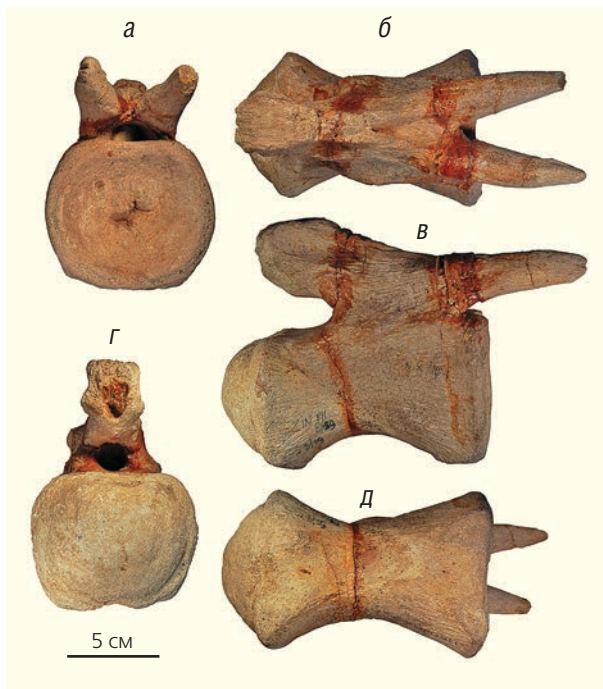
Другая интересная находка ископаемых остатков завропод в России — серия хвостовых позвонков из нижнемеловых отложений Сланцевого рудника близ г. Ульяновска, на берегу Волги, найденных еще в 1982 г. В.М.Ефимовым. Уникальность ее в том, что она найдена в морских отложениях с богатой фауной беспозвоночных, а это позволяет точно датировать находку верхним готеривом (зона *Speetoniceros versicolor*). Большинство других находок завропод сделано в континентальных отложениях, возраст которых часто определяется в довольно широких пределах. Морфология позвонков также оказалась уникальной, что позволило выделить эту форму в новый род и вид *Volgatitan simbirskiensis* [4]. Сильно выраженная процельность передних и средних хвостовых позвонков свидетельствует о принадлежности волгатитана к титанозаврам клады *Lithostrotia*. Однако, в отличие от многих титанозавров, на нижней стороне позвонков у волгатитана имеется продольный гребень, а не борозда. Также для волгатитана характерны дополнительные сочленения на нервной дуге передних хвостовых позвонков, которые ранее были обнаружены только у одного представителя титанозавров — у эпактозавра из верхнего мела Аргентины. Проведенный



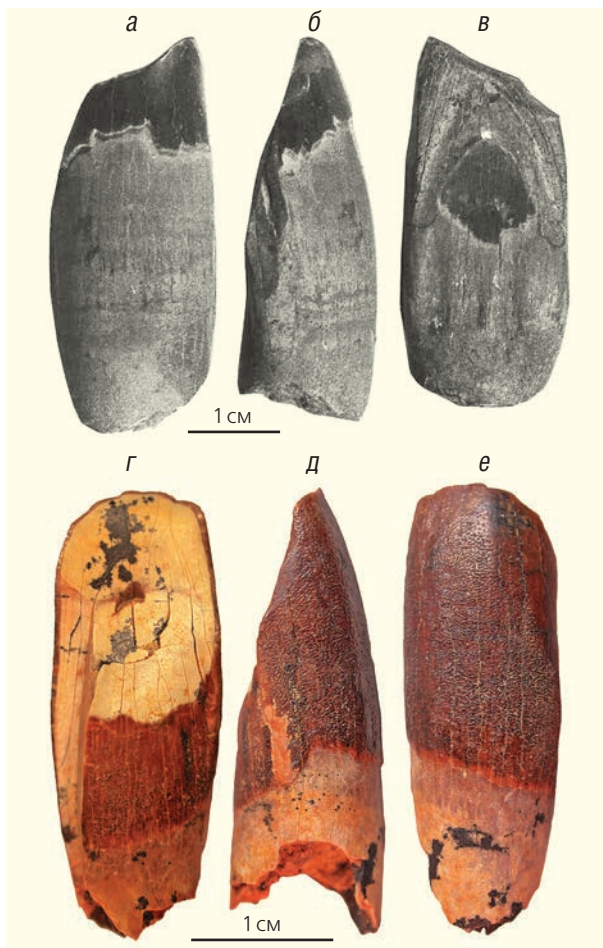
Места находок завропод в Сибири: 1 — Березовский карьер (итатская свита, батский ярус средней юры), 2 — Тээтэ (батылхская свита, берриасский—барремский ярус раннего мела), 3 — Шестаково 1 и 3 (илекская свита, аптский ярус раннего мела), 4 — Большой Кемчуг 3 (илекская свита, барремский? ярус раннего мела), 5 — Могойто (муртойская свита, барремский и аптский? ярусы раннего мела), 6 — Красный Яр (хилокская свита, аптский ярус раннего мела), 7 — Благовещенск (удурчуканская свита, маастрихтский ярус позднего мела).



Передний хвостовой позвонок волгатитана: вид снизу (а), сверху (б), сзади (в), сбоку (г) и спереди (д).



Средний хвостовой позвонок тенгризавра: вид спереди (а), сверху (б), сбоку (в), сзади (г) и снизу (д).



Зубы титанозавров из местонахождений Могойто (а–в) и Красный Яр (г–е). Каждый зуб изображен с трех сторон [7, 18].

филогенетический анализ позволил поместить волгатитана в основание филогенетической линии, на вершине которой находятся гигантские титанозавры из позднего мела Южной Америки, достигавшие 60–70 т веса (аргентинозавр, нотоклосс, патаготитан, пуэртазавр). Однако по расчетам масса самого волгатитана составляла всего около 17 т. Очевидно, что эта филогенетическая линия титанозавров в раннем мелу была широко распространена, но в позднем мелу сохранилась только в Южной Америке, где в условиях начавшейся изоляции эти титанозавры приобрели гигантские размеры. Волгатитан — древнейший известный в мире титанозавр.

Разрозненные зубы и хвостовые позвонки завропод находили также в раннемеловом местонахождении Могойто близ о.Гусиного в Бурятии [5, 6]. Недавно по хвостовым позвонкам из Могойто был описан новый титанозавр *Tengrisaurus starkovi* [7]. У тенгризавра и передние, и средние хвостовые позвонки глубоко процельные, что свидетельствует о его принадлежности к группе литостротий. Невральная дуга передних хвостовых позвонков тенгризавра сильно пневматизирована, т.е. снабжена серией особых полостей с отверстиями вдоль остистого отростка. Это эволюционно продвинутый морфологический признак, который встречается еще только у некоторых титанозавров из позднего мела Южной Америки. Существование столь продвинутого титанозавра в раннем мелу Азии подчеркивает неполноту наших знаний о ранних этапах эволюции титанозавров.

Эволюционно продвинутые титанозавры характеризуются тонкими карандашеподобными зубами с круглой или эллиптической апикальной фасеткой стирания. Такие зубы очень похожи на зубы диплодокоидов, но они, безусловно, появились у титанозавров независимо. Для более примитивных титанозавров характерны зубы с более широкими коронками и V-образными боковыми фасетками стирания. У промежуточных по эволюционному положению титанозавров зубы тонкие, но встречаются оба варианта фасеток [8]. Интересно, что зубы у титанозавров, найденные в Могойто, были примитивного типа: коронка у них весьма широкая, хорошо выражены боковые фасетки стирания V-образной формы. Эти зубы могли принадлежать тенгризадру, описанному по хвостовым позвонкам из данного местонахождения. Но если это так, то наблюдается своеобразный эволюционный диссонанс между примитивными зубами и продвинутыми хвостовыми позвонками. Однако в одной экосистеме могли сосуществовать два таксона завропод и даже более. Единственный зуб завропода из местонахождения Красный Яр в Бурятии принадлежит более про-

двинутому титанозавру: коронка зуба еще достаточно толстая, но имеет одну апикальную фасетку стирания эллиптической формы. Эта фасетка расположена под тупым углом к вертикальной оси зуба, тогда как у более продвинутых титанозавров фасетка стирания почти перпендикулярна продольной оси зуба.

Одно из крупнейших местонахождений динозавров в нашей стране — это Шестаковский комплекс местонахождений близ дер. Шестаково в Кемеровской обл. Наиболее значимые местонахождения комплекса — Шестаково 1 (обрыв вдоль р. Кия) и Шестаково 3 (искусственная дорожная выемка к югу от дер. Шестаково). Это одно из немногих мест, где встречаются скелеты динозавров в сочленении. В частности, в Шестаково 3 известно уникальное захоронение скелетов сибирского пситтакозавра [9, 10]. Шестаковские местонахождения относятся ко второй половине раннего мела, когда по всей Центральной и Восточной Азии были широко распространены фауны пситтакозаврового комплекса. Ископаемые остатки других динозавров на Шестаковских местонахождениях довольно редки. Тем не менее, в ходе многолетних работ сотрудники Томского государственного университета нашли в Шестаково 1 почти полную стопу завропода [11]. На берегу р. Кия (Шестаково 1) практически каждый год вымываются крупные кости завропода, в частности, найдены шейные и грудные позвонки, а также почти полный крестец. По этим остаткам недавно был описан новый таксон завропод — *Sibirotitan astrosacralis* [12]. Филогенетический анализ позволил определить сибиротитана как нетитанозаврового титанозавриформы (т.е. принадлежащего к кладе *Titanosauriformes*, но не к *Titanosauria*). Для сибиротитана характерно наличие всего пяти крестцовых позвонков, тогда как у большинства титанозавриформ их шесть. Другая его отличительная черта — схождение крестцовых ребер в одну точку. Такая особенность отмечалась ранее только у эпихтозавра и эухелопа. С эухелопом сибиротитана также роднят некоторые особенности строения шейных позвонков. Так что, видимо, филогенетическое положение сибиротитана было определено правильно. Однако для сибиротитана неизвестно строение хвостовых позвонков, столь важное в систематике титанозавров.

Долгое время в местонахождении Шестаково 3 не встречалось никаких ископаемых остатков завропод. Лишь в прошлом году сотрудники Кемеровского краеведческого музея нашли здесь первые их кости — хвостовые позвонки и шевроны (гемальные дуги). Передние и средние хвостовые позвонки глубоко процельные, они однозначно принадлежат титанозавру из клады литостротий, т.е. таксону более эволюционно продвинутому, чем сибиротитан из соседнего местонахождения. Шевроны имеют уникальную морфологию, известную ранее только для диплодокоидов и не встреченную ни у одного представителя титанозавров. Если предположить, что данные позвонки и шевроны принадлежат сибиротитану, то тогда его филогенетическое положение было определено неверно. Однако в действительности между местонахождениями Шестаково 1 и 3 нет общих форм позвоночных (кроме пситтакозавра), и оба местонахождения могут иметь разный геологический возраст. В таком случае существование особого таксона завропод в Шестаково 3 более вероятно. Кроме того, как уже отмечалось, в былых экосистемах вполне могли сосуществовать два или более таксона завропод. Решить загадку помогут только новые находки. Процельный хвостовой позвонок литостротиевого титанозавра известен также из раннемелового местонахождения Большой Кемчуг 3 в Красноярском крае.

Завроподы позднемелового возраста на территории России пока практически неизвестны. Единственная находка — фрагмент карандашеподобного зуба, принадлежавший эволюционно продвинутому титанозавру из местонахождения Благовещенск, которое датируется самым концом мелового периода — маастрихтским веком [5]. Завроподы России находятся пока на самой начальной фазе изучения. Но уже первые находки позволяют существенно скорректировать представления об эволюции титанозавров. Так, например, раньше безоговорочно принималась гипотеза о южноамериканском происхождении титанозавров [13]. Теперь же, в связи с находками древнейших титанозавров в России, можно уверенно говорить об азиатском происхождении группы. Безусловно, систематические работы на старых местонахождениях и открытие новых местонахождений позволят прояснить эволюцию этих гигантов на шестой части суши. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 19-14-00020).

Литература / References

1. Alifanov V.R., Averianov A.O. *Ferganasaurus verzilini*, gen. et sp. nov., a new neosauropod (Dinosauria, Saurischia, Sauropoda) from the Middle Jurassic of Fergana Valley, Kirghizia. *Journal of Vertebrate Paleontology*. 2003; 23(2): 358–372.
2. Averianov A.O., Krasnolutskii S.A., Ivantsov S.V. et al. Sauropod remains from the Middle Jurassic Itat Formation of West Siberia, Russia. *PalZ*. 2019. DOI: 10.1007/s12542-018-00445-8.

3. Курзанов С.М., Ефимов М.Б., Губин Ю.М. Новые архозавры из юры Сибири и Монголии. Палеонтологический журнал. 2003; (1): 55–59. [Kurzanov S.M., Efimov M.B., Gubin Y.M. New archosaurs from the Jurassic of Siberia and Mongolia. Paleontological Journal. 2003; 37(1): 53–57.]
4. Averianov A.O., Efimov V.M. The oldest titanosaurian sauropod of the Northern Hemisphere. Biological Communications. 2018; 63(3): 145–162. DOI: 10.21638/spbu03.2018.301.
5. Несов Л.А. Динозавры Северной Евразии: новые данные о составе комплексов, экологии и палеобиогеографии. СПб., 1995. [Nesov L.A. Dinosaurs of Northern Eurasia: New Data about Assemblages, Ecology and Paleobiogeography. Saint-Petersburg, 1995. (In Russ.)]
6. Averianov A.O., Starkov A.I., Skutschas P.P. Dinosaurs from the Early Cretaceous Murtoi Formation in Buryatia, Eastern Russia. Journal of Vertebrate Paleontology. 2003; 23(3): 586–594.
7. Averianov A.O., Skutschas P.P. A new lithostrotian titanosaur (Dinosauria, Sauropoda) from the Early Cretaceous of Transbaikalia, Russia. Biological Communications. 2017; 62(1): 6–18. DOI: 10.21638/11701/spbu03.2017.102.
8. Averianov A.O., Sues H.-D. Sauropod teeth from the Upper Cretaceous Bissekty Formation of Uzbekistan. Historical Biology. 2017; 29(5): 641–653. DOI: 10.1080/08912963.2016.1229777.
9. Лопатин А.В., Мащенко Е.Н., Тарасенко К.К. и др. Уникальное захоронение раннемеловых позвоночных в Западной Сибири (местонахождение Шестаково-3, Кемеровская область). Доклады Академии наук. 2015; 462(5): 620–623. [Lopatin A.V., Maschenko E.N., Tarasenko K.K. et al. A unique burial site of Early Cretaceous vertebrates in Western Siberia (the Shestakovo-3 locality, Kemerovo Province, Russia). Doklady Biological Sciences. 2015; 462: 148–151. (In Russ.)]
10. Averianov A.O., Voronkevich A.V., Leshchinskiy S.V., Fayngertz A.V. A ceratopsian dinosaur *Psittacosaurus sibiricus* from the Early Cretaceous of West Siberia, Russia and its phylogenetic relationships. Journal of Systematic Palaeontology. 2006; 4(4): 359–395.
11. Averianov A.O., Voronkevich A.V., Maschenko E.N. et al. A sauropod foot from the Early Cretaceous of Western Siberia, Russia. Acta Palaeontologica Polonica. 2002; 47(1): 117–124.
12. Averianov A.O., Ivantsov S.V., Skutschas P.P. et al. A new sauropod dinosaur from the Lower Cretaceous Ilek Formation, Western Siberia, Russia. Geobios. 2018; 51(1): 1–14.
13. Gorscak E., O'Connor P.M. Time-calibrated models support congruency between Cretaceous continental rifting and titanosaurian evolutionary history. Biology Letters. 2016; 12(4). DOI: 10.1098/rsbl.2015.1047.
14. Averianov A.O., Skutschas P.P. Additions to the Early Cretaceous dinosaur fauna of Transbaikalia, eastern Russia. Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. 2009; 313(4): 363–378.
15. Wilson J.A. Overview of sauropod phylogeny and evolution. The Sauropods Evolution and Paleobiology (Eds.: K.A. Curry Rogers, J.A. Wilson). Berkeley; Los Angeles; L., 2005; 15–49.
16. Wilson J.A., Carrano M.T. Titanosaurs and the origin of «wide-gauge» trackways: a biomechanical and systematic perspective on sauropod locomotion. Paleobiology. 1999; 25(2): 252–267. DOI: 10.1017/S0094837300026543.

Titanosaurs of Russia

A.O. Averianov

Zoological Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)

Gigantic sauropod dinosaurs from the territory of Russia were almost totally unknown. In 2017–2018 first three taxa of Russian sauropods have been described — titanosaurs *Tengrisaurus* and *Volgatitan* and titanosauriform *Sibirotitan*. Study of sauropods from Russia will shed light on important stages of the evolution of Titanosauria in Asia.

Keywords: dinosaurs, sauropods, titanosaurs, Cretaceous, Russia.

Идеи Д.И. Менделеева и происхождение нефти

М.В. Родкин^{1,2}, С.А. Пунанова²

¹Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН (Москва, Россия)

²Институт проблем нефти и газа РАН (Москва, Россия)

По предложению Российской академии наук, поддержанному ЮНЕСКО и Генеральной ассамблеей ООН, проходящий 2019 г. мировым сообществом признан Международным годом Периодической таблицы химических элементов. Но кроме периодического закона широкую известность получила также гипотеза Д.И. Менделеева о мантийном образовании нефти, положившая начало абиогенной теории нефтидогенеза. В статье рассмотрены ключевые моменты гипотез абиогенного и осадочно-миграционного происхождения нефти, особенности корреляции содержания микроэлементов в нефтидах и составов земной коры на разных уровнях, изотопные свидетельства глубинного влияния на состав нефтей. В заключение приводится комплекс модельных прогнозных признаков нефтегазоносности. На региональном уровне перспективными предполагаются зоны глубинных надвигов, в которые при тектонических движениях вовлекаются наибольшие объемы рассеянного органического вещества. На локальном уровне методика остается вполне традиционной и сводится к поиску нефтегенерационных источников и возможных ловушек, очевидно, сложного, комбинированного типа.

Ключевые слова: гипотезы происхождения нефти, микроэлементный состав нефтидов, надвиги, земная кора, нефтегазоносность.

Дмитрий Иванович Менделеев широко известен не только открытием Периодической таблицы химических элементов, но и значительным вкладом в другие области науки. Среди них особое место занимают его исследования нефти. Менделеев одним из первых заговорил об особой ценности нефти как комплексного геохимического сырья. Известно его крылатое выражение: «Сжигать нефть все равно что топить печку ассигнациями». А 15 октября 1876 г. на заседании Русского химического общества Менделеев представил доклад, в котором предложил новую гипотезу образования нефти. Согласно этой гипотезе, в ходе горообразовательных процессов вглубь Земли по трещинам-разломам поступает вода. Просачиваясь в недра, она встречается с карбидами железа и под воздействием высоких температур и давлений вступает с ними в реакцию. В результате образуются оксиды железа и углеводороды (УВ). Легкие УВ по тем же разломам поднимаются вверх, там они насыщают пористые горные породы и формируют месторождения. Основанием для такой мо-



Михаил Владимирович Родкин, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН и Института проблем нефти и газа РАН. Круг научных интересов охватывает проблемы флюидогеодинимики, сейсмичности, нефтидогенеза, режима природных и антропогенных катастроф, статистики экстремальных событий.
e-mail: rodkin@mitp.ru



Светлана Александровна Пунанова, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем нефти и газа РАН. Область научных интересов — геохимия микроэлементов нефтей и органического вещества пород, происхождение нефти, оценка перспектив нефтегазоносности.
e-mail: punanova@mail.ru

дели послужили работы Дмитрия Ивановича на расположенных вблизи Кавказских гор бакинских нефтепромыслах и химические опыты, свидетельствовавшие о возможности подобных процессов. Модель Менделеева внесла важный вклад в создание и развитие абиогенной гипотезы нефтегенеза (иногда используется более широкий термин —

нафтидогенез, характеризующий процесс образования не только нефти, но и других УВ). Основоположителем альтернативной биогенной модели образования нефти был другой великий русский ученый — М.В.Ломоносов.

Проблема нефтегенеза

Переходя к современному состоянию проблемы, сразу отметим, что вопрос о механизме нефтегенеза во многом остается открытым. По-прежнему конкурируют биогенная и абиогенные модели. Столь длительная (более чем полуторавековая!) история их противостояния наводит на мысль о частичной обоснованности обоих подходов. Такие представления нашли отражение в концепции полигенеза нефти [1].

Большинство специалистов-нефтяников, однако, отдают предпочтение биогенной модели, по которой источником для нефтеобразования полагается рассеянное органическое вещество (ОВ). При погружении и прогреве осадочных толщ оно постепенно преобразуется в микронепть, которая затем мигрирует в осадочной толще под действием поля напряжений, а при попадании в различные ловушки формирует месторождения [2, 3]*. Объемы рассеянной микронепти многократно превышают запасы нефти в месторождениях [3, 4]. В рамках этой модели основными факторами, контролирующими нефтеносность бассейна, становятся повышенные концентрации рассеянного ОВ в осадочных породах, прогрев их до требуемой температуры и наличие изолирующих экранов-флюидоупоров и коллекторов-ловушек. Базирующиеся на этих предположениях прогнозы, однако, редко оказывались удачными. Так, до сих пор дискутируется вопрос, почему одни бассейны (например, Персидского залива или Западной Сибири) содержат гигантские запасы УВ, а в других похожих осадочных бассейнах месторождения редки, и их запасы невелики. Неясен и механизм превращения рассеянного ОВ в нефть с существенно большими значениями химического потенциала. Непонятен также и процесс концентрации рассеянной микронепти в месторождениях. В книге, посвященной проблемам энергетики, американский физик Е.Теллер писал: «Я обращался к лучшим геологам и лучшим нефтяникам за ответами и могу авторитетно заявить — никто не знает» [5]. Исчерпывающих ответов по-прежнему нет.

Ситуация с абиогенной моделью несколько не лучше. Экспериментально и теоретически показана возможность синтеза углеводородов в условиях восстановленного флюидного режима и высо-

ких (соответствующих глубинам около 100 км) температур и давлений [6, 7]. Однако развитие восстановленного режима в мантии Земли не подкрепляется данными по вынесенному наверх глубинному веществу (хотя восстановленные образцы иногда и встречаются). Гипотетична и возможность подъема глубинных УВ к поверхности. Можно было бы ожидать, что сложные УВ должны разлагаться при *PT*-условиях, соответствующих кровле верхней мантии. Редкие находки следов нефти в кимберлитах (алмазосодержащих породах верхней мантии) не противоречат этому возражению. Подъем кимберлитов к поверхности происходит экстремально быстро и в сравнительно низкотемпературных условиях, и никаких связанных с ними месторождений нефти пока не обнаружено. Непосредственно в коре абиогенный синтез нефтеподобных УВ при процессах типа реакции Фишера—Тропша возможен, но только в присутствии водорода, существование которого в коре в требуемых концентрациях также остается дискуссионным. Добавим, что существующие абиогенные модели могут описать синтез только отдельных компонентов нефтей, но далеко не всего их разнообразия, не говоря уже о биомаркерах, которые часто встречаются в нефтях и представляют собой фрагменты живого вещества.

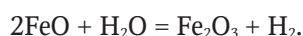
Отмеченные выше трудности обусловили разработку более совершенных моделей нефтегенеза (в частности, усложнение осадочно-миграционной модели). В современном ее варианте указывается на нелинейный (т.е. термодинамически неравновесный) характер процесса нафтидогенеза и допускается вклад абиогенных источников в формирование углеводородных месторождений [3]. Кроме того, подчеркивается важность активного флюидного режима [8]. По флюидодинамической модели известного российского геолога Б.А.Соколова, процесс нефтеобразования связан с конвекцией, когда интенсивные восходящие и нисходящие потоки обеспечивают привнос и вынос вещества и энергии из очага генерации нефти. Развитием и детализацией этих представлений стала модель массивированного нефтегенеза по схеме неравновесного проточного реактора [9]. В ней также подчеркивается термодинамически неравновесный характер процесса нефтегенеза и предполагается, что формирование месторождений происходит за счет нефти, выносимой из области ее генерации восходящим потоком разогретых низкоминерализованных вод. Последние единственно способны растворять и переносить значительные объемы нефти. Такая модель согласуется с обычно пониженной минерализацией водных оторочек молодых нефтяных месторождений (например, бакинских). Глубинные флюиды обычно сильно минерализованы. Низкую же минерализацию могут

* Здесь и далее мы указываем характерные публикации, ни в той мере не претендуя на представительность библиографии.

иметь только молодые воды, высвобожденные в ходе дегидратации.

Возникает естественный вопрос, в каких геодинамических ситуациях возможна реализация описанной схемы. Ключевой момент здесь — поток разогретых слабоминерализованных флюидов, который привносит в очаг нефтегенерации энергию и выносит в верхние низкотемпературные горизонты образующиеся УВ. Там нефть уже может накапливаться и сохраняться в течение длительного времени. Такой ситуации в наибольшей степени отвечают глубинные надвиги (в частности, зоны субдукции), где существуют концентрированные и противоположно направленные потоки восходящего, высвобожденного при дегидратации слабоминерализованного флюида и погружающихся в зоне поддвига богатых рассеянным ОВ осадочных толщ. Менее концентрированные, пространственно распределенные, но аналогичным образом противоположно направленные потоки рассеянного ОВ и флюида реализуются в областях быстрого погружения (например, в рифтовых зонах).

Применительно к зонам субдукции весьма существенным представляется еще одно обстоятельство. Геологические данные указывают на медленный рост (в течение геологического времени) окисленности верхней мантии. Возможный механизм этого процесса — окисление верхней мантии в результате субдукции водосодержащих горных пород. Упрощенная формула реакции имеет вид:



Высвобождающийся водород просачивается вверх, рассеивается в атмосфере и, как очень легкий газ, постепенно теряется Землей. Однако часть его потока может поглощаться в процессе нефтегенеза.

Представленная модель подкрепляется геологическими данными. Действительно, повышенные плотности потока водорода регистрируются в пределах тектонически-активных поясов, обычно отвечающих современным и древним зонам субдукции. Пояса высокой нефтегазоносности при этом не коррелируют с горячими точками (которые маркируют потоки восходящего из глубоких недр вещества), но часто ассоциируются с современными или палеозонами субдукции, протягиваясь вдоль них. Такая ситуация наблюдается для протяженной зоны субдукции Индонезии, области Апшеронского порога на Каспии, для палеозон субдукции Сахалина и в районе Татарского пролива, на западе Камчатки и в других регионах. Эта тенденция, правда, не универсальна. Не все области интенсивного нефтегенеза явным образом ассоциируются с поясами современной и сравнительно недавней субдукции. Пример

отсутствия такой связи — богатый нефтью и газом регион Западной Сибири, где субдукция происходила существенно раньше.

На субрегиональном уровне приуроченность углеводородных месторождений к разломным структурам показана в работах Н.А.Кудрявцева и других авторов. Однако вопрос связи месторождений именно с надвигами специально не рассматривался. Но в отдельных случаях существуют и дополнительные свидетельства. Так, в нефтях южной части Каспия и Ромашкинского месторождения в Татарстане находят споры, которые отсутствуют в расположенных здесь осадочных толщах, но их присутствие предполагается в глубоко погруженных зонах надвигов.

В пользу связи углеводородных месторождений с надвигами говорят также такие трудно объяснимые иным образом эффекты, как концентрация рассеянной нефти, резко неоднородное распределение запасов месторождений и их современная подпитка. Действительно, в рамках обсуждаемой модели высокая степень концентрации запасов УВ обеспечивается поступлением рассеянного ОВ в зону нефтегенеза по «конвейерной ленте» надвигов. При этом эмпирически выявленный степенной закон распределения числа месторождений в зависимости от объема запасов [3] можно трактовать как следствие степенного же распределения блоков земной коры по размеру. Легко объясняется и современное пополнение углеводородных месторождений. Если месторождение сопряжено с продолжающей функционировать зоной надвига, то такое пополнение вполне ожидаемо.

В целом, однако, ситуация сложнее. Как и в случае связи нефтегазоносных бассейнов с зонами субдукции, приуроченность углеводородных месторождений к разломным зонам — все же скорее тенденция, нежели непреложное правило.

Микроэлементный состав нефти

Как было показано, процесс нефтеобразования носит сложный, комплексный характер, обусловленный комбинацией глубинных и приповерхностных факторов. Важные уточнения характера этой комбинации позволяют получить анализ микроэлементного состава нефтей.

Считается, что большинство микроэлементов в нефтях унаследовано от живого вещества (об этом свидетельствует довольно тесная связь их концентраций со средним химическим составом биоты). Другие заимствованы из вмещающих пород или пластовых вод. Часть же микроэлементов носит глубинный (как минимум нижнекоровый) характер [10]. В пользу последнего свидетельствует присутствие в нефтях элементов, характерных для нижней коры, и типичное развитие положи-

Таблица 1

Коэффициенты корреляции микроэлементного состава некоторых горных пород и нефти с химическим составом континентальной земной коры и биоты

Глины и каоустобиолиты	Коэффициенты корреляции						
	континентальная кора			биота			
	верхняя	средняя	нижняя	растения		животные	
				морские	наземные	морские	наземные
Глины	0.90	0.85	0.83	0.77	0.72	0.53	0.46
Угли	0.84	0.76	0.78	0.78	0.71	0.48	0.50
Черные сланцы	0.82	0.84	0.80	0.78	0.75	0.57	0.56
Горючие сланцы	0.84	0.76	0.79	0.76	0.74	0.54	0.55
Нефть (усредненная)	0.60	0.58	0.63	0.61	0.58	0.59	0.54

Таблица 2

Коэффициенты корреляции микроэлементного состава нефти из различных нефтегазоносных бассейнов со средним составом континентальной коры

Нефтегазоносные бассейны	Коэффициенты корреляции		
	верхняя кора	средняя кора	нижняя кора
Днепровско-Донецкий	0.54	0.51	0.58
Тимано-Печорский	0.57	0.55	0.62
Волго-Уральский	0.59	0.60	0.63
Восточно-Сибирский	0.57	0.54	0.60
Западно-Сибирский (Шаимский район)	0.69	0.68	0.73

тельной европиевой аномалии, происхождение которой принято связывать с воздействием нижнекоревых флюидов [11, 12].

Приведенный вывод о полигенности микроэлементов в нефтях носит, однако, качественный характер, так как не позволяет сравнивать вклад нижне- и верхнекоревых составляющих и живого вещества. Для получения количественных оценок были рассчитаны коэффициенты корреляции между концентрациями химических элементов [13]. В расчетах применяли не сами значения концентраций, а их логарифмы, что позволило использовать данные также и по тем элементам, концентрации которых очень малы и при обычном подходе фактически не учитывались бы.

Концентрации микроэлементов были получены методом масс-спектрометрии с ионизацией пробы в индуктивно связанной плазме (ICP-MS). Кроме того, мы использовали модели химического состава верхней, средней и нижней кор [11, 14], а также среднего и дифференцированного состава биоты (наземных и водных животных и растений) и данные по среднему химическому составу горючих и черных сланцев, углей и глин [15, 16].

Количество элементов, по которым рассчитывались коэффициенты корреляции логарифмов концентраций, в разных случаях было различным, но всегда весьма большим (от 30 до 50). Данные табл.1 ожидаемо указывают на максимально тесную связь химического состава глин, углей, горючих и черных сланцев (заведомо верхнекоревых

образований) с составом верхней континентальной коры. Напротив, коэффициенты корреляции концентраций микроэлементов в нефтях оказались выше с химическим составом нижней континентальной коры. В табл.2 приведены значения коэффициентов корреляции среднего микроэлементного состава нефтей из различных нефтегазоносных бассейнов со средним химическим

составом разных горизонтов земной коры. Видно, что связь с химическим составом нижней коры оказалась теснее. В некоторых случаях проводился анализ нескольких проб из одной нефтеносной площади. Для таких наборов данных мы получили разброс коэффициентов корреляции в пределах 5% (иногда 2–3%). Эту оценку можно принять как некую точность расчета коэффициентов корреляции; при этом, учитывая единообразие в характере их изменений, получаем удовлетворительную значимость представленных результатов.

Микроэлементы в нефти можно подразделить на несколько групп, которые отвечают различным источникам приоритетного попадания данного элемента в состав нефти. Так, термин «био-генные элементы» предложил В.И.Вернадский для элементов, преобладающих в биосфере и составляющих заметную долю в массе живого вещества. Это V, Ni, Co, Mo, Ca, Mg, Sr, Ba, Fe, Zn, Pb, I, Br и др. Они, скорее всего, наследуются нефтью от органического вещества. Под «абиогенными» подразумевают элементы, поступающие в осадочную оболочку из глубинных горизонтов земной коры и мантии. Это As, Hg, Sb, Li, B, Be, La, Sm, Eu и др.

На рис.1 показаны содержания наборов биогенных и глубинных элементов в различных образцах нефти из Ромашкинской группы месторождений. Никакой корреляции в изменении концентраций биогенных и глубинных элементов не наблюдается.

Отсутствие корреляции в содержании биогенных и глубинных элементов отмечается и для других наборов элементов в различных нефтегазоносных бассейнах (рис.2). Такая некоррелированность резко отличается от единообразного изменения содержания микроэлементов внутри одной группы (рис.3).

Отсутствие корреляции в изменении концентраций биогенных и глубинных элементов при достаточно высокой корреляции внутри этих групп свидетельствует о независимом поступлении в нефть биогенных и глубинных элементов из различных источников. Отметим также резкое различие концентраций элементов биогенного и глубинного происхождения (см. рис.1, 3). Суммарное содержание биогенных элементов примерно на три порядка выше, что отражает решающую роль органического вещества в формировании нефтей.

Исключением из приведенного ранее правила представляются данные по микроэлементам в нефтях и нефтепроявлениях Камчатки. Для них более тесная связь наблюдается с химическим составом не нижней, а верхней (или средней) континентальной коры (табл.3). Такое отличие можно объяснить большими, чем обычно, глубинными температурами (например, в районе нефтепроявлений в кальдере вулкана Узон). В таких условиях процессы дегидра-

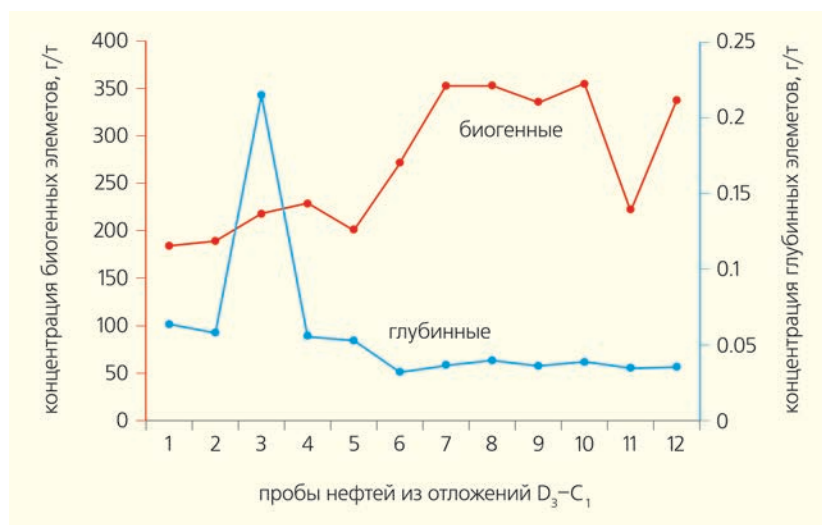


Рис.1. Распределение микроэлементов различных генетических типов в разновозрастных нефтях Ромашкинской группы месторождений. Составлено с использованием аналитических данных [17]. Биогенные элементы — $\Sigma(V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn)$, глубинные — $\Sigma(Li, Be, La, Sm, Eu)$.

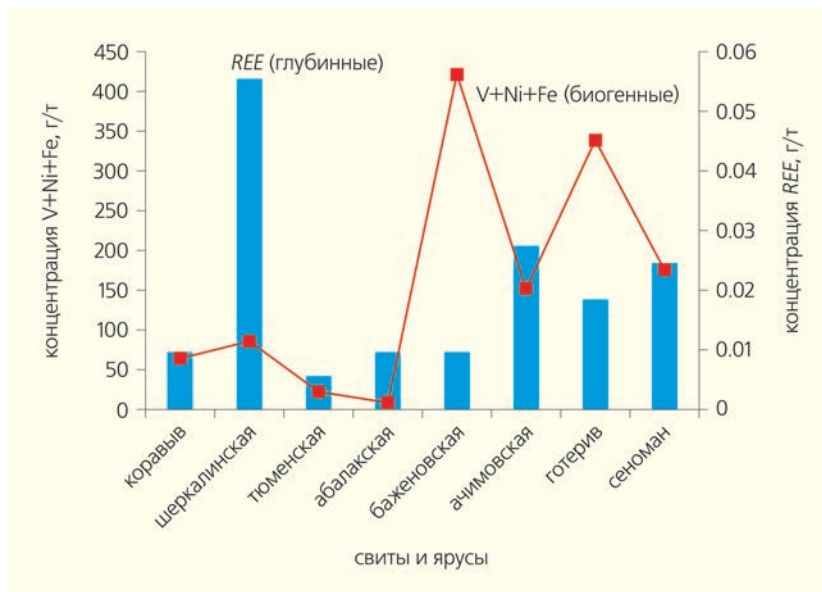


Рис.2. Микроэлементный состав нефтей из разновозрастных нефтегазоносных комплексов Шаимского р-на Западной Сибири.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции микроэлементного состава нефтей и нефтепроявлений Камчатки со средним химическим составом верхней и нижней континентальной коры

Нефти и нефтепроявления	Коэффициенты корреляции	
	верхняя кора	нижняя кора
Изменная	0.49	0.38
Лиманская	0.63	0.56
Богачевская	0.62	0.55
Двухлагерная	0.44	0.41
Кальдера вулкана Узон (среднее по разным данным)	0.67	0.67

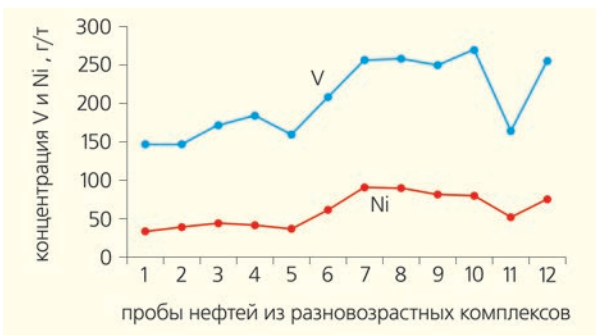


Рис.3. Содержание V и Ni в нефтях Ромашкинской группы месторождений. Составлено с использованием данных [17].

тации протекают на меньших глубинах. Соответственно, восходящий флюидный поток несет метку своего образования не в нижней, а в верхней (или средней) коре.

Рассмотрим теперь степень относительного обогащения золы нефти (минерального вещества, т.е. зольного остатка) микроэлементами относительно их кларкового содержания в глинистых породах и в земной коре. По величине обогащения выделяются две группы. Максимальные значения характерны для так называемых высокоподвижных в условиях земной коры элементов (Hg, Se, Mo, Sb, As, Cd, Pb, Bi и др.). Для ртути наблюдается обогащение до $n \cdot 10^4$ раз, для других элементов — в сотни раз. Меньшие величины обогащения (десятки—сотни раз) характерны для группы биогенных элементов (V, Ni, Cu, Zn, Cr, Co). Иногда фиксируются значительные (более чем в 100 раз) обогащения драгоценных металлов (Pt, Pd, Au, Ag). Высокое обогащение подвижными элементами определенно указывает на активность процессов миграции при формировании углеводородных месторождений.

Подчеркнем, что величины обогащения в ряде случаев аналогичны по величине концентрациям элементов в рудных месторождениях, что говорит о возможности использования углеводородных месторождений и в качестве источников некоторых рудных элементов*. Такая трактовка дополнительно обосновывает актуальность указания Менделеева на чрезвычайную ценность нефти как комплексного химического сырья.

Изотопные свидетельства

Результаты изотопных исследований не вполне оправдали первоначальные ожидания возможности однозначно определить происхождение углеводородов [18, 19]. Но были получены свидетельства как связи углеводородов с глубинными горизонтами нижней коры и верхней мантии, так и значительного единообразия в изотопных характеристиках газов из углеводородных месторождений, грязевых вулканов и вулканических поясов. Неоднозначность в определении источников углеводородных газов в значительной степени связана с развитием надвиговой тектоники и рециклированием вещества литосферы. Если (как это ранее и делалось) за характеристику глубинного вещества принять изотопные соотношения, свойственные поднимающимся мантийным массам в областях срединно-океанических хребтов, то возможный вклад глубинных газов в промышленные месторождения УВ окажется пренебрежимо малым. Он

* См., например: Колокольцев В.Г. Ярегский титановый феномен // Природа. 2019. №7. С.23–35.

будет выше для месторождений, расположенных в районе островных дуг и тыловых бассейнов зон субдукции, но и здесь его доля составляет всего несколько процентов. Однако при возможном рециклинге вещества через зоны субдукции и другие надвиговые структуры этот вывод теряет свою категоричность. Рециклированное вещество может быть по своему изотопному составу верхнекоревым, а по тектоническому положению — глубинным и даже мантийным.

Оценку вероятного вклада мантийного компонента в углеводородных месторождениях можно получить только косвенным путем, сравнивая данные по изотопии УВ с содержанием заведомо мантийных элементов. В одной из наших работ для ряда областей была продемонстрирована корреляция изменчивости в изотопных характеристиках метана и гелия, при том что изотопные значения метана не противоречат его отнесению к биогенному газу [9]. Выявленная связь довольно слабая (коэффициент корреляции близок к 0.5), но, тем не менее, во всех трех случаях она единообразна и статистически значима (рис.4). Так как вариации изотопного состава гелия принято связывать с его обогащением изотопно-легким мантийным гелием, допустимо предположить также и наличие значимых мантийных источников метана. Приведенное соотношение свидетельствует в пользу полигенетической природы УВ, по крайней мере применительно к легким углеводородным газам. Отсутствие аналогичной связи между изотопными значениями углерода метана и гелия для более старых месторождений можно объяснить обменными процессами и постепенным размыванием слабых глубинных изотопных меток.

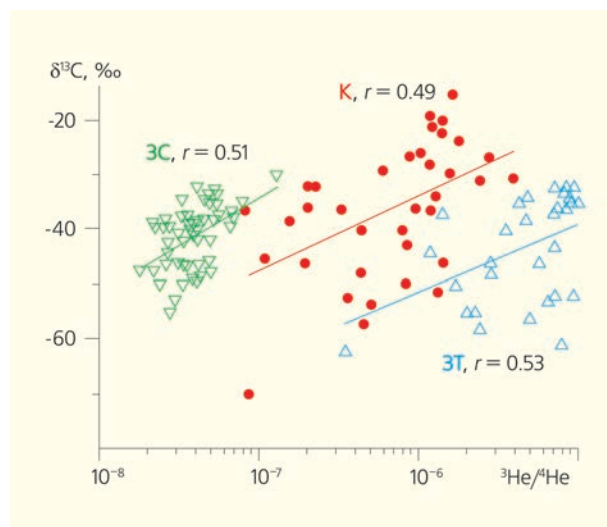


Рис.4. Изотопные отношения углерода метана и мантийного гелия в месторождениях газа провинции зеленых туфов: в Японии (3Т), Калифорнии (К) и на севере Западной Сибири (3С). Приведены значения коэффициентов корреляции (r).

Особенности сейсмического строения крупных углеводородных месторождений

Специфика глубинного сейсмического строения крупных месторождений УВ наиболее полно рассмотрена на основе данных по глубинным геотраверсам [20]. В 48 случаях они пересекали такие месторождения, что дало возможность выявить и статистически проанализировать присущие им особенности глубинного строения [20, 21].

Крупные нефтяные месторождения оказались повышено гетерогенными. Их сейсмическое строение характеризуется пониженными скоростями поперечных волн (V_s), вариациями отношений скоростей продольных и поперечных волн (V_p/V_s), наличием резких скоростных контактов и наклонных сейсмических границ. При этом вполне типичная для зон активного осадконакопления связь с подъемом границы Мохо проявилась только в трети всех случаев.

Вышесказанное свидетельствует в пользу приуроченности крупных месторождений нефти и газа к активным тектоническим структурам с выраженными сейсмическими аномалиями и наклонными внутрикоровыми и сквозькоровыми границами. Подобные зоны можно интерпретировать и как современные и древние надвиги.

Модельные признаки нефтегазоносности

Несмотря на все более изощренные и дорогие методы поиска, находка нового углеводородного месторождения в определенной степени остается делом случая. Многие полагавшиеся перспективными объекты оказываются пустыми, а более 80% разведочных скважин — непродуктивными и «сухими». И до сих пор остается актуальным запрос нефтяников-практиков на комплекс признаков, способных помочь в планировании геологоразведочных работ. Внесем свою лепту и мы, тем более

что обсуждавшаяся выше модель позволяет предложить набор таких прогнозных признаков.

На региональном уровне наиболее перспективны пояса потенциальной нефтегазоносности, отвечающие современным и древним зонам субдукции (возрастом примерно до 100–200 млн лет). При этом весьма полезными для уточнения потенциальной нефтеносности окажутся детальные палеорекострукции, которые позволят оценить объемы субдуцированной литосферы (в частности, объемы водосодержащих осадков) и запасы затянутого в зону субдукции органического вещества. Пригодятся и детальные палеомагнитные данные, на сегодняшний день слабо используемые при прогнозе нефтеносности. На субрегиональном уровне перспективными будут глубинные надвиги, особенно те их участки, где в процесс погружения вовлекались наибольшие объемы рассеянного ОВ. На локальном уровне методика остается вполне традиционной и сводится к поиску возможных ловушек.

Естественно, эффективность предложенного комплекса требует тщательной проверки.

* * *

Возвращаясь к вопросу научного наследия Менделеева, повторим, что многое из него актуально и в наше время. Подтвердились предположения о связи месторождений нефти с глубинными разломными зонами, о важности нефти как ценного комплексного химического сырья. В несколько видоизмененном виде оправдывается и предположение о взаимодействии воды с глубинными породами при высоких давлениях и температурах. Сейчас считается, в частности, что такое взаимодействие в зонах субдукции приводит к постепенному окислению верхней мантии и к компенсационному выделению водорода (который может играть важную роль в активизации нафтидогенеза). ■

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам: «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности (фундаментальные, поисковые и прикладные исследования)» и «Развитие научно-методических основ поисков крупных скоплений УВ в неструктурных ловушках комбинированного типа в пределах платформенных нефтегазоносных бассейнов».

Литература / References

1. Дмитриевский А.Н. Полигенез нефти и газа. Докл. РАН. 2008; 419(3): 373–377. [Dmitrievsky A.N. Polygenes of oil and gas. Proc. RAS. 2008; 419(3): 373–377 (In Russ.).]
2. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М., 1981. [Tissot B., Welte D. Petroleum Formation and Occurrence. A New Approach to Oil and Gas Exploration. N.Y., 1978.]
3. Конторович А.Э. Очерки теории нафтидогенеза: Избранные статьи. Новосибирск, 2004. [Kontorovich A.E. Essays on the theory of naftidogenesis: Selected articles. Novosibirsk, 2004. (In Russ.).]
4. Вернадский В.И. Очерки геохимии. Избр. сочинения. М., 1954; 1. [Vernadsky V.I. Essays on Geochemistry. Fav. essays. Moscow, 1954; 1. (In Russ.).]
5. Teller E. Energy from Heaven and Earth. San Francisco, 1979.
6. Чекалюк Э.Б. К проблеме синтеза нефти на больших глубинах. Журн. Всес. хим. о-ва им. Д.И.Менделеева. 1986; XXXI(5): 76–82. [Shekalyuk E.B. To the problem of oil synthesis at great depths. Vestnik memory D.I.Mendeleev. 1986; XXXI(5): 76–82. (In Russ.).]

7. Kenney J.F., Kutcherov J.F., Bendeliani N.A., Alekseev V.A. The evolution of multicomponent systems at high pressures. Proc. National Acad. Sci. USA. 2002; 99: 10 976–10 981.
8. Соколов Б.А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. Вестн. Моск. Ун-та, сер. 4, геология. 1996; (4): 28–36. [Sokolov B.A. Fluidodynamic model of oil and gas formation. Journal. Mosk. University, ser. 4, geology. 1996; (4): 28–36. (In Russ.).]
9. Родкин М.В. Рециклинг углерода в зонах субдукции и роль процессов рециклинга в образовании месторождений УВ в преддуговых и задуговых бассейнах. Дегазация Земли и генезис углеводородных флюидов и месторождений. М., 2002; 221–253. [Rodkin M.V. Carbon recycling in subduction zones and the role of recycling processes in the formation of hydrocarbon deposits in pre-arc and back-arc basins. Earth degassing and the genesis of hydrocarbon fluids and deposits. Moscow, 2002; 221–253. (In Russ.).]
10. Пуанова С.А. О полигенной природе источника микроэлементов нефтей. Геохимия. 2004; (8): 893–907. [Punanova S.A., Polygenetic sources of trace elements in oils. Geochem. Int. 2004; 42 (8): 781–793.]
11. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М., 1988. [Taylor S.P., McLennan S.M. The Continental Crust: its Composition and Evolution. Oxford, 1985.]
12. Винокуров С.Ф., Готтих Р.П., Писоцкий Б.И. Особенности распределения лантаноидов в смолисто-асфальтеновых фракциях — один из геохимических критериев источников микроэлементов в нефти. Геохимия. 2010; (4): 377–389. [Vinokurov S.F., Gottikh R.P., Pisotsky B.I. Features of the distribution of lanthanides in resinous-asphaltene fractions is one of the geochemical criteria for the sources of trace elements in oil. Geochemistry. 2010; (4): 377–389. (In Russ.).]
13. Родкин М.В., Рундквист Д.В., Пуанова С.А. К вопросу относительной роли нижнекоровых и верхнекоровых процессов в формировании микроэлементного состава нефтей. Геохимия. 2016; (11): 1025–1031. [Rodkin M.V., Rundkvist D.V., Punanova S.A. The relative role of lower and upper crustal processes in the formation of trace element compositions of oils. Geochem. Int. 2016; 54(11): 989–995.]
14. Rudnick R.L., Gao S. The composition of the continental crust. Treatise on Geochemistry. Oxford, 2003; 3. Dх.doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/03016-4.
15. Bowen H.J. Trace elements in biochemistry. L.; N.Y., 1966.
16. Шпирт М.Я., Пуанова С.А. Микроэлементы каустобиолитов. Проблемы генезиса и промышленного использования. Saarbruchen, 2012. [Shpirt M.Ya., Punanova S.A. Trace elements of caustobioliths. Problems of genesis and industrial use. Saarbruchen, 2012. (In Russ.).]
17. Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П. и др. Микроэлементы в нефтях некоторых месторождений-сателлитов Ромашкинского нефтяного поля (Республика Татарстан). Литосфера. 2015; (1): 53–64. [Maslov A.V., Ronkin Yu.L., Lepikhina O.P. et al. Trace elements in the oils of some satellite deposits of the Romashkinskoye oil field (Republic of Tatarstan). Lithosphere. 2015; (1): 53–64. (In Russ.).]
18. Валяев Б.М., Титков Г.А. К генезису метана в природных газах (по изотопному составу углерода и водорода). ДАН СССР. 1985; 281(1): 146–149. [Valyaev B.M., Titkov G.A. On the genesis of methane in natural gases (according to the isotopic composition of carbon and hydrogen). Proc. Acad. of Sci. of the USSR. 1985; 281(1): 146–149. (In Russ.).]
19. Tolstikhin I.N., Ballentine C.J., Polyak B.G. et al. The noble gas isotope record of hydrocarbon field formation time scales. Chemical Geology. 2017; 471(5): 141–152.
20. Булин Н.К., Егоркин А.В. Региональный прогноз нефтегазоносности по глубинным сейсмическим критериям. М., 2000. [Bulin N.K., Egorkin A.V. Regional forecast of oil and gas potential based on deep seismic criteria. Moscow, 2000. (In Russ.).]
21. Родкин М.В., Рукавишникова Т.А. Геология нефти и газа. 2015; (3): 65–70. [Rodkin M.V., Rukavishnikova T.A. Source of oil generation as disequilibrium dynamic system: model and comparison with empirical data. Geol. Nefti i Gaza. 2015; (3): 65–70. (In Russ.).]

The Ideas of D.I.Mendeleev and the Origin of Oil

M.V.Rodkin^{1,2}, S.A.Punanova²

¹Institute of Earthquake Predictions Theory and Mathematical Geophysics, RAS (Moscow, Russia)

²Oil and Gas Research Institute, RAS (Moscow, Russia)

By the proposal of the Russian Academy of Sciences, supported by UNESCO and the UN General Assembly, the world community recognizes the passing 2019 year as the International Year of the Mendeleev's Periodic Table of Chemical Elements. Mendeleev's hypothesis of mantle oil formation, which laid the foundation for the abiogenic theory of naftidogenesis, also gained wide popularity. The article discusses the key issues of the abiogenic and sediments and migration hypotheses of oil origin; the features of correlation of the trace element composition of naftides and the composition the Earth's crust at different levels, as well as the isotopic evidences of the earth depths influence on the composition of oils. In conclusion, the authors provide a set of model predictive signs of high oil and gas potential. At the regional level, zones of deep thrusts in which the largest volumes of organic matter are involved in deep going tectonic movements are assumed as potentially productive. At the local level, the technique remains quite traditional and comes down to the search of possible traps, obviously of a complex combined type.

Keywords: oil origin hypotheses, trace element composition, thrust structures, Earth's crust, high oil and gas potential.

Новое о нитрате: сигналинг у растений в действии

А.В.Никитин¹, С.Ф.Измайлов¹

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

В статье рассматриваются вопросы узнавания (сенсинга) нитрата его транспортерами, внутриклеточной передачи и усиления сигнала с участием протеинкиназ и факторов транскрипции, а также межорганной передачи нитратного сигнала с помощью основных фитогормонов. Характерные особенности специфического действия нитрата как информационного агента включают в себя реакции типа «все или ничего», реализуемые за счет внутриклеточного усиления сигнала. Кроме того, приводятся примеры взаимодействия нитрата, света и углеводов как основных сигнальных агентов, которые координировано регулируют широкий круг физиологических процессов в целом растении и в итоге определяют его продуктивность.

Ключевые слова: нитрат, сигнальная роль нитрата, трансцепторы, вторичные посредники, факторы транскрипции, гены-мишени.

В конце 70-х — начале 80-х годов прошлого века стало очевидным, что в передаче информации как внутри клетки, так и при межклеточном взаимодействии у растений и животных важная роль принадлежит сигнальным процессам. Оказалось, что при этом включается функционирование различных каскадов, где за счет первичных, вторичных и третичных посредников происходит усиление сигнала. В результате не только дистанционно контролируется координация биохимических реакций, но и достигается интеграция их в системе целостного организма.

Также с тех пор накопился обширный объем фактов, свидетельствующих об участии нитрата — одного из основных источников азотного питания у растений — в регуляции широкого круга процессов. В их числе поглощение различных источников азота, первичный и вторичный обмен, морфогенез и адаптация к ряду стрессовых факторов. Освещению этих фактов было посвящено наше предыдущее сообщение*. В данном обзоре мы рассмотрим механизмы,

* Измайлов С.Ф., Никитин А.В., Родионов В.А. Новое о нитрате: сигнальная роль в растениях // Природа. 2018. №4. С.13–18.



Андрей Валентинович Никитин, научный сотрудник лаборатории азотного обмена Института физиологии растений имени К.А.Тимирязева РАН. Научные интересы связаны с азотным обменом и его взаимодействием с углеродным метаболизмом, сигнальной ролью нитрата и аммония в растениях.
e-mail: tissla25@mail.ru



Станислав Федорович Измайлов, доктор биологических наук, профессор, заведующий той же лабораторией. Область научных интересов — симбиотическая азотфиксация, азотный обмен растений. Лауреат научных премий Президиума РАН, всероссийских и международных научных обществ. Член Творческого союза художников России и Международной федерации художников.
e-mail: sf.izmailov@list.ru

благодаря которым достигается регуляция различных процессов, и покажем, что в основе ее реализации лежат свойства нитрата как сигнального агента.

С чего все начинается

Процесс поглощения нитрата растением начинается с его узнавания в окружающей среде. Функцию обнаружения и идентификации выполняют

сенсорные белки, которые локализируются на наружной мембране клетки. В процессе эволюции они совершенствовали свою избирательную восприимчивость в связи с широким диапазоном концентраций нитрата в почве. Такое улучшение возможно двумя путями. Первый из них предполагает возникновение у белка-сенсора нескольких чувствительных зон, отличающихся друг от друга способностью к анализу и возможностью передачи измеряемого сигнала. Второй путь — появление нескольких типов рецепторных белков, различных по чувствительности к нитрату и по специфике запускаемых ими сигнальных каскадов. Как это будет видно из дальнейшего изложения, растения успешно испробовали оба варианта.

На сегодняшний день на плазмалемме корня выявлено множество белков-транспортеров, осуществляющих первичное поглощение нитрата. Однако их сенсорные функции исследованы еще недостаточно. Для обозначения транспортеров и их гомологов с рецепторной ролью используется специальный термин «трансцепторы» (от английского *transceptors*, произошедшего от *transporters* и *receptors*). Круг идентифицированных трансцепторов быстро расширяется. Однако такие свойства хорошо изучены лишь у транспортера NRT1.1 (**N**itrate **T**ransporter с порядковым номером 1.1). Его преимущественное сосредоточение в растущих верхушках корней и побегов и в цветочных почках определяет чувствительность роста и развития этих органов к поступающему по проводящей системе нитрату. При дефиците последнего тормозится не только ветвление корней и нарастание побегов, но и цветение растения.

Узнавание (сенсинг, *sensing*) нитрата его трансцепторами предполагает два основных момента. Один — наличие на поверхности белка, распознающего ион, специального «кармана», который соответствует идентифицируемому иону. Для связи с отрицательным зарядом нитрата в таком кармане сосредоточены аминокислотные остатки с положительным зарядом (например, гистидина). Второй момент — связывание трансцептора с узнаваемым субстратом должно приводить к переходу от одного устойчивого состояния белковой молекулы к другому. В результате меняются ее свойства, в первую очередь — способности взаимодействовать с другими белками, задействованными в дальнейших процессах передачи сигнала. Так, для сенсора NRT1.1 характерны состояния одиночных белковых молекул и комплекса из двух таких субъединиц, переключение между которыми происходит при повышении концентрации внеклеточного нитрата сверх определенного порога. Устойчивость каждого из состояний молекулы трансцептора служит основой своего рода «кратковременной памяти» клетки.

По современным представлениям, NRT1.1 — наиболее распространенный рецептор нитрата в разных типах клеток и органах растений. Универсальности этого белка способствует и то обстоятельство, что в зависимости от своего состояния он способен запускать ответ как на дефицит, так и на оптимальный уровень указанного источника азота. Однако в распознавании нитрата участвуют и другие транспортеры, различающиеся по порогам концентрации иона, инициирующим структурную перестройку молекулы рецептора, а впоследствии — и адаптивные реакции всего организма. Трансцептор NRT2.1 обеспечивает ответ на сравнительно низкий уровень нитрата, а NRT2.4 — на выраженный его недостаток, когда концентрация иона в среде более чем в тысячу раз меньше оптимальной. Индукция многих трансцепторов в соответствующих диапазонах концентраций нитрата — часть первичного ответа на обнаружение иона. Складывается впечатление, что NRT1.1 обеспечивает грубое первичное распознавание уровней обеспеченности среды нитратом в ряду «дефицит — оптимум», после чего подключаются и другие белки, позволяющие точно дифференцировать возможные ситуации.

Что дальше?

Восприятие нитрата белками внешней клеточной мембраны — это лишь первый акт в развитии широкого круга последующих физиологических процессов. В первую очередь к ним относится усиление сигнала, обеспечивающее независимость силы эффекта от концентрации иона и реализующееся по принципу активации множества мишеней одной молекулой. Так, трансцепторы нитрата активируют протеинкиназы — ферменты, фосфорилирующие белки-мишени и тем самым регулирующие их свойства. Другой путь начинается с активации фосфолипазы C — белка, нарабатывающего инозиттрифосфат, который, в свою очередь, взаимодействует с расположенными в мембране клетки кальциевыми каналами, вызывая их открытие и резкий приток ионов кальция в цитоплазму, что приводит к последующей активации связывающих его белков. Независимо от варианта сигнального каскада количество активированных мишеней быстро увеличивается. В результате величина ответа клетки на нитрат (например, активность фермента) начинает резко возрастать при достижении порогового уровня указанного иона, после чего практически не меняется. Такая концентрационная зависимость характерна для сигнальных агентов. При распознавании уровня нитрата трансцептором NRT1.1 показано наличие двух «плато» величины ответа, соответствующих диапазонам низких и высоких концентраций иона

(рис.1). Субстратное действие нитрата, напротив, характеризуется монотонным увеличением эффекта в широком интервале содержания указанного источника азота.

Набор конкретных белков, которые задействованы в сигнальном каскаде, инициированном нитратом, определяется интервалом его концентраций в среде, а также дополнительными стимулами, прежде всего притоком сахарозы — продукта фотосинтеза. В результате клетки дифференцируются в зависимости от комплекса воспринимаемых факторов. При оптимальной обеспеченности растения нитратом интенсивно утилизируются запасные формы углерода (сахароза и крахмал), активизируется первичный метаболизм, и в итоге нарабатывается фитомасса, обогащенная органическими формами азота. В морфогенетическом плане это сопряжено со стимуляцией прорастания семян, а также с ростом и ветвлением корней и побегов. Недостаток нитрата на фоне низкого или оптимального уровня фотоассимилятов (продуктов фотосинтеза) приводит к ростовой реакции корневой системы, которая направлена на поиск участков субстрата, обогащенных азотом. Наконец, при сочетании дефицита нитрата и избытка фотоассимилятов рост растения тормозится, а его переход к генеративному развитию и старение ускоряются. Тем самым реализуется своего рода переход от «ближнего» поиска нитрата в корнеобитаемой среде конкретного растительного организма к «дальнему», осуществляемому путем семенного распространения вида.

На молекулярно-биологическом уровне результатом передачи нитратного сигнала выступает активация специальных белков — транскрипционных факторов, которые мигрируют в ядро клетки и связываются с ДНК, регулируя экспрессию генов-мишеней (биосинтез по их матрицам РНК и далее белков). Среди таких мишеней — гены различных транспортеров и метаболических ферментов, отвечающие за ряд первичных биохимических эффектов нитрата, а также гены белков, участвующих в дальнейшем распространении и качественном изменении сигнала (рис.2). Например, может происходить индукция ряда транскрипционных факторов, которые регулируют экспрессию генов фенольного обмена, участвующих в наработке антоцианов. Такого рода вторичные ответы, обусловленные целой последовательностью сигнальных каскадов, не так однозначно связаны с диапазоном действующих концентраций нитрата по сравнению с первичными и могут контролироваться широким кругом факторов среды.

Передача сигнала нитрата осуществляется на различных уровнях организации каскада в клетке. На первом этапе протеинкиназы могут непосред-

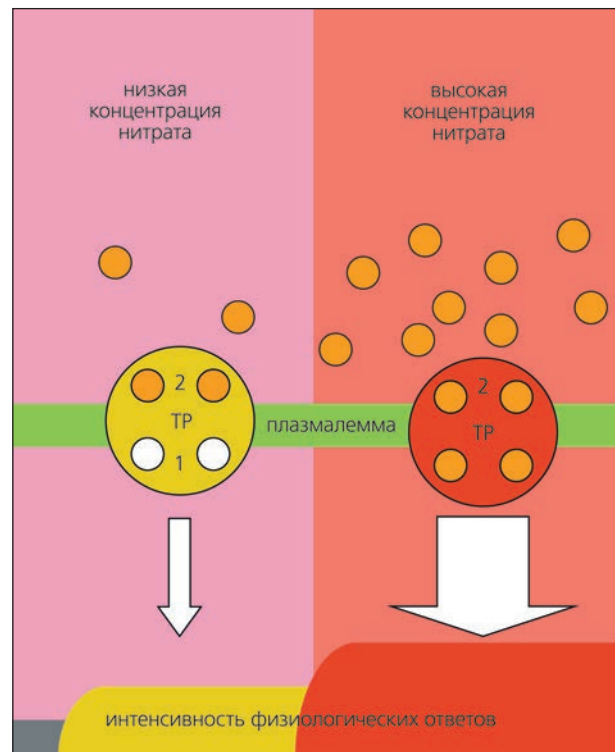


Рис.1. Зависимость сигнального действия нитрата от его концентрации. TR — трансцептор нитрата с регулируемым средством. Оранжевыми кругами показаны ионы нитрата. Цифрами обозначены центры связывания нитрата в молекуле трансцептора: 1 (белые круги) — не занятые субстратом, 2 (оранжевые круги) — занятые.

ственно фосфорилировать метаболические ферменты, активируя или ингибируя их. Следующий этап — индукция генов первичного, вторичного или третичного ответа, кодирующих широкий круг структурных, регуляторных и ферментных белков. Среди отдаленных мишеней нитрата — убиквитинлигазы, регулирующие деградацию различных белков. Наконец, как оказалось, данный ион и продукты его вовлечения в метаболизм регулируют наработку ряда малых РНК, специфично узнающих матричные РНК-мишени и вызывающих их распад. При таком разнообразии действия нитрата неудивительно, что в сферу его влияния прямо или опосредованно вовлечены тысячи генов и белков, участвующих в разных процессах жизнедеятельности.

Все вышеописанные процессы передачи сигнала, связанные с нитратом (нитратный сигнал), разворачиваются в пределах одной клетки. Между тем координированная реакция на дефицит, оптимум или избыток нитрата при учете обеспеченности продуктами фотосинтеза может быть реализована лишь на уровне растительного организма. Частично межорганный передачу такого рода сигналов осуществляет сам нитрат-ион, распространяющийся по проводящей системе.

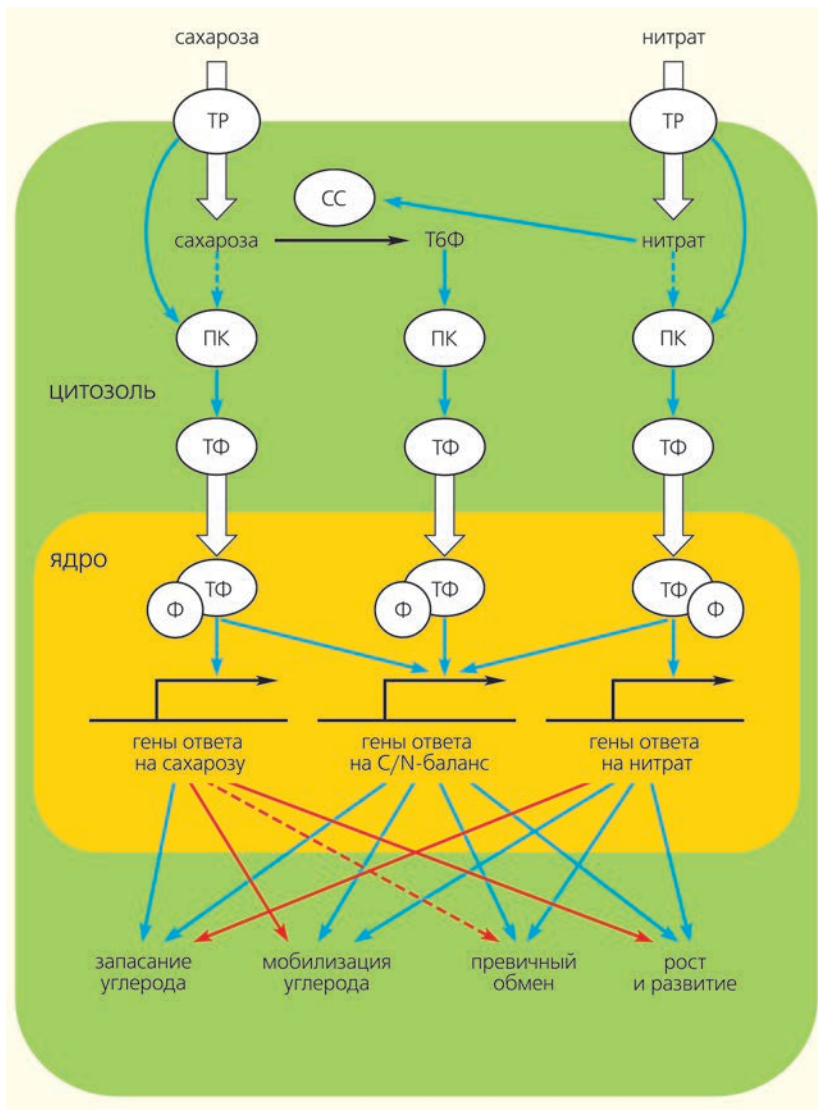


Рис.2. Внутриклеточная передача сигнала нитрата и сахарозы. ТР — трансцепторы нитрата или сахарозы, ПК — протеинкиназы, ТФ — транскрипционные факторы, Ф — присоединенный к белковой молекуле фосфат, Т6Ф — трегалозо-6-фосфат, СС — сахарозосинтаза. Черными стрелками обозначены метаболические пути, сигнальное действие нитрата или других регуляторных молекул — позитивное и негативное — обозначены синими и красными стрелками соответственно. Широкие белые стрелки — потоки вещества через мембраны клетки и ее компартментов.

Однако подобная связь не может осуществляться независимо от его метаболизма. В частности, в тех случаях, когда восстановление нитрата происходит преимущественно в корнях, в пасоке соединения азота представлены преимущественно аминокислотами и амидами. В процессе эволюции растения выработали альтернативную форму межклеточной и межорганной передачи нитратного сигнала — гормональную. Действие нитрата на транспорт, метаболизм и рецепцию фитогормонов отражено на рис.3.

Как оказалось, в нитратный сигналинг вовлечены практически все основные фитогормоны. Связь реализуется уже на уровне их транспорта через

плазмалемму, который осуществляется трансцепторами. Например, при низком уровне нитрата NRT1.1 выкачивает индолилуксусную кислоту (ИУК) из клеток меристемы, что тормозит ее формообразовательную активность, тогда как при оптимальном содержании он способствует локальному накоплению этого ауксина. Другие белки того же семейства NRT1/NPF транспортируют абсцизовую кислоту (АБК), жасмонат, гиббереллины и др. [1].

При последующей внутриклеточной передаче сигнала нитрата в числе белков-мишеней оказываются как ферменты метаболизма гормонов, так и их рецепторы. Яркий пример первого случая — индукция аденозинфосфат-изопентенилтрансферазы, ключевого фермента биосинтеза цитокининов [2]. Их наработка обеспечивает магистральный путь дальнего сигналинга из корневой системы в побеги, где проходят интенсивные процессы фотосинтеза, последующего первичного и вторичного метаболизма, а также морфогенеза. В прорастающих семенах нитрат индуцировал АБК-8'-гидроксилазу, разрушающую основную эндогенный ингибитор роста — АБК [3].

Влияние нитрата на чувствительность к фитогормонам показано при индукции рецептора ИУК — белка AFB3, необходимого для стимуляции ауксином ветвления корней [4]. Другой

нитратиндуцибельный белок — BT2 — пока еще неизвестным путем усиливает ростстимулирующее действие ИУК и подавляет ростингибирующее действие АБК [5]. В обоих случаях регуляция чувствительности к фитогормонам способствует проявлению морфогенного аспекта нитратного сигналинга. Известен неожиданный факт индукции нитратом рецептора АБК — SoABI5 [6]. Его можно интерпретировать как регуляцию устойчивости к неблагоприятным факторам среды, например к засухе. Такое предположение подкрепляется тем, что нитрат способен вызывать закрытие устьиц, активизируя, подобно АБК, один из анионных каналов в замыкающих клетках.

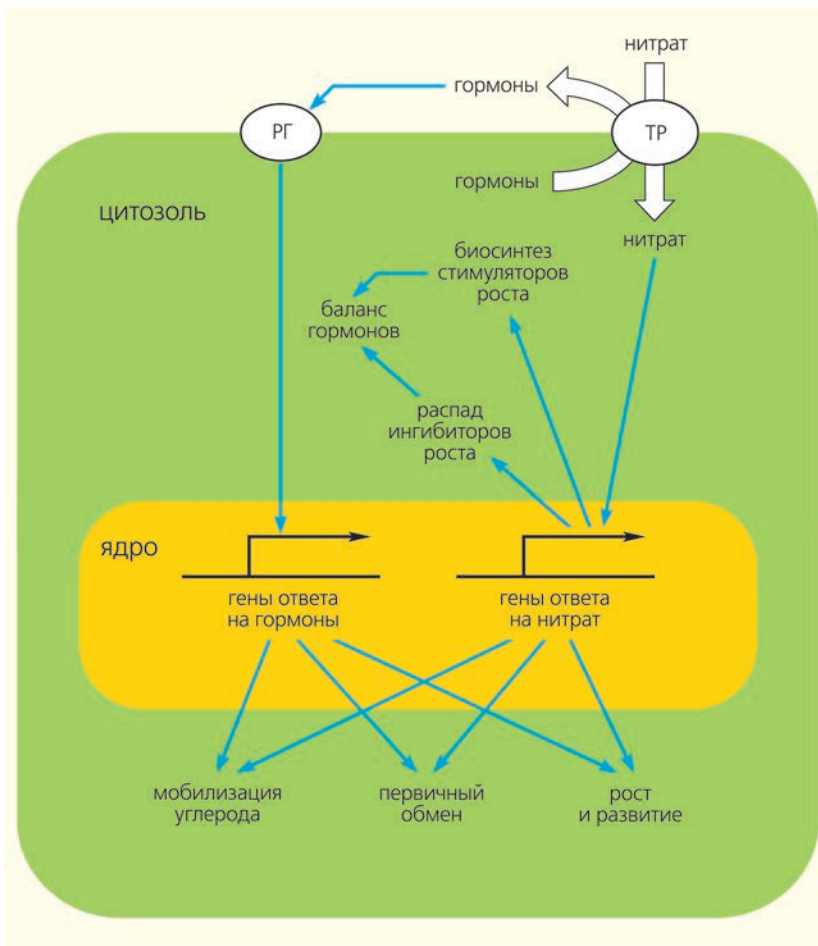


Рис.3. Участие гормонов в передаче сигнала нитрата. ТР — трансцепторы нитрата, РГ — рецепторы гормонов. Значения стрелок — как на рис.2.

И тут солнечный луч

Помимо нитрата, основного источника азота для растений, их рост и развитие лимитирует также другой важнейший фактор среды, нередко находящийся в минимуме, — свет. Наиболее важна его фотосинтетически активная составляющая, обеспеченность которой можно понять по уровню содержания сахарозы — главной транспортной формы углерода. Кроме того, существуют специальные фоторецепторные системы (фитохромная и криптохромная), согласованная работа которых позволяет растению определить не только факт наличия света, но и степень освещенности, а также спектр излучения. В соответствии с этим реализуется либо стратегия ростового поиска благоприятных условий, либо морфогенетическая программа развития фотосинтезирующей поверхности. В обоих случаях задействованы С- и N-субстраты пластического обмена, которые также могут использоваться для морфогенетической и метаболической подготовки к усвоению азота. Отсюда видна эволюционная необходимость интеграции сигнальных каскадов, запускаемых нитратом, светом и растворимыми углеводами. У хорошо изученного растения — араби-

дописа — в круг интегральных мишеней таких каскадов входит больше половины генов.

Выявлены звенья сигнальных каскадов, общие для сахарозы и нитрата. К ним относятся трегалозо-6-фосфат (маркер снабжения растений фотоассимилятами), некоторые протеинкиназы, факторы транскрипции и убиквитинлигазы. Особое место занимают стартовые ферменты метаболизма сахарозы — сахарозосинтаза (СС) и инвертазы. Среди последних нужно особо отметить инвертазу клеточной стенки, регулирующую баланс сахарозы и моносахаров (глюкоза, фруктоза) в межклеточной среде. Учитывая, что не только нитрат, но и различные формы растворимых углеводов воспринимаются клеткой с участием соответствующих трансцепторов на плазмалемме, а запускаемые ими сигнальные каскады часто оказываются специфичными, такой баланс определяет многие важные стороны физиологии растения. Например, интенсивный внеклеточный гидролиз сахарозы инвертазой подавлял естественное и индуцированное экзогенной АБК старение листьев [7]. Сама сахароза, в отличие от нитрата, запускала процессы запасаания крахмала и других резервных соединений, блокируя их распад, а в морфогенетическом плане ускоряла переход к генеративному развитию и старение растения.

Мы выявили позитивное влияние нитрата в диапазоне концентраций 1–14 мМ на активность СС в растениях гороха посевного в раннем онтогенезе, сохраняющееся при становлении автотрофии [8, 9]. В результате стимулировалась наработка УДФ-глюкозы — субстрата для биосинтеза не только полисахаридов клеточной стенки, но и вышеназванной регуляторной молекулы, трегалозо-6-фосфата. С его участием запускаются разнообразные физиологические процессы, в том числе утилизация крахмала и сахарозы, первичный углеродный и азотный метаболизм, морфогенез практически всех органов растения (см. рис.2). Среди индуцируемых трегалозо-6-фосфатом ферментов присутствует и сама СС, что усиливает позитивное действие на нее нитрата в зависимости от притока в клетку сахарозы.

С учетом того, что СС способна быть непосредственной мишенью нитрата, налицо сочетание

у данного фермента широкого круга качеств, позволяющее ему объединять разные пути передачи нитратного сигнала. Среди таких особенностей — потенциальная рецепторная функция, участие в наработке фитомассы и субстратное обеспечение

генерации ряда сигнальных молекул. Неудивительно, что у арабидопсиса СС одновременно участвует в процессе регуляции зацветания и создает материальную основу для интенсивного роста цветоноса [10].■

Литература / References

1. Corratgé-Faillie C., Lacombe B. Substrate (un)specificity of *Arabidopsis* NRT1/PTR FAMILY (NPF) proteins. J. Exp. Bot. 2017; 68: 3107–3113. DOI: 10.1093/jxb/erw499.
2. Takei K., Ueda N., Aoki K. et al. *AHPT3* is a key determinant of nitrate-dependent cytokinin biosynthesis in *Arabidopsis*. Plant Cell Physiol. 2004; 45: 1053–1062. DOI:10.1093/pcp/pch119.
3. Carrillo-Barral N., Matilla A.J., Rodríguez-Gacio M. del C., Iglesias-Fernández R. Nitrate affects sensu-stricto germination of after-ripened *Sisymbrium officinale* seeds by modifying expression of *SoNCED5*, *SoCYP707A2* and *SoGA3ox2* genes. Plant Sci. 2014; 217–218: 99–108. DOI:10.1016/j.plantsci.2013.12.009.
4. Vidal E.A., Álvarez J.M., Gutiérrez R.A. Nitrate regulation of *AFB3* and *NAC4* gene expression in *Arabidopsis* roots depends on NRT1.1 nitrate transport function. Plant Signal. Behavior. 2014; 9:e28501. DOI:10.4161/psb.28501.
5. Mandadi K.K., Misra A., Ren S., McKnight T.D. BT2, a BTB protein, mediates multiple responses to nutrients, stresses, and hormones in *Arabidopsis*. Plant Physiol. 2009; 150: 1930–1939. DOI:10.1104/pp.109.139220.
6. Carrillo-Barral N., Matilla A.J., Iglesias-Fernández R., Rodríguez-Gacio M. del C. Nitrate-induced early transcriptional changes during imbibition in non-after-ripened *Sisymbrium officinale* seeds. Physiol. Plant. 2013; 148:560–573. Doi:10.1111/j.1399-3054.2012.01720.x.
7. Ruan Y.-L., Jin Y., Yang Y.-J. et al. Sugar input, metabolism, and signaling mediated by invertase. Roles in development, yield potential, and response to drought and heat. Mol. Plant. 2010; 3: 942–955. DOI:10.1093/mp/ssq044.
8. Брускова Р.К., Никитин А.В., Сацкая М.В., Измайлов С.Ф. Действие нитрата на активность сахарозосинтазы растений гороха. Физиология растений. 2009; 56: 85–91. [Bruskova R.K., Nikitin A.V., Satskaya M.V., Izmailov S.F. Effect of nitrate on pea sucrose synthase. Russian Journal of Plant Physiology. 2009; 56(1): 74–79. DOI:10.1134/S1021443709010117.]
9. Никитин А.В., Измайлов С.Ф. Ферменты диссимилиации сахарозы как мишени действия нитрата в раннем онтогенезе гороха посевного. Физиология растений. 2016; 63: 159–164. [Nikitin A.V., Izmailov S.F. Enzymes of sucrose dissimilation as targets for nitrate in early ontogenesis of garden pea. Russian Journal of Plant Physiology. 2016; 63(1): 152–157. DOI:10.1134/S1021443715060138.]
10. Seo P.J., Ryu J., Kang S.K., Park Ch.-M. Modulation of sugar metabolism by an INDETERMINATE DOMAIN transcription factor contributes to photoperiodic flowering in *Arabidopsis*. Plant J. 2011; 65: 418–429. DOI:10.1111/j.1365-313X.2010.04432.x.

New on Nitrate. Signaling in Action in Plants

A.V.Nikitin¹, S.F.Izmailov¹

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

The article covers issues of nitrate recognition (sensing) by its transporters, intracellular transmission and signal amplification with participation of protein kinases and transcription factors, as well as transmission of the nitrate signal between different organs of a plant using the main phytohormones. Specific features of nitrate as an information agent include all-or-nothing type of reactions realized through intracellular signal amplification. In addition, we present examples of the interaction of the main signaling agents — nitrate, light and carbohydrates — that coordinate a wide range of physiological processes in a plant and therefore ultimately determine its productivity.

Keywords: nitrate, signaling role of nitrate, transceptors, secondary messengers, transcription factors, target genes.

Эльтонско-Баскунчакский регион — кандидат в список всемирного наследия ЮНЕСКО

В.А.Брылёв¹, Ю.П.Князев¹, С.Н.Моников¹

¹Волгоградский государственный социально-педагогический университет (Волгоград, Россия)

Эльтонско-Баскунчакский регион предлагается включить в список всемирного наследия ЮНЕСКО. Это уникальное геологическое образование с наличием мощного соляного комплекса пермско-триасового времени и активной соляной тектоникой, чего нет ни на одном действующем объекте всемирного наследия. Гора Большое Богдо представляет собой важный стратиграфический и палеонтологический объект, иллюстрирующий триасовый период на юге Европейской России. Озеро Баскунчак — особо ценный участок культурного ландшафта, действующий памятник недропользования мирового масштаба. Здесь можно проследить основные стадии добычи соли — от примитивных разработок до промышленной добычи (с 20–30-х годов XX в.). В списке всемирного наследия еще не числятся современные предприятия по добыче и переработке соли.

Ключевые слова: культурный ландшафт, природный ландшафт, всемирное наследие, добыча соли, соленые озера, солянокупольные структуры.

Одна из крупнейших низменностей Земли — Прикаспийская — находится на юго-востоке Русской равнины. Это плоская равнина площадью около 200 тыс. км², слабо изрезанная водотоками, с многочисленными западинами, лиманами и ложбинами, резко континентальным климатом и полупустынной растительностью на каштановых и бурых почвах. Более половины территории занято солонцами и солончаками [1]. Одним из самых интересных мест Прикаспия можно считать берега и окрестности соленых озер Эльтон и Баскунчак.

Эльтон — соленое самосадочное озеро на севере Прикаспийской низменности в Палласовском р-не Волгоградской обл. Это крупнейшее по площади минеральное озеро Европы. Его округлая бессточная котловина (в геологическом понимании — геокompенсационная мульда) размером 18×14 км расположена между соляными куполами и имеет почти правильную, похожую на эллипс форму. Площадь озера меняется



Виктор Андреевич Брылёв, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой географии, геоэкологии и методики преподавания географии Волгоградского государственного социально-педагогического университета. Область научных интересов — геоморфология Нижневолжского региона, ландшафтоведение, изучение особо охраняемых природных территорий.
e-mail: brilev_vspu@rambler.ru



Юрий Петрович Князев, кандидат географических наук, доцент той же кафедры. Научные интересы связаны с сохранением всемирного природного и культурного наследия, ландшафтоведением, оценкой геоэкологического состояния ландшафтов Среднего Дона.
e-mail: plakor@mail.ru



Сергей Николаевич Моников, кандидат географических наук, доцент той же кафедры. Занимается краеведением и историей исследования природы Волгоградской области.
e-mail: kraeved2003@mail.ru



Типичный природный ландшафт Прикаспийской низменности.

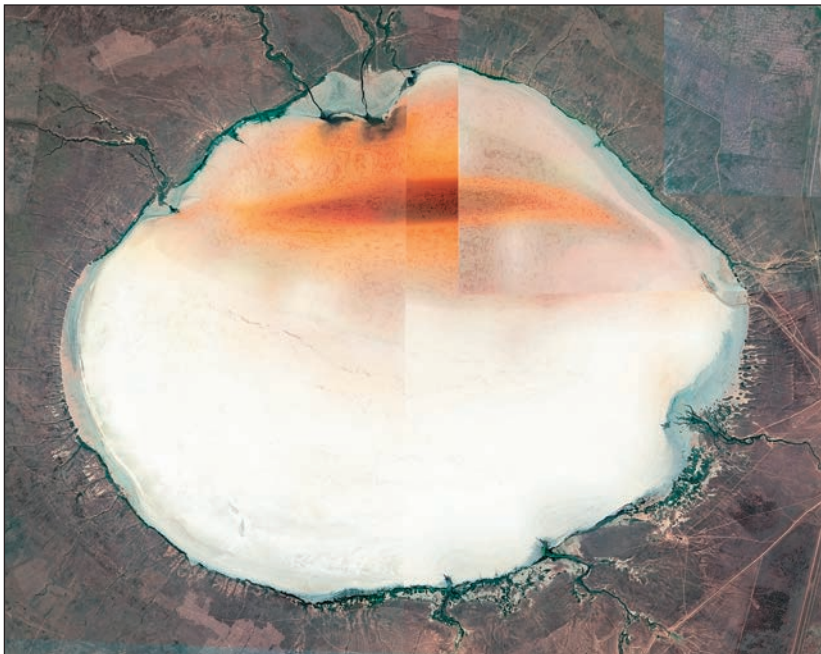
Фото В.Б.Буханцова

в зависимости от сезона, но в среднем составляет около 187 км². Берега довольно пологие, где-то они плавно уходят в воду, а местами представлены обрывами высотой 3–5 м, сложенными песчано-глинистыми осадками. Однообразие берегов нарушается бесчисленным количеством овражков, вымоин и балок, открывающихся в озеро. Их максимальная глубина около 1.5–1.7 м (весной), минимальная — несколько сантиметров (в конце лета — начале осени). Озеро Эльтон находится на 16.9 м ниже уровня Мирового океана. Неподалеку возвышается соляной купол — гора Улаган (68 м).

До конца XIX в. здесь добывали соль, а в начале XX в. на берегу открыли первый санаторий. В 2001 г. само озеро и окружающие его полупустынные ландшафты включены в природный парк «Эльтонский» [2].

В мае 2018 г. члены Волгоградского отделения Русского географического общества организовали экспедицию в Палласовский р-н для установления информационных табличек около уреза воды Эльтона — в самой низкой точке Волгоградской обл. (–16.9 м) и на горе Улаган — на максимальной высоте Волгоградского Заволжья. Оба знака нашли свое место: первый на искусственной косе, протягивающейся в озеро, второй — на смотровой площадке над озером на западном уступе горы.

Второе знаменитое озеро на севере Прикаспийской низменности — Баскунчак. Это соленый хлоридный галитовый бессточный водоем в Ахтубинском р-не Астраханской обл. Площадь озера в пределах коренных берегов около 96 км², максимальная длина — 18 км, ширина — 9.5 км. Водоем служит областью местного стока, площадь его водосбора составляет около 450 км². Так же как и Эльтон, Баскунчак представляет собой впадину между соляными куполами. Глубина озера не превышает 1.6 м (максимальна она обычно весной). С мая по октябрь здесь идет про-



Озеро Эльтон на снимке из космоса (Google Earth).

цесс так называемого эвапоритового накопления галита, обусловленный жарким полупустынным климатом. На озере находится крупное месторождение поваренной соли, ее добывают прямо с поверхности. Соляные запасы при этом постоянно восстанавливаются благодаря поступлению высокоминерализованных растворов с речным стоком и наличию ключей на дне озера. Высочайшая точка вблизи водоема — гора Большое Богдо (149.6 м) — представляет собой куэсту на вершине соляного купола [3]. В 1997 г. само озеро и окружающие его ландшафты включены в Богдинско-Баскунчакский природный заповедник.

На территории Русской равнины отсутствуют природные ландшафты, включенные в список всемирного наследия. В нем нет «русского леса», «русского чернозема» [4]. Нет и «всероссийской солонки» озер Эльтон и Баскунчак с окружающими ее полупустынными ландшафтами, не имеющими аналогов на территории Европы. В списке всемирного наследия числятся всего два объекта, связанные с соледобычей: это Королевские соляные шахты в Величке и Бохне (Польша, 1978, 2013) и Королевский соляной завод в Арк-э-Сенан (Франция, 1982) [5]. Оба иллюстрируют средневековые традиции соледобычи. Освоение же солей Баскунчака и Эльтона началось в XIII—XIV вв., еще во времена Золотой Орды, а промышленная добыча ведется с конца XIX в., поэтому Эльтонско-Баскунчакский ландшафт иллюстрирует историю соледобычи не только прошлого, но и нашего времени.

Стало традицией, что предприятия разных отраслей хозяйства, иллюстрирующие прорывные технологии, со временем включаются в список наследия. Таковы, например, «Горнопромышленный ландшафт Блэнавон» (Великобритания) или «Важнейшие горнодобывающие комплексы Валлонии» (Бельгия). Охраняются предприятия легкой («Фабрики в долине реки Дервент» в Великобритании) и тяжелой («Железодельательный завод в Фёльклингене» в Герма-



Озеро Эльтон в период интенсивного размножения дуналиеллы солонководной (*Dunaliella salina*).

Фото В.Б.Буханцова

нии или «Индустриальная зона Рьюкан—Нутодден» в Норвегии) промышленности. В Италии и Австрии в реестр наследия внесены горные железные дороги (например, «Ретийская железная дорога в культурном ландшафте Альбулы и Бернины»), в Бельгии, Великобритании и Франции — судоходные каналы и судоподъемники [5, 6]. При этом пока ни одно из соледобывающих предприятий нашего времени в перечень наследия не входит.

С нашей точки зрения, Эльтонско-Баскунчакский ландшафт заслуживает включения в предвари-



Озеро Баскунчак на снимке из космоса (Google Earth).

тельный перечень всемирного наследия ЮНЕСКО от Российской Федерации по следующим критериям: II — уникальный объект архитектуры, монументального искусства, градостроительства, а также особо ценные участки культурного ландшафта; VII — наглядный пример отражения основных этапов истории Земли, включая следы древней жизни, серьезные геологические процессы, которые продолжают происходить в развитии форм земной поверхности, существенные геоморфологические особенности рельефа (критерий палеонтологической, геологической и геоморфологической ценности).

Уникальность региона с точки зрения геологии определяется наличием здесь мощного соляного комплекса пермско-триасового времени, а также активной соляной тектоникой. Она приводит к появлению положительных форм (куполов, соляных штоков) и сопряженных с ними отрицательных структур (межкупольных депрессий, компенсационных мульд). В осадочном чехле Прикаспийской низменности известно более 1 тыс. солянокупольных образований. Как уже говорилось, происхождение и развитие озер Эльтон и Баскунчак и прилегающих к ним водосборов обусловлено именно солянокупольными структурами. Например, Баскунчакская соляная структура включает в себя впадину озера и поднятие Большого Богдо.

Солянокупольные образования постоянно растут, но при этом и размываются грунтовыми водами. Как только вершина купола достигает их уровня, начинается борьба роста и размыва. Наибольшие скорости поднятия соляных куполов варьируют от 1 до 10 мм/год, при этом растворяющая способность грунтовых вод изменяется на протяжении года. Рост и размыв соляных куполов оказывает огромное влияние на все компоненты окружающей природной среды [3, 7].

Все соляные купола имеют похожее строение. Они представляют собой соляную толщу мощностью более 600 м, в кровле которой залегают гипсовые породы (мощность кровли — до 80 м). Каменная соль служит водоупором, по которому движутся подземные воды. Гипс же, в силу своей высокой пористости (в нем нередко образуются карстовые полости), обеспечивает транзит природных вод в озеро. Естественное соленакопление достигает 1.2–1.7 млн т/год, а добыча солей на месторождении — 1–1.5 млн т/год [3].

Гора Большое Богдо уже несколько столетий влечет к себе ученых, изучающих стратиграфию и палеонтологию триаса юга Европейской России. Ныне ее разрез относят к пяти региональным стратиграфическим горизонтам — вохминскому (бугринская свита), рыбинскому, слудкинскому



Гора Большое Богдо.

Здесь и далее фото С.Н.Моникова



Озеро Баскунчак. Следы соледобычи XXI в. (панорама с горы Большое Богдо).

и устьмыльскому (большая часть ахтубинской свиты) и федоровскому (верхи ахтубинской свиты и богдинская свита) [8].

Гора изрезана наземными (воронки, котловины, блюдца) и подземными (колодца, пещеры) формами карста. На ее склонах описано более 30 пещер, крупнейшая из которых имеет протяженность около 1.5 км. Гипсы и ангидриты пермского возраста (кунгурского яруса) оказались на поверхности из-за солянокупольной тектоники [9].

Горы Большое Богдо и Улаган, словно острова, поднимаются над бескрайней Прикаспийской степью. С их вершин открывается замечательный вид на несколько десятков километров вокруг [10].

В формировании уникального Эльтонско-Баскунчакского ландшафта, помимо природного фактора, немалую роль играла и деятельность человека. Здесь добывали соль и гипс, работали бальнеологические санатории, развивалось отгонное животноводство (выращивали мелкий и крупный рогатый скот и лошадей), издавна существовали населенные пункты, пролегли дороги, среди которых особенно интересны соляные тракты чумаков.

Археологи считают, что первые разработки соли начались с появлением в здешних местах человека. Это неудивительно, ведь огромные запасы соли лежат прямо у поверхности. Соль «ломали» скифы, хазары (VII–IX вв.), половецкие племена

(X–XIII вв.) и ордынцы (XIII–XV вв.). После падения в 1556 г. Астраханского ханства здесь стали появляться русские старатели и чумаки. Соледобытчиками в основном были киргизы, казахи, татары и русские крестьяне. Они добывали соль пешнями, ломами и лопатами, стоя в рапе по 12–14 ч в сутки. Соль грузилась в повозки и верблюдами доставлялась на берег. Впервые соленые озера Прикаспия упоминаются в «Книге Большому чертежу» (1627), где сказано, что там «ломают соль чистую, как лед».

В годы правления императрицы Елизаветы Петровны (1741–1762) основано два соляных тракта от Эльтона до Николаевской и Покровской слобод [11]. Эльтонская соль вывозилась в основном в Саратовскую, Тамбовскую, Рязанскую, Пензенскую, Орловскую, частью в Курскую, Симбирскую, Воронежскую, Казанскую и Тульскую губернии. Соль с Баскунчака везли возчики, работающие по контракту, в казенные магазины Астрахани, Енотаевки, Черного Яра, Царицына, Саратова и других городов. Вольные солевозцы предпочитали вывозить соль с Баскунчака. Здесь, по сравнению с Эльтоном, удобнее берега, ближе Волга, да и по дороге в степи «повсюду есть лучшая паства для волов, нежели по дороге к Елтонскому озеру» [12].

Немецкий путешественник и натуралист Самуил Гмелин в своем труде «Путешествие по Рос-



Озеро Баскунчак. Следы соледобычи XIX в.

сии» (1769) пишет: «Баскунчакское соленое озеро в длину простирается на шестнадцать, а в ширину, в самом широком месте, на девять верст... Толщину верхнего слоя полагаю я в пять дюймов. Соль в сем озере белизною снегу не уступает и лучше всякой астраханской... Ломают ее ныне только у берега. Наломав в мелкие куски, разбивают, собирают в кучи и, поливая тузлуком, очищают, а как тузлук опять стечет и соль ветром обсушится, тогда кладут ее на арбы и к пристани возят» [12, с.587].

До сих пор на озере сохранились многочисленные столбы, выполнявшие функции свай. На них клались деревянные настилы, принимавшие только что поднятую из озера соль. На настилах она сохла, а лишняя вода между досок стекала в водоем. Такая технология осушения соли была типичной в XVI–XIX вв.

Природные ландшафты и особенности соледобычи в регионе описывали многие выдающиеся ученые: И.И.Лепёхин (1769), С.Г.Гмелин (1769), И.А.Гильденштедт и И.П.Фальк (1769), П.С.Паллас, И.Г.Георги (1773–1774), А.Гумбольдт, Х.Эренберг и Г.Розе (1829), Э.А.Эверсман и К.К.Клаус (1829), К.Х.Гёбель и К.К.Клаус (1834), Р.И.Мурчисон, Э.де Вернейль и А.А.Кейзерлинг (1841), К.М.Бэр (1853), Г.П.Федченко (1863), Н.П.Барбот де Марн (1873). Первое детальное геологи-

ческое описание региона выполнил русский геолог П.А.Православлев в трудах «К познанию геологического строения Эльтонского озера» (1901) и «К геологии окрестностей Баскунчакского озера» (1902) [11]. Интересно отметить, что в 1858 г. на Эльтоне и Баскунчаке побывал всемирно известный французский писатель Александр Дюма (отец).

В конце XIX в. добыча соли на Эльтоне прекратилась. С начала XX в. озеро выполняет преимущественно бальнеологические функции.

На Баскунчакском месторождении соль добывать не переставали. В 1882 г. здесь построили железную дорогу. В 1920-е годы добыча была механизирована путем введения экскаваторов и механической распиловки пласта. В 1930-х появился солекоmbайн — принципиально новый инструмент добычи [3]. Вплоть до середины прошлого века добыча соли увеличивалась, но не превышала объема ее естественного воспроизводства. С середины XX в. объем добычи превысил 5–6 млн т/год, что повлекло за собой ряд негативных последствий. Гипсометрический уровень соляного пласта понизился на 2 м, терригенный материал стал продвигаться от периферии водоема к центру (ухудшилось качество соли), и активизировались проявления карста. Однако после распада СССР добыча вновь снизилась до 1–1.8 млн т/год, экологическая

ситуация стабилизировалась, и сегодня объем извлекаемого сырья не превышает количества поступающих в водоем солей.

По сути, само озеро Баскунчак представляет собой действующий памятник недропользования мирового масштаба. Здесь можно проследить основные стадии соледобычи — от примитивных

разработок до промышленной добычи (с 20–30-х годов XX в.).

Несомненно, что Эльтонско-Баскунчакский регион достоин войти в список объектов всемирного наследия как уникальное геологическое образование и особо ценный участок культурного ландшафта. ■

Литература / References

1. Брылёв В.А. Эволюционная геоморфология юго-востока Русской равнины. Волгоград, 2005. [Brylev V.A. Evolutionary Geomorphology of the South-East of the Russian Plain. Volgograd, 2005. (In Russ.).]
2. Брылёв В.А., Дедова И.С., Дьяченко Н.П. и др. Геоморфология Волгоградской области. М., 2017. [Brylev V.A., Dedova I.S., Dyachenko N.P. et al. Geomorphology of the Volgograd Region. Moscow, 2017. (In Russ.).]
3. Зеленковская П.С., Куриленко В.В. Природно-техногенная система соляного озера Баскунчак и особенности эксплуатации ее ресурсов. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2013; 4: 33–52. [Zelenkovskaya P.S., Kurilenko V.V. Natural-technogenic system of the salt Lake Baskunchak and main features of exploitation of its resources. Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences. 2013; 4: 33–52. (In Russ.).]
4. Мазуров Ю.Л., Максакровский Н.В. Объекты Всемирного природного наследия в России. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2002; 2: 71–79. [Mazurov Yu.L., Maksakovskiy N.V. World natural heritage in Russia. Izvestiya RAN. Geography. 2002; 2: 71–79. (In Russ.).]
5. Князев Ю.П. Всемирное культурное и культурно-природное наследие. Волгоград, 2015. [Knyazev Yu.P. World Cultural and Natural Heritage. Volgograd, 2015. (In Russ.).]
6. Князев Ю.П. Природное и культурно-природное наследие Европы: современное состояние, проблемы и перспективы развития. Вестник Воронежского университета. Серия: География. Геоэкология. 2014; 3: 53–59. [Knyazev Yu.P. Natural, cultural and natural heritage of Europe: current state, problems and prospects of development. Proceedings of Voronezh State University. Geography. Geocology. 2014; 3: 53–59. (In Russ.).]
7. Чичагов В.П. Геодинамика солянокупольных структур района Баскунчак — Большое Богдо. Астраханский вестник экологического образования. 2014; 4(30): 24–36. [Chichagov V.P. Geodynamics of salt dome of the region Bascunchak — Big Bogdo. Astrakhan Herald of ecological education. 2014; 4(30): 24–36. (In Russ.).]
8. Кухтин Д.А., Ярошенко О.П., Шишкин М.А. и др. Актуализированная стратиграфическая схема триасовых отложений Прикаспийского региона. Объяснительная записка. М., 2016. [Kukhtin D.A., Yaroshenko O.P., Shishkin M.A. et al. Updated Stratigraphic Scheme of Triassic Deposits of the Caspian Region. Explanatory note. Moscow, 2016. (In Russ.).]
9. Головачев И.В. Карст и пещеры Северного Прикаспия. Астрахань, 2010. [Golovachev I.V. Karst and Caves of the Northern Caspian. Astrakhan, 2010. (In Russ.).]
10. Князев Ю.П. Самые живописные места планеты. Природа. 2013; 7: 24–33. [Knyazev Yu.P. The Most Scenic Places of the Planet. Priroda. 2013; 7: 24–34. (In Russ.).]
11. Моников С.Н. Золотое озеро. Историко-географические очерки. Волгоград, 2001. [Monikov S.N. The Golden Lake. Historical and geographical essays. Volgograd, 2001. (In Russ.).]
12. Джумагалиева К.В. Участие казахов в перевозке эльтонской и баскунчакской соли. Известия Пензенского государственного педагогического университета имени В.Г.Белинского. Гуманитарные науки. 2012; 27: 586–589. [Dzhumagalieva K.V. Participation of Kazakhs in transportation of Elton and Baskunchak salt. Proceedings of the Penza State Pedagogical University. Humanities. 2012; 27: 586–589. (In Russ.).]

Elton–Baskunchak Region — Candidate in the World Heritage List

V.A.Brylev¹, Yu.P.Knyazev¹, S.N.Monikov¹

¹Volgograd State Socio-Pedagogical University (Volgograd, Russia)

The article considers the Elton-Baskunchak Ecoregion from the point of view of its inscription in the UNESCO World Heritage List. First of all, it is a unique geological formation with the presence of a powerful salt complex of Permian-Triassic period, and active salt tectonics, which could no longer be seen in any existing World Heritage Site. Big Bogdo Mountain is an important stratigraphic and paleontological object illustrating the Triassic period in southern European Russia. Secondly, Lake Baskunchak is a particularly valuable part of the cultural landscape, an active natural monument of subsoil management on a Global scale. Here you can trace the main stages of salt production from primitive mining development to industrial production (from 20-30-ies of XX century). The List of World Heritage does not include modern enterprises for the extraction and processing of salt.

Keywords: cultural landscape, natural landscape, UNESCO World Heritage Sites, salt mining, salt lakes, saline dome structures.

Золотистая ржанка на Вишерском Урале

кандидат биологических наук В.А.Колбин

Государственный природный заповедник «Вишерский» (Пермский край, Россия)

e-mail: kgularis@mail.ru



В статье описана биология золотистой ржанки (*Pluvialis apricaria*) в условиях горных тундр Вишерского заповедника на Северном Урале. Вид занесен в Красную книгу Пермского края и других регионов РФ. Представлены сведения о численности и гнездовой экологии птиц на территории заповедника.

Ключевые слова: золотистая ржанка, *Pluvialis apricaria*, сообщества птиц горных тундр, Урал, заповедник «Вишерский».

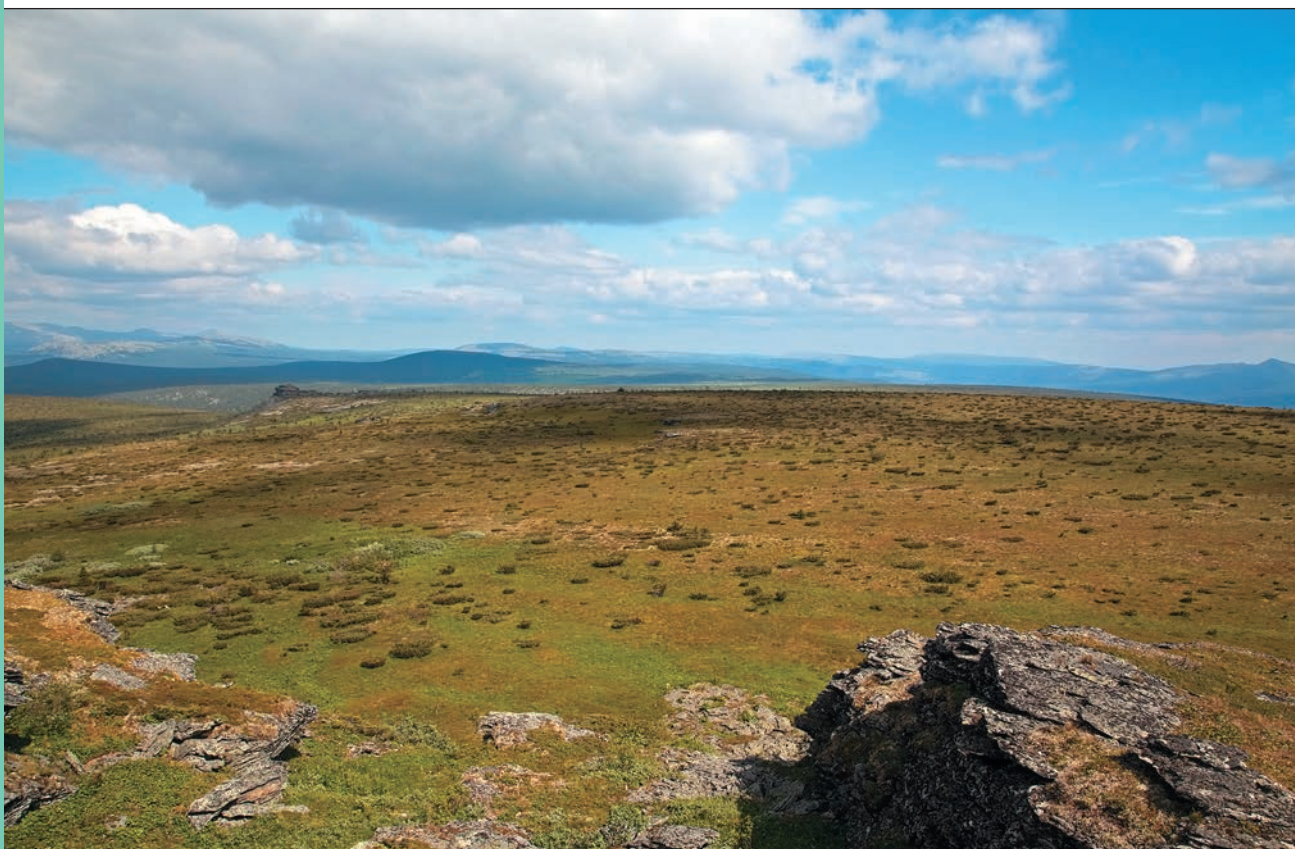
Ржанки (*Pluvialis*) — род куликов (разнообразной группы небольших длинноногих и длинноклювых околоводных птиц) из отряда ржанкообразных (Charadriiformes). Золотистая ржанка (*P. apricaria*) — один из типичных обитателей тундровой зоны западной части Евразии, в сибирской части материка эту птицу сменяет бурокрылая ржанка (*P. fulva*). На участке Субарктики, включающем Ямал и юг Таймыра, встречаются оба вида.

Южный подвид *P. a. apricaria* внесен в Красную книгу РФ [1]. В Новгородской, Псковской, Тверской областях и в странах Балтии эти ржанки селятся на верховых болотах. В некоторые региональные красные книги [2] вид внесен без указания подвида. В Красной книге Кировской области речь ведется о южном подвиде, но используется иллюстрация северного — *P. a. altifrons* [3]. Птицы, гнездящиеся в Ленинградской обл., были определены как северный подвид [4]. Различия между подвидами нечеткие и часто перекрываются индивидуальной изменчивостью.

В Пермском крае ржанки обитают только в горной части Вишерского Урала, здесь проходит южная граница их распространения на Урале. Птицы принадлежат к северному подвиду, который обычен в тундрах Субарктики, но для края бесспорно редок. Эти кулики гнездятся только в горной части единственного района — Красновишерского, причем большая часть (40–60 пар) группировки обитает на территории заповедника «Вишерский». Средняя плотность населения птиц в горных тундрах заповедника, по многолетним данным, составляет 2.1 ± 1.6 пар/км², что сопоставимо с данными по арктическим тундрам. На Среднем Ямале (у стационара «Хановей») в 1974 и 1975 гг., по данным маршрутных учетов, плотность золотистой ржанки не менялась — 1.4 пар/км² [5].

Горную тундру Вишерского Урала трудно представить без заунывных криков золотистой ржанки. Этот коренастый кулик с относительно коротким клювом и довольно красочным оперением издали замечает путника и сопровождает его, при этом непрерывно жалобно кричит. Птица не успокаивается до тех пор, пока человек не уйдет с ее земли. Точно так же она реагирует на северных оленей и любых других потенциально опасных живот-

Золотистая ржанка.
Здесь и далее фото автора



Горная тундра с моховым или лишайниково-моховым покровом — типичное местообитание золотистой ржанки на хребте Чувальский Камень (вверху) и каменные россыпи хребта Ольховочного, где эта птица селится редко.

ных. Наверное, за эти назойливые крики, которые слышны все лето, ржанку вместе с другим куликом, хрустаном (*Charadrius morinellus*), еще в старину окрестили «глупой сивкой». Основное название — ржанка — возникло потому, что птиц весной и осенью часто встречали кормящимися на полях. Как и другие кулики, ржанки питаются разнообразными беспозвоночными животными, едят ягоды и семена. Так, в августе 2017 г. группа из восьми ржанок была встречена нами в моховой тундре возле хребта Молебный Камень, где они кормились морошкой.

Весенний пролет ржанок проходит в средней полосе России в мае достаточно быстро. В XIX в. их миграция была весьма заметным явлением, поскольку численность птиц намного превышала современную. Вот как описывает весенние стаи ржанок профессор М.А.Мензбир в двухтомнике «Птицы России» [6], цитируя известного писателя: «Но вот настало время отдыха, и вся стая, “кружась беспрестанно, то свиваясь в густое облако, то развиваясь широкой пеленой”, как говорит Аксаков, “начинает делать свои круги все ниже и ниже и, опустясь уже близко к земле, вдруг с шумом покрывает целую десятину; ни одной секунды не оставаясь в покое, озимые куры проворно разбегаются во все стороны. Мгновенно поверхность занимаемого ими места представится вам движущаяся, живую! В глазах зарябит, если долго посмотришь на эту волнующуюся пестроту!»* . Теперь такие стаи трудно даже представить...

Облик ржанки довольно яркий: верх тела золотистый с мелкими черными пятнами, именно это и определило ее видовое название; щеки, горло и весь низ тела черные. Золотистый верх и черный низ отделяются друг от друга белой полосой. У самца черный цвет передника обычно чистый, у самки буроватый с по-

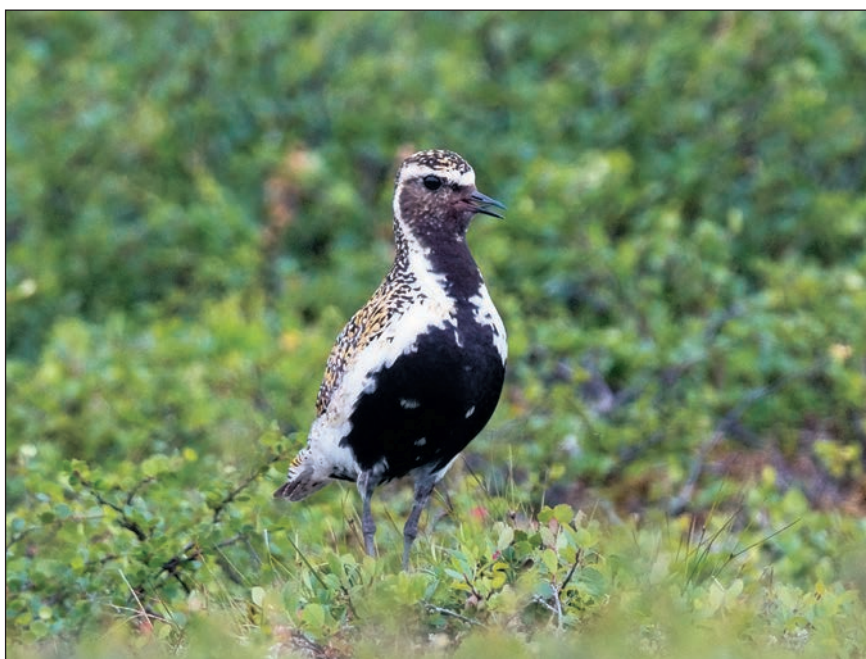
* М.А.Мензбир цитирует книгу С.Т.Аксакова «Записки ружейного охотника Оренбургской губернии», впервые опубликованную в 1852 г. и прославившую писателя.



Ржанка кормится. Как и другие кулики, ржанки питаются разнообразными беспозвоночными животными, едят ягоды и семена.

марками, особенно в верхней части. На всех приведенных фотографиях оперение уже не чисто черное, поскольку у птиц в июле начинается линька, а осенью оно становится дымчатым.

Ареал вида охватывает север Европы и Западной Сибири, Британские о-ва, Исландию. Ржанки зимуют в Южной Европе, Северной Африке, на Каспии. На Вишерский Урал птицы прилетают в конце мая. На территории заповедника они поселяются в горных тундрах с моховым или лишайниково-моховым покровом и на пустошах с доминирова-



Самец ржанки среди зарослей карликовой березки (10.07.2013): на его «лице» уже заметны светлые «осенние» перья, поскольку начинается линька.



Ржанки в осенней окраске возле хребта Молебный Камень, где они кормились морошкой (14.08.2017).

нием лерхенфельдии, или щучки горной (*Avenella flexuosa*), овсяницы Рупрехта (*Festuca ruprechtii*) и осоки мечелистной (*Carex ensifolia*) в диапазоне абсолютных высот 700–900 м. Понятие «горные пустоши» ввел А.М.Овеснов [7] для Вишерского Урала, где этот тип растительности вторичен. Он сформировался на месте мохово-лишайниковых тундр под воздействием обогащения почв продук-

тами жизнедеятельности оленей и человека. Часто такие станции располагаются на плоских вершинах хребтов. Обычно на гнездовом участке в той или иной степени представлены кустарники, в первую очередь это — можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica*), карликовая береза (*Betula nana*), ивы (*Salix glauca*, *S.lapponum*, *S.lanata*). Примечательно, что птицы избегают сплошных можжевельниковых, ерниковых и ивовых зарослей кустарников, им нужен хороший обзор.

Ржанки имеют обыкновение начинать токовые песни еще во время пролета, в это же время могут образовываться пары. С прилетом на гнездовой участок токование усиливается. Самец в полете многократно неторопливо повторяет: «тЮ-лИиу», а завершается песня торопливым непрерывным бормотанием: «криувИу-криувИу-криувИу...». Токование может происходить и на земле: птицы совершают поклоны и принимают вертикальные позы, демонстрируя черный передник. Токовые песни ржанок регистрировались в заповеднике в июне и июле, а также в первой половине августа. Иногда вокализация (не только крики тревоги) может стать своеобразной реакцией на беспокойство.

В горной тундре Вишерского заповедника пары обычно распределяются одиночно, и часто одну от другой отделяет несколько километров. Причина такой разобщенности, видимо, кроется в небольшой площади оптимальных местообитаний. Но иногда в благоприятных местах две пары могут соседствовать.

Найти гнездо ржанки совсем не просто, птицы заблаговременно сходят с кладки и не садятся насиживать, пока не убедятся, что опасность мино-



Кричащий самец. Хребет Чувальский Камень (23.07.2014).

вала. Гнездо устраивается на земле среди тундры, обычно достаточно сухой, часто на водоразделах или где-то поблизости. В одних случаях оно хорошо сформировано, в других представляет собой простое углубление в лишайниково-моховой подушке. Лоток выстилается лишайниками из группы ягелей: в обнаруженных нами гнездах присутствовали *Cladonia arbuscula* и *Flavocetraria cucullata*. В кладке бывает четыре (редко — три) яйца довольно изменчивой окраски. При обследовании хребта Чувальский Камень 4 июля 2006 г. во время дождя со снегом я натолкнулся на ржанку, насиживающую кладку с тремя яйцами. Птица покинула гнездо прямо передо мной. Вероятно, кладка была еще не полной. Гнездо возле горы Хусойк хребта Муравьиный с четырьмя яйцами обнаружено 13 июля 2007 г. Неоднократно приходилось встречать и старые гнезда — ямки, выстланные лишайником. Так, 30 июля 2005 г. было найдено на хребте Ольховочном гнездо с фрагментами скорлупы и одним «болтуном», а 14 августа 2005 г. такое же гнездо — на хребте Зырянковский камень.

Кладку насиживают оба партнера по очереди. Длится этот период 26–29 дней, по исследованиям на Ямале — 27 дней [8]. Вылупляются птенцы довольно дружно в течение суток, и в гнезде, как и у большинства других видов куликов, не задерживаются. Они сами находят себе корм, но нужда-



Гнездо ржанки у подножья горы Хусойк (13.07.2007).

ются в заботе родителей, которые их согревают и защищают. Взрослые становятся еще более крикливыми и беспокойными после появления птенцов — стремятся отвлечь на себя внимание хищников, могут имитировать поведение раненой птицы. Выводки ржанок на территории заповедника находятся до середины августа, отлет проходит в конце августа — начале сентября, однако птицы, гнезда которых были разорены, начинают кочевки к местам зимовки еще в июле. ■

Литература / References

1. Красная книга Российской Федерации: животные. М., 2001. [Red Data Book of the Russian Federation: animals. Moscow, 2001. (In Russ.).]
2. Красная книга Пермского края. Пермь, 2018. [Red Data Book of the Perm Krai. Perm, 2018. (In Russ.).]
3. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. Киров, 2014. [Red Data Book of the Kirov Oblast. Kirov, 2014. (In Russ.).]
4. Мальчевский А.С., Пукинский Ю.Б. Птицы Ленинградской области и сопредельных территорий. Л., 1983; 1. [Malchevsky A.S., Pukinsky Yu.B. Birds of the Leningrad region and adjacent territories. Leningrad, 1983; 1. (In Russ.).]
5. Данилов Н.Н., Рыжановский В. Н., Рябицев В. К. Птицы Ямала. М., 1984. [Danilov N.N., Ryzhanovsky V.N., Ryabitsev V.K. The Birds Yamal. Moscow, 1984. (In Russ.).]
6. Мензбир М.А. Птицы России. М., 1895. [Menzbir M.A. The Birds of Russia. Moscow, 1895. (In Russ.).]
7. Овеснов А.М. Горные луга Вишерского Урала. Тр. ЕНИ при Перм. ун-те. 1948; 10(1): 3–86. [Ovesnov A.M. Mountain meadows of the Vishera Urals. Proceedings of the Natural Sciences Institute of Perm University. 1948; 10(1): 3–86. (In Russ.).]
8. Рябицев В.К. Золотистая ржанка *Pluvialis apricaria* на Ямале. Русский орнитологический журнал. 2014; 23(1031): 2379–2388. [Ryabitsev V.K. The Eurasian golden plover *Pluvialis apricaria* on Yamal. The Russian Journal of Ornithology. 2014; 23(1031): 2379–2388. (In Russ.).]

European Golden Plover in the Vishera Urals

V.A.Kolbin

Vishera Nature Reserve (Perm Krai, Russia)

The article describes the biology of the European golden plover (*Pluvialis apricaria*) in the conditions of the mountain tundra of the Vishera Nature Reserve in the Northern Urals. The species is listed in the Red Book of Perm krai and other regions of the Russian Federation. Information on the abundance and breeding ecology of the birds in the Reserve is provided.

Keywords: European Golden Plover, *Pluvialis apricaria*, bird community of mountain tundra, Ural Mountains, Vishera Nature Reserve.

Л.Д.Ландау и А.И.Китайгородский как просветители и популяризаторы науки

доктор педагогических наук Р.Н.Щербаков

Таллин, Эстония

e-mail: robert.scherbakov@rambler.ru

Двух несравнимых по вкладу в физическую науку советских ученых однажды объединило стремление написать научно-популярную книгу «Физика для всех». Она содействовала формированию представлений о современной науке и поощряла желание заняться ею, поэтому приобрела всеобщее признание в СССР и за рубежом.

Ключевые слова: Л.Д.Ландау, А.И.Китайгородский, популяризация научного знания, обучение физике в высшей и средней школах.

*Сейте разумное, доброе, вечное,
Сейте! Спасибо вам скажет сердечное
Русский народ...*

Н.А.Некрасов

И в наши дни актуально замечание, сделанное С.И.Вавиловым в 1947 г.: *Если в весьма отдаленные и в более близкие к нам времена Галилей, Ломоносов, Эйлер, Мечников, Тимирязев умели писать так, что их произведения были понятными и глубоко интересными для ученых-специалистов и одновременно для широких кругов интеллигенции, то для советского ученого такое требование должно стать обязательным* [1, с.8].

Просветительская деятельность во второй половине XX в. достигла высокого уровня. А.Ф.Иоффе и М.П.Бронштейн, С.И.Вавилов и Г.С.Ландсберг, Л.Д.Ландау и А.Б.Мигдал и др. сумели многих увлечь наукой, воспитать у них стремление развивать ее, а тиражи популярных журналов и книг были несопоставимы с современными.

В качестве наглядного примера остановимся на работе в области просвещения А.И.Китайгородского и Л.Д.Ландау. Оба они по-своему внесли неповторимый вклад в создание научных представлений о мире физики той эпохи у разных по научной и общей культуре слоев советского общества.

Современная физика превратилась в более сложную дисциплину. Овладение ею требует немалой подготовки. Популяризация физики, если она ведется доступно и без искажений на потребу публике, в обществе, в котором наука потеряла

свое былое величие, остается делом трудным, но весьма полезным и продуктивным [2].

Бойтесь странностей. Все хорошее просто и понятно

Научное творчество гениального физика Льва Давидовича Ландау (1908–1968) способствовало развитию в мире теоретической и общей физики, ее популяризации и росту уровня физического образования в стране. Авторитет Ландау в обществе был так высок, что его имя знали даже широкие круги гуманитарной интеллигенции той эпохи.

В 38 лет Ландау был уже академиком, позже лауреатом Сталинских (1946, 1949, 1953) и Ленинской (1962) премий, медали М.Планка (1960), премии Ф.Лондона (1960), иностранным членом Лондонского королевского общества (1960), Национальной академии наук США (1960), Датской королевской академии (1951), Королевской академии наук Нидерландов (1956), Американской академии искусств и наук (1960), в 54 года он получил Нобелевскую премию по физике (1962) и т.д.

Александр Исаакович Китайгородский (1914–1985) был одним из соавторов Ландау по популяризации физической науки в СССР и мире. Их знакомство началось, когда Китайгородскому в 1946 г.

Институт физических проблем присудил степень доктора физико-математических наук за работу «Расположение молекул в кристаллах органических соединений».

В своих научных достижениях они несравнимы. Ландау — гений, внесший свой вклад во все разделы теоретической физики: квантовую теорию диамагнетизма и теорию фазовых переходов второго рода; теорию магнетизма (доменная структура ферромагнетиков); теорию промежуточного состояния в сверхпроводниках; теорию сверхтекучести гелия II (Нобелевская премия 1962 г.); квантовую электродинамику, теорию сверхпроводимости и т.д. Его имя в ряду физиков мирового класса.

Китайгородский — создатель структурной кристаллографии, принципа плотной упаковки в молекулярных кристаллах и метода атом-атом-потенциалов. Автор книг по рентгеноструктурному анализу и других работ (переведенных на разные языки). Среди его учеников два зарубежных академика, более 10 докторов и 40 кандидатов наук. Он лауреат премии имени Е.С.Федорова (1967).

По воспоминаниям его ученика Э.И.Федина*, хотя Китайгородский и был одним из самых сильных умов в советской науке того времени и казалось предreshенным, что он вот-вот станет академиком, но из-за присущей ему излишней свободы поведения, при которой он обычно пренебрегал

* Эрлен Ильич Федин (1928–2009) — с 1956 г. ученик Китайгородского, доктор физико-математических наук, профессор, председатель Комиссии по радиоспектроскопии АН СССР (1971–1991), создатель (1978) и первый руководитель (по 1991) лаборатории ядерного магнитного резонанса. В 1995 г. эмигрировал в Германию.

заведенными властью нормами жизни, Александр Исаакович так и не стал ни заслуженным деятелем науки, ни членом-корреспондентом, ни академиком [3, с.571].

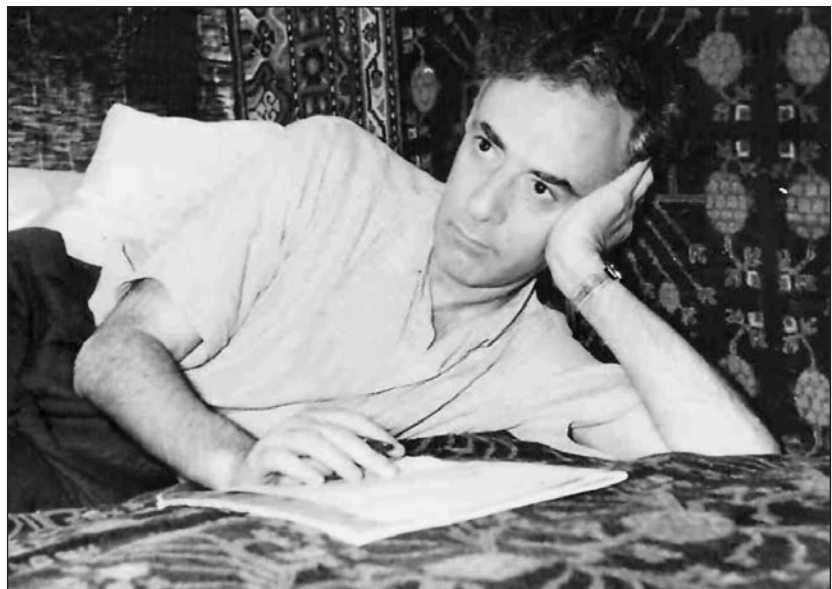
В итоге в книгах по истории физики, в энциклопедиях и словарях не сохранилось упоминаний о Китайгородском как ученом, что, возможно, и стало своего рода расплатой за его «непохожесть» на коллег по науке. А ссылки на творчество Ландау многочисленны и актуальны по сей день. Насколько справедлива была плата Китайгородского за свою своенравность и действительно ли видный ученый и блестящий популяризатор заслужил подобное отношение, покажет время.

Замечу, что если в творчестве Ландау на первом месте были наука и высшее образование, то в творчестве Китайгородского наука и ее популяризация существовали на равных. Уже вначале он проявил себя как весьма талантливый популяризатор: его выступления перед аудиторией проходили в переполненных залах и заканчивались дискуссиями, а его книги («Физика — моя профессия», «Реникса», «Физика для всех» и др.) быстро исчезали с книжных прилавков.

Единство взглядов Ландау и Китайгородского на отношение науки к познанию природы и мира в целом выразилось в гармоничности текстов популярной книги «Физика для всех», содержащей общее понимание предмета физики и методов, посредством которых она добывает истину о явлениях природы. Родство их взглядов на познание природы сохранилось и в книге Китайгородского «Физика — моя профессия»: *Естествоиспытатель описывает мир, как он есть. В его мире нет «надо» и «хорошо». Поскольку в мире людских взаимоотношений эти слова существуют, то исследователь бу-*



А.И.Китайгородский. 1950-е годы.



Л.Д.Ландау за работой — в привычной для него позе полулежа. Конец 1950-х годов.

дет пытаться их объяснить, т.е. доказать, что нужные и хорошие поступки являются такими же логическими следствиями определенных взаимоотношений между людьми и людьми и средой, как и движение спутника по заданной орбите является следствием всемирного тяготения [4, с.165].

Итак, если творчество Ландау было сосредоточено на развитии теоретической физики, на решении ее проблем через семинар и научную школу, создание пособий для воспитания будущих физиков, то по воле судьбы не столь яркая в науке деятельность Китайгородского была сосредоточена в основном на просвещении и популяризации.

При этом и тот и другой следовали в творчестве принципу — по форме шутливому, но по сути справедливому, высказанному Ландау на своем 50-летнем юбилее и повторенному Китайгородским спустя четверть века: *Ученик «грабит» учителя, а учитель «грабит» ученика; вот каким способом развивается наука* [5, с.5].

Теорфизический подход к жизни, присущий Л.Д.Ландау

К обучению теоретической физике и физике в целом, к созданию строго продуманной системы воспитания молодых теоретиков Ландау обратился еще в Харькове. В Москве он увлеченно и ответственно занимался педагогической деятельностью. С годами она стала более глубокой, обширной и всеохватывающей.

Представление об образовательном моменте в деятельности Ландау, о его влиянии на сформированное у него понимание подготовки физиков-исследователей, на существо обучения и воспитания в вузах и в конечном итоге на школьных уроках (к сожалению, это осталось лишь в намерениях), дает анализ специфики его физического мышления.

Творческую мощь Л.Д.Ландау как ученого П.Л.Капица видел в его четком и конкретно-логическом мышлении, В.А.Фок — в блестящей физической интуиции, а В.Л.Гинзбург — в редкой универсальности знаний и способности быть Учителем. Сам о себе Ландау однажды заметил: *Я — физик-теоретик. По-настоящему меня интересуют только неразгаданные явления. В этом и состоит моя работа* [6, с.203].

Почти 30 лет Ландау учил теоретической физике посредством теорминимума. В 1934–1961 гг. его сдали ученому и его ученикам 43 молодых физика. Большинство их стали известными теоретиками: Е.М.Лифшиц, И.Я.Померанчук, И.М.Халатников, А.А.Абрикосов, Ю.М.Каган, Л.П.Горьков, Р.З.Сагдеев и др). Молва о значимости теорминимума Ландау для будущего распространилась в стране и мире в целом.

С переездом в Москву Лев Давидович вел и семинар, в центре которого была теоретическая физика. Обсуждение на нем ее актуальных проблем было полезным всем его участникам. На семинаре, где собирались молодые ученые, проявилась вся мощь интеллекта Ландау: то, как он это делал, становилось великолепной школой для его участников. Со временем научная школа Ландау стала всемирно известной.

Ландау был одним из последних универсалов в области физики. При этом его научные работы трудно было отделить от работ его учеников. Его идеи рождались в беседах и проводимых семинарах, где он проявлял себя активно и талантливо. Научную литературу он не читал, ее читали его ученики и пересказывали ему. Сам же Ландау интересовался, как правило, основной идеей работы: этого ему было достаточно для понимания ее сущности и конечного результата.

Он был бесспорным гением в науке, прекрасным лектором и бесценным собеседником, однако письменное изложение научных идей давалось ему с трудом. Научные статьи, «Курс теоретической физики», учебные и популярные пособия писались его соавторами и учениками: Р.Пайерлсом, Е.Теллером, М.П.Бронштейном, Г.А.Гамовым, Д.Д.Иваненко, Е.М.Лифшицем, И.Я.Померанчуком, А.А.Абрикосовым, Я.А.Сморозинским и др.

Хорошо известный в научном мире «Курс теоретической физики» Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшица и не забытые еще курсы общей физики и научно-популярные издания (подготовленные им вместе с Ю.Б.Румером и А.И.Китайгородским) вполне убедительно свидетельствуют о сохранении на их страницах той убедительной логики и той прозрачности обоснования рассуждений, которые были присущи прежде всего Л.Д.Ландау, а за ним и его многочисленным ученикам.

Беспрецедентным по значимости для развития отечественной и зарубежной научной культуры, по своей полезности для теоретиков и экспериментаторов стал 10-томный «Курс теоретической физики». В обсуждении содержания и построении семи томов «Курса» Ландау принял не просто непосредственное участие: он определял логику каждой формулируемой в нем теории, пути обоснования ее истинности, а подчас и методы экспериментального подтверждения.

В «Курсе» (1938–1979) вошли все разделы теоретической физики XX в. Большинство написаны Лифшицем, бессменным другом и соавтором Ландау. Высокую оценку «Курсу» дали отечественные лауреаты Нобелевской премии. По мнению Гинзбурга, это учебник и энциклопедия, руководство к действию и орудие труда. А Капице достоинство «Курса» виделось в том, что его содержание тесно связано с запросами современной физики, теория

в нем излагается не оторвано от запросов эксперимента.

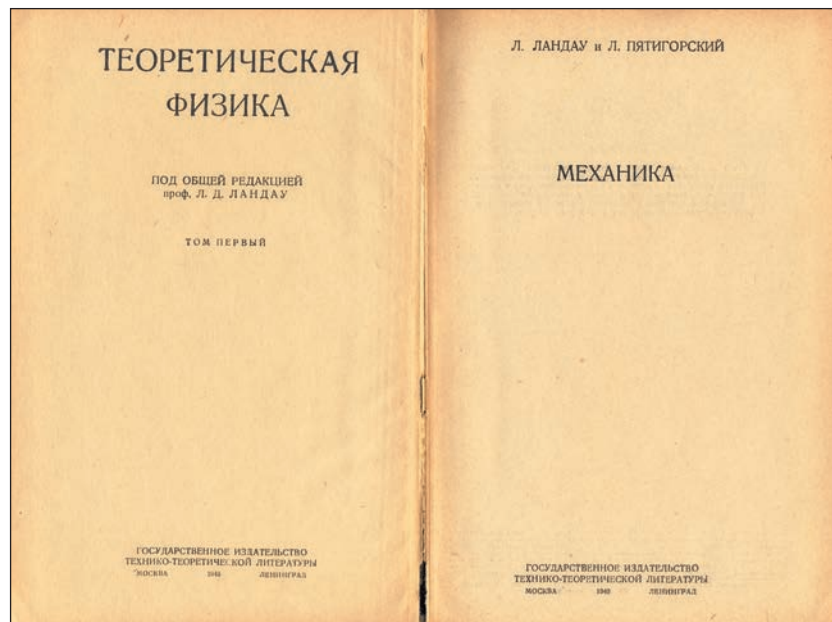
Для всего «Курса» Ландау и Лифшица характерны ясность и точность изложения, он *очень физичен, и физический подход... упрощает понимание и прививает читателю физическое мышление*. «Курс» несет в себе отпечаток системы ценностей, которую Ландау называл *теорфизическим подходом к жизни*. Такой подход оказал существенное воздействие на преподавание теоретической физики, обеспечив ему к тому же международное признание [6, с.209].

Помимо «Курса» Л.Д.Ландау написал вместе с А.С.Компанейцем для подготовки будущих физиков книгу «Электропроводность металлов» (1935), а также «Курс лекций по общей физике» (прочитанный им в Физико-техническом институте и изданный в 1949 г.). А совместно с Я.А.Смородинским он опубликовал «Лекции по теории атомного ядра» (1955), в свое время прочитанные Львом Давидовичем в Институте физических проблем АН СССР и в Институте атомной энергии АН СССР.

Позднее Л.Д.Ландау вместе с Е.М.Лифшицем подготовил «Краткий курс теоретической физики» (т.1 издан в 1969 г., т.2 — в 1972 г.), а с А.И.Ахиезером и Е.М.Лифшицем — курс «Механика и молекулярная физика» (этот курс Ландау читал в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова в 1948 г.). Впоследствии авторы учебных курсов для университетов и вузов с физико-математическим уклоном стремились следовать манере изложения физического материала, присущей учебникам Ландау.

Старшее поколение помнит, какое впечатление произвело появление книги Ландау и Румера «Что такое теория относительности?» (1959), переведенной на более чем 20 языков мира, а затем и написанных вместе с Китайгородским первых двух книг «Физика для всех» (1963): кн.1 — «Физические тела», кн.2 — «Молекулы». Оставшиеся две книги (кн.3 — «Электроны» и кн.4 — «Фотоны и ядра») были написаны уже одним Китайгородским. Но и в них, без всякого сомнения, изложение подчинено заветам Ландау.

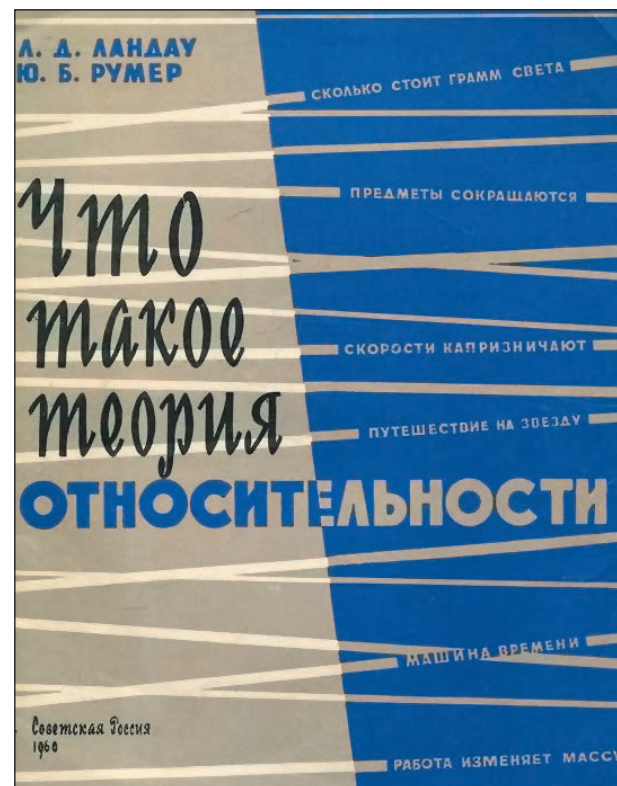
Содержание этих небольших и удобных для чтения книг несло в себе неповторимый стиль мышления Ландау и его соавторов, его представления о физической науке как таковой и требования к отбору материала, а также его подход к построению и языку изложения. В них определенно отра-



Первое издание курса теоретической физики.

жены взгляды Ландау на толкование тех или иных физических явлений, законов и теорий, на методологические и мировоззренческие представления о науке в целом.

Об этом убедительно свидетельствуют даже отдельные фрагменты собственно мировоззренческого характера из книги «Что такое теория отно-



Обложка книги Л.Д.Ландау и Ю.Б.Румера «Что такое теория относительности» (1960).



Золотая медаль имени Л.Д.Ландау. Присуждается РАН за выдающиеся результаты в области теоретической физики с 1993 г.

сительности», побуждающие задуматься над сложностями и одновременно выгодами объективного познания мира: *Истинная теория явления отличается от простого пересказывания известных фактов... тем, что из нее следует гораздо больше, нежели дают сами факты, на которых она основывается* [7, с.30].

Или еще отрывок, особенно полезный молодым людям с гуманитарным мышлением: *Ограничиваясь одними рассуждениями, мы уподобились бы древним философам, пытавшимся добывать законы природы из головы. При этом неизбежно возникает опасность, что построенный таким образом мир при всех своих достоинствах окажется весьма мало похожим на действительность. Верховным судьей всякой физической теории является опыт* [7, с.32].

Подчеркивая мировоззренческие особенности книг «Физика для всех», которые достаточно точно отражают собственные представления, замыслы и требования Ландау и Китайгородского к популяризации физической науки, Александр Исаакович посчитал важным заметить: *«Физика для всех» должна стать серией книг, с помощью которых лица самых разных профессий смогут получить представление о принципах физики* [8, кн.3, с.5]. Как пояснял Китайгородский принципы создания книг этой серии, конкретные факты... отобраны так, чтобы как можно более отчетливо проиллюстрировать содержание физических законов, продемонстрировать характерные для физики приемы рассмотрения явлений, дать представление о том, какими путями шло развитие физики, и, наконец, в самых общих чертах показать, что физика является фундаментом всего естествознания и техники [8, кн.3, с.5].

Была и вторая, малоизвестная широкой публике, составляющая деятельности Ландау — это воспитание молодежи и решение проблем школьного физического образования в целом. К сожалению, его участие в образовательной области не имело столь принятой в среде педагогов формы дидактической и методической деятельности. Возможно, этим и объясняется слабое знакомство учителей с высказываниями ученого об обучении и воспитании школьников.

Многолетнее служение Ландау на благо отечественного образования включало в себя, во-первых, чтение лекций по общей и теоретической физике; во-вторых, создание научной школы посредством сдачи его учениками теорминимума и участия в работе семинара по самым актуальным проблемам теоретической физики; в-третьих, подготовку учебных курсов — начиная с «Курса теоретической физики» и заканчивая популярными, известными в обществе XX в. пособиями.

Со временем стало очевидным, что выдающийся ученый мыслил и действовал на уровне серьезного и талантливого учителя-методиста, дидактика и воспитателя, причем прекрасно осознающего тонкости и сложности повседневного преподавания физики в школе и вузе и по мере своих сил и времени реализующего сформировавшиеся у него в итоге представления как о повседневном воспитании молодежи, так и подготовке необходимой учебной и популярной литературы.

У Ландау были продуманные, выверенные логикой и повседневной лекторской практикой принципы преподавания общей физики. В основном они сводились к тому, чтобы в самом учебном курсе излагались только основные законы, с глубоким раскрытием их физической сущности. Минимум фундаментальных знаний — как раз этим должен владеть будущий исследователь, тем более те молодые люди, которые в будущем будут далеки от науки.

По воспоминаниям, Ландау был замечательным лектором, с доходчивой логикой изложения. Виртуозно владевший нужным для физики математическим аппаратом, он считал, что научные истины могут и должны излагаться максимально просто. На лекциях следует демонстрировать истинность и простоту законов природы, а сложные вещи наглядно представлять простыми. При этом в материале самой лекции он заранее предвидел трудности в его объяснении.

Впрочем, педагогическая деятельность ученого отчасти оказала влияние и на школьное образование. Он интересовался школой, охотно выступал перед школьниками, откликался на их письма. И хотя это влияние не было непосредственным, оно было ценным. Через других авторов, пишущих для вузов, его воздействие со временем сказа-

лось и на подготовке школьных пособий, и на постановке школьного образования в целом.

У Ландау были весьма четкие взгляды на преподавание физики в средней школе. По его мнению, современная ему школьная система образования, вместо того чтобы научить учащегося мыслить и принимать самостоятельные решения, подчас перегружает его память сотнями и тысячами разрозненных фактов. Такая система отчасти притупляет способности учащегося, особенно если тот талантлив в анализе фактов и склонен к научному мышлению в целом.

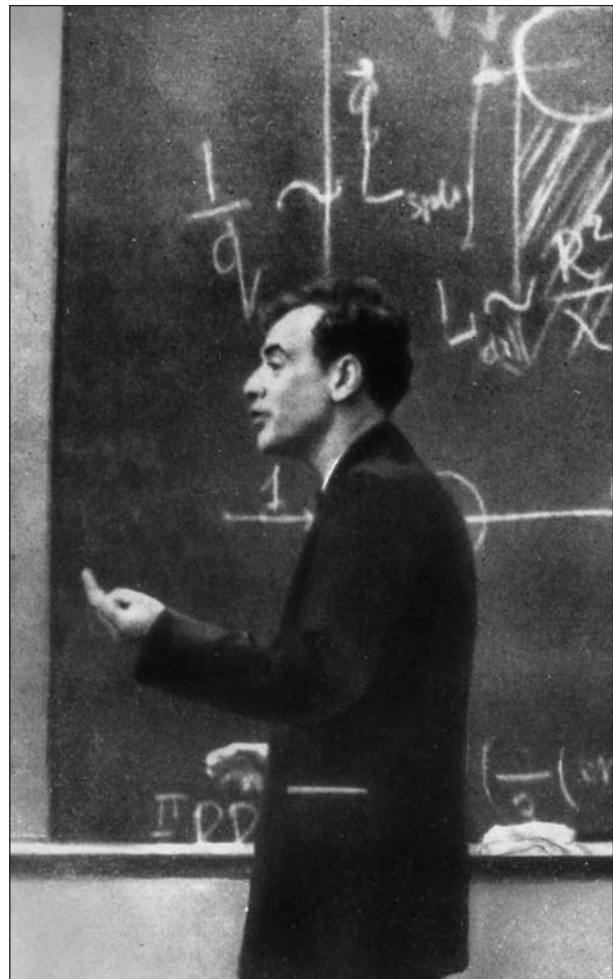
Он был убежден, что школьный курс физики должен быть современным, и подчеркивал, что *тесная связь актуальных проблем физики с ее классическими понятиями, их взаимная обусловленность и неизбежные противоречия, выводящие за рамки классических понятий, — все это составляет сущность современного подхода к изучению физики* [8, кн.1, с.3]. По воспоминаниям Ахиезера, у Ландау была... *мысль о написании школьного учебника по физике* [9, с.67].

К сожалению, Льву Давидовичу не удалось внести свой вклад в решение этой важнейшей для школьного образования задачи. И тем не менее, после случившейся с ним трагической автокатастрофы он, придя в себя, говорил как о задуманном и еще не выполненном: *Вот выздоровлю и займусь школьной программой по физике — все надо переделать* [9, с.257]. Увы, не получилось, но живы его выводы, полезные школе.

Изучение физики — эффективное и универсальное средство развития и воспитания личности. Учащиеся убеждаются в том, что знание, основанное на опыте, объективно, и это радикально отличает его от иных видов знаний. Поэтому изучение материала должно начинаться с наблюдений и опытов с целью выявления сущности явлений. Полученные представления должны получить математическое обоснование.

Вместе с тем в последней статье для печати (вышедшей до 1961 г.) Ландау писал: *Научно-популярная литература... попросту необходима. <...> [Она] должна быть интересной, как вообще всякая литература, и достаточно строгой в научном отношении. Здесь важно рассказывать не только о том, что открыто, но и о том, как пришло открытие, показать процесс научного творчества* [10, с.452].

В размышлениях о молодежи он не раз высказывался о ценностях образования: *Жизнь человека слишком коротка, чтобы браться за безнадежные проблемы... чем больше научного сора будет засорять твою голову, тем меньше останется места для великих мыслей. <...> Современная физика — сложная и трудная наука, и для того, чтобы сделать в ней что-нибудь, нужно знать очень многое* [9, с.204, 309].



Л.Д.Ландау на семинаре.

А.С.Компанеев, один из его учеников, первым в 1933 г. сдавший Л.Д.Ландау теорминимум, так оценивал его особенность воспитателя молодежи: *Можно сказать, что Льву Давидовичу удалось осуществить все, что составляет идеал педагога, кроме одного: ни один ученик не превзошел своего учителя* [9, с.167]. Хорошо ли это или не очень, нам сегодня судить трудно.

Опыт научной и просветительской деятельности Ландау весьма полезен нынешним ученым и преподавателям, ибо от каждого из них зависит мера соответствия образования запросам времени, возвращение российскому обществу угасшего интереса к научному знанию и мышлению.

Китайгородский: Мне необходимо чувствовать, что я живу!

Сын известного инженера, специалиста по силикатам и стеклу И.И.Китайгородского (лауреата двух Сталинских и Ленинской премий, заслуженного деятеля науки и техники), занялся физикой, ее популяризацией, никоим образом не забывая при этом об удовольствиях собственного бытия.

Окончив не без помощи С.И.Вавилова физический факультет Московского государственного университета, Александр Исаакович до 1941 г. руководил рентгеноструктурной лабораторией Всесоюзного института экспериментальной медицины. Одновременно в 1936–1937 гг. он был доцентом Московского института народного хозяйства имени Г.В.Плеханова, а в 1938–1940 гг. читал курс теоретической физики в Московском государственном педагогическом институте имени А.С.Бубнова*.

* Московские высшие женские курсы (существовали с 1872 по 1918 г. с перерывом в 1888–1900 гг.) в 1918 г. по решению Народного комиссариата просвещения были преобразованы во 2-й Московский государственный университет в составе трех факультетов (историко-филологического, физико-математического и медицинского), в 1921 г. был организован педагогический факультет. В 1930 г. на основе 2-го Московского университета было создано три самостоятельных института: 2-й Московский государственный медицинский институт, Московский государственный институт тонкой химической технологии и Московский государственный педагогический институт. До 1941 г. педагогический институт носил имя А.С.Бубнова, а с 1941 по 1990 г. — имя В.И.Ленина. 1 августа 1990 г. институт был преобразован в университет.



А.И.Китайгородский. 1970-е годы.

В 25 лет Китайгородский защитил кандидатскую диссертацию об определении структуры двух аминокислот. Предложив в 1945 г. принцип плотной упаковки молекулярных кристаллов, по которому *структуру органического кристалла возможно представить плотной упаковкой (выступ к впадине) молекул, окаймленных межмолекулярными радиусами* [5, с.10], он в 1946 г. защитил докторскую диссертацию, с 1947 г. он профессор.

В годы войны Китайгородский руководил кафедрой в филиале Московского нефтяного института. Он также читал физику в Башкирском медицинском институте, заведовал кафедрой физики, работал начальником отдела оборонного предприятия. В Москве же по приглашению А.Н.Несмеянова (академика, а затем президента АН СССР) — директора Института органической химии АН СССР — он с 1944 г. вел рентгеноструктурные исследования. В 1967 г. за эти работы ученый был удостоен премии имени Е.С.Федорова. О времени исследования кристаллов рентгеновскими лучами он в 1952 г. написал: *Исключительно большие успехи теории и методики рентгеноструктурного анализа, сделанные за последние несколько лет, а также ряд структурных исследований весьма сложных химических соединений, проведенный с предельной тщательностью и достоверностью, позволяют высказать определенное мнение о возможностях рентгеновского структурного анализа* [11, с.66].

В 1954–1985 гг. Китайгородский заведовал лабораторией рентгеноструктурного анализа под началом того же Несмеянова, но уже в Институте элементоорганических соединений АН СССР. Здесь он воспитал талантливого ученика Ю.Т.Стручкова (позднее ставшего членом-корреспондентом АН СССР), соавтора книги «Органическая кристаллохимия» (1955). В ней Китайгородский, как физик, окончательно устранил все неясности теории рентгеноструктурного анализа.

В этой монографии Китайгородский с помощью разработанной им теории плотной упаковки частиц в кристалле объяснил все известные на тот момент структуры органических кристаллов. Он исходил из работ Е.С.Федорова, Б.П.Орелкина**, Н.В.Белова и других ученых и опирался на опытные исследования своей лаборатории. Дал теоретический анализ кристаллов с точки зрения физики и геометрии. *Для меня проблема становится понятной, если может быть сведена к геометрии* [3, с.569], — так он охарактеризовал свой подход.

Выявленные им структуры аминокислот были первыми биоорганическими структурами, изучен-

** Профессору Борису Петровичу Орелкину (1884–1931), ученику Е.С.Федорова, принадлежат первые попытки (1914) применения идеи плотной упаковки молекул в кристаллах органических соединений.

ными методами рентгеновской кристаллографии. Позднее интерес ученого к биологическим объектам пополнялся свежими идеями: пачечной теорией* строения полимеров (совместно с В.А.Каргиным и Г.Л.Слонимским), представлением о том, что объяснить скручивание биомолекул, в частности ДНК-спиралей, можно с помощью теории плотной упаковки, и методом атом-атом-потенциалов, созданным им уже в 1960-х годах.

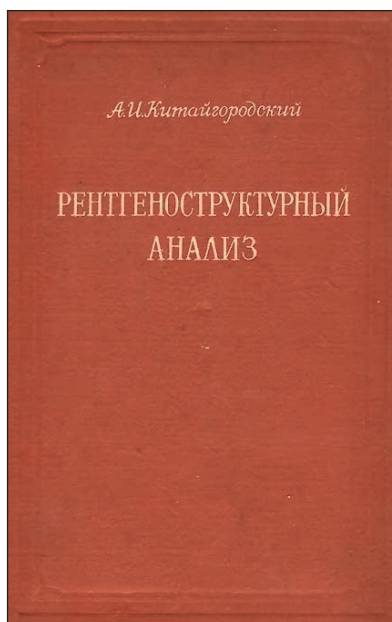
На основе математического предсказания молекулярной структуры и свойств некоторых кристаллов Китайгородский разработал метод, позволивший рассчитать энергию решетки молекулярных кристаллов с помощью атом-атом-потенциалов. Вначале этот метод был встречен теоретиками с недоверием, но со временем он доказал свою плодотворность в науке о строении и практических свойствах новых материалов.

Подводя итоги, Китайгородский в 1979 г. отметил, что *принцип плотной упаковки молекул можно рассматривать как закономерное стремление молекул занять положение, соответствующее минимуму энергии. Если упаковывать в кристаллы жесткие молекулы, то все контакты будут равны сумме межмолекулярных радиусов. Так будет обстоять дело, если мы предположим, что атомы молекул взаимодействуют по закону прямоугольного атом-атом-потенциала* [12, с.402].

В 1956–1959 гг. проводимые в институте семинары А.И.Китайгородского и И.В.Обреимова (академика с 1958 г.) были ареной соревнования этих ученых по молекулярно-кристаллическому строению вещества. По характеру дискуссий и диалогам семинар Китайгородского соответствовал запросам того времени. На нем же он защищал парадоксальную для своих современников точку зрения, что органическая химия открывает им благодатное поле деятельности.

Впрочем, *он всегда был полон новых идей, подкрепленных его огромной работоспособностью... любил делать вид, что все задумки даются ему очень легко и просто, что он над ними практически не работает, а занят тем, что читает популярные лекции, пишет книги, ездит на междуна-*

* В основе пачечной теории лежит представление, что макромолекулы полимера группируются в пачки, в каждой из которых существует своего рода упорядоченность в расположении макромолекул и их звеньев.



Обложка книги Китайгородского «Рентгеноструктурный анализ».

родные конгрессы и т.п., но на самом деле это был великий труженик, работавший неустанно и с большим увлечением, подавая заразительный пример своим ученикам [3, с.559].

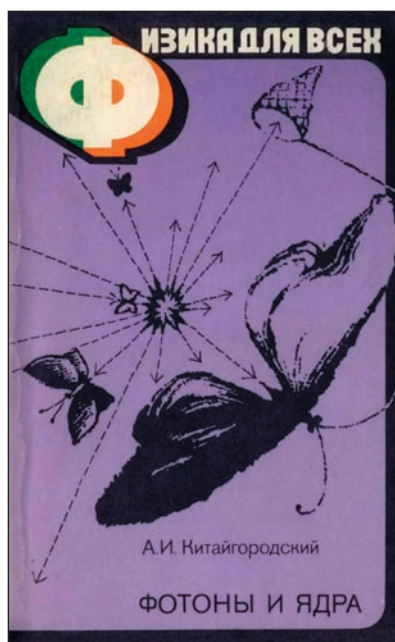
На основе исследований Китайгородский написал книги: «Рентгеноструктурный анализ» (1950), «Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел» (1952), монографию «Теория рентгеноструктурного анализа» (1957), переведенную и изданную в США, Великобритании и других странах (и вскользь упомянутую в «Физической энциклопедии»). Большим успехом пользовалась его книга «Введение в физику» (1959), а также разного рода справочники и указатели по структурным исследованиям.

При работе над своей теорией он задумался над возможностями применения магнитного резонанса — избирательного поглощения веществом электромагнитных волн заданной частоты. Он обратился к новому направлению органической кристаллохимии — радиоспектроскопии твердого тела, пробовал исследовать органические кристаллы методами ядерного квадрупольного и ядерного магнитного резонансов**. Успехи ученого в этой области были очевидны.

Но время шло, входили в силу новые законодатели советской научной моды — ровесники его детей, относившиеся к нему как к стареющему чудаку, не понимающему простых правил и способов достижения «истинных» жизненных успехов. Вокруг него складывалось мнение: *человек, конечно, талантливый, но — несерьезный. Годится, мол, для лекций в Политехническом музее* [3, с.572]. Это обижало ученого, а главное — перекрывало путь к званиям, соответствующим его заслугам перед наукой.

С 1958 г. Китайгородский был также профессором Коломенского педагогического института.

** Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) — избирательное поглощение электромагнитной энергии веществом, обусловленное ядерным парамагнетизмом. Ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР) — резонансное поглощение радиоволн, обусловленное квантовыми переходами ядер между энергетическими состояниями с различной ориентацией электрического квадрупольного момента ядра в связи с наличием градиентов электрического поля в кристаллах. В отличие от ЯМР, чистый ЯКР может наблюдаться и в отсутствие внешнего магнитного поля. Используется для определения квадрупольных моментов ядер, симметрии и структуры кристаллов.



Обложки книг Ландау и Китайгородского «Физика для всех».

К тому времени он — уже состоявшийся крупный физик-кристаллограф, глубоко видевший эту область науки и умевший предвидеть ее будущее. Его трудам обязано и развитие органической кристаллохимии, достижения которой отражены в книге «Органическая кристаллохимия» (1955), а также в монографии «Молекулярные кристаллы» (1971), посвященной памяти Л.Д.Ландау.

Подводя итоги своим работам, Китайгородский публиковался в солидных научных журналах («Доклады АН СССР», «Журнал экспериментальной и теоретической физики», «Физика твердого тела», «Журнал физической химии» и др.). Показательную широту его творчества отражают 35 его

статей в «Успехах физических наук» (1938–1979). Здесь мы обнаружим и целый ряд рецензий на проведенные за рубежом опыты по своей тематике и на учебники отечественных авторов.

В целом же параллельно с занятиями наукой Китайгородский на протяжении 40 лет написал — один или с соавторами (Г.С.Ждановым, Я.С.Уманским, М.А.Порай-Кошицем) — 16 учебных книг, пособий и монографий, 14 брошюр (часть их в соавторстве с учениками В.А.Мезенцевым, Ю.В.Мнухом и Э.И.Фединым) и 20 популярных книг, в том числе «Физику для всех». По существу, все эти издания рассказывают о нем больше как о просветителе и воспитателе, чем как о чистом ученом.

Его научно-популярные книги пользовались большим спросом. Упомяну основные: «Строение вещества и его энергия» (1955 и 1957), «Физика — моя профессия» (1965, на английском языке — 1971), «Физика для всех» в одном томе (1965) и в виде четырех книг (переизданы в 1973–1987 гг. на 13 языках: английском, французском, немецком и др.), «Невероятно — не факт» (1972; в 1983 — на финском языке) и, наконец, «Реникса» (1967 и 1973).

Что касается последующей судьбы «Физики для всех» в отечественном просвещении, то Китайгородский в предисловии к ее 4-му изданию справедливо заметил: *Оказалось, что никто не рассматривает «Физику для всех» как книгу учебную. К ней относятся как к книге научно-популярной, расширяющей школьные знания, останавливающей зачастую внимание на том, что по тем или иным причинам не включается в программы* [8, с.3]. Таким образом, после смерти Ландау книга окончательно вошла в ряд популярных.

О профессии исследователя ученый рассказал в книге «Физика — моя профессия». В ней автор — пишет Китайгородский о себе — *поставил перед собой цель рассказать, в чем состоит профессия физика, показать поистине безграничные возможности этой науки и ее применение чуть ли не во всех областях человеческой жизни. Конечно,*

физика как профессия сегодня не нуждается в рекламе [4, с.173]. Для науки 1960-е годы были золотым временем развития и расцвета.

В книге автор познакомил читателя с целями естествознания; раскрыл пользу науки для каждого из нас и диалектику единства и свободы, определяющую ход исследований. Уделил внимание целесообразности занятий наукой и пониманию того, что значит объяснить явление, как осознать на практике действенность физического мышления и его роль в других науках. И наконец, как определиться, чем заняться на практике: стать теоретиком или экспериментатором либо заняться наладкой аппаратуры.

В ней было изложено и кредо ученого с его убежденностью в ценности этой профессии для каждой личности: *Если вы посвятите себя науке, то перед вами предстанет жизнь, заполненная радостями и унынием, надеждами и разочарованиями! С моей точки зрения, нет лучшего существования, и если слово «счастье» имеет смысл, то это оно и есть* [4, с.59]. В целом же сама книга была написана для того, чтобы показать роль и место физики в современной культуре [4, с.174].

Обращает Китайгородский внимание и на любознательность будущего ученого, и на то, что он должен любить оставаться наедине, может быть, с книгой, может быть, с испорченным радиоприемником. Вот как он написал об этом: *Желание получить ответ на возникший вопрос должно быть упорным и непреходящим; родители не смогли ответить — есть посторонние; никто толком не объяснил — поищу в книгах; книг не оказалось под боком — попытаюсь сам додумать, проверить, испытать* [4, с.51–52].

Одним из важных условий воспитания будущих ученых Китайгородский считал само качество обучения в школе и вузе: *Плохой и равнодушный к науке лектор может оттолкнуть студента от научной карьеры. Напротив, вдохновенное преподавание, интенсивная научная работа, ведущаяся в вузе, помогают раскрытию врожденных научных склонностей студента, прививают любовь к науке* [4, с.53]. Его собственный опыт преподавания подтверждал это многократно.

Ученый встречался и с учащимися школ: *Мне приходилось по просьбе Министерства просвещения присутствовать на экзаменах школьников по*



Обложка научно-популярной книги Китайгородского «Реникса».

физике. И он был удовлетворен, когда кто-либо из учеников был близок к пониманию, что физическая схема объяснения явления заключается в сведении частного к общему, в логическом показе, что данное явление есть частный случай общего закона природы. А общий закон природы — это сегодняшшний потолок объяснения [4, с.81].

В то же время Китайгородский в своей известной книге «Реникса» настоятельно подчеркивал, что молодой человек, будучи лишенным понимания предмета науки... не в состоянии поставить барьер между истиной и чепухой [14, с.310]. Впрочем, и Ландау по поводу разного рода антинаучных и мистических верований неоднократно отмечал, что само суеверие интеллигента в тысячу раз более отвратительно, чем суеверие невежественной бабки [9, с.201].

16 июня 1985 г. в возрасте 71 года Китайгородский скончался в Коломне, был похоронен в Москве на Новодевичьем кладбище, рядом с могилой отца. Оставил после себя работы по рентгеноструктурному анализу (в Физическом энциклопедическом словаре они лишь упоминаются*) и образцовые книги по популяризации науки. Дело популяризации физики развили В.С.Барашенков, Я.Б.Зельдович, А.Б.Мигдал, И.Д.Новиков, Л.И.Пономарев, А.Д.Чернин, Ю.А.Данилов и др.

Краткий анализ деятельности ученого на примере жизни двух физиков свидетельствует о необходимости гармоничного сочетания в своем творчестве как плодотворных научных исследований, так и работы на благо популяризации науки, обучения в школе и вузе. Без этого научное просвещение современного общества и государства не может существовать.

Книги Ландау и Китайгородского существенно пополнили литературу для широкого круга читателей и способствовали популяризации физики в не меньшей степени, чем научно-популярные книги, написанные зарубежными классиками науки, в том числе лауреатами Нобелевской премии по физике (А.Эйнштейном, Л.де Бройлем, Р.Фейнманом, Ю.Вигнером, Л.Купером, Ш.Л.Глэ-

* Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М.Прохоров. М., 1983. С.327, 435, 642.

шоу, С.Вайнбергом, Й.Намбу, К.Торном, Ф.Вильчеком и др.).

Эйнштейн еще в 1948 г. подчеркнул важность мысли о значимости научной культуры у человеческого общества: *Сужение круга людей, которым доступно знание, до небольшой группы посвященных означало бы умерщвление философского духа народа и наступление духовной нищеты* [14, с.258].

Согласно известному образу, созданному американским фантастом Р.Брэдбери, раздавив всего лишь бабочку, можно основательно изменить мир и бытие в нем. Не забыть бы об этом и тем, кто намерен спасти науку в стране, придать импульс ее развитию через должное финансирование, качественное образование и культуру российского общества. ■

Литература / References

1. Президент Академии наук СССР академик С.И.Вавилов. Задачи и цели Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний. Вестник АН СССР. 1947; (8): 3–11. [Prezident of Scientific Academy SSSR academician S.I.Vavilov. Tasks and aims of All-Union society by dissemination of political and scientific knowledges. Vestnik AN SSSR. 1947; (8): 3–11. (In Russ.).]
2. Щербаков Р.Н. Заметки о научной культуре российского общества. Вестник РАН. 2012; (12): 1101–1107. [Shcherbakov R.N. Observe about scientific culture of Russian society. Vestnik RAN. 2012; (12): 1101–1107. (In Russ.).]
3. Федин Э.И. Мой учитель А.И.Китайгородский. Научное сообщество физиков СССР. 1950–1960-е и другие годы: документы, воспоминания, исследования. Вып.2. СПб., 2007; 553–573. [Fedin E.I. My teacher A.I.Kitaigorodsky. Scientific co-society of USSR physicists. 1950–1960 and other years: documents, remembers, investigations. Is.2. Saint-Petersburg, 2007; 553–573. (In Russ.).]
4. Китайгородский А.И. Физика — моя профессия. М., 1965. [Kitaigorodsky A.I. Physics — my profession. Moscow, 1965 (In Russ.).]
5. Китайгородский А.И. Молекулярные кристаллы. М., 1971. [Kitaigorodsky A.I. Molecular crystals. Moscow, 1971. (In Russ.).]
6. Щербаков Р.Н. Великие физики как педагоги: от научных исследований — к просвещению общества. М., 2008. [Shcherbakov R.N. Great physicists as teachers: from scientific investigations — to education of society. Moscow, 2008. (In Russ.).]
7. Ландау Л.Д., Румер Ю.Б. Что такое теория относительности. М., 1975. [Landau L.D., Rumer U.B. What is theory of relativity. Moscow, 1975. (In Russ.).]
8. Ландау Л.Д., Китайгородский А.И. Физика для всех. М., 1978. [Landau L.D., Kitaigorodsky A.I. Physics for all. Moscow, 1978. (In Russ.).]
9. Воспоминания о Л.Д.Ландау. М., 1988. [Memoirs about L.D.Landau. Moscow, 1988. (In Russ.).]
10. Горелик Г.Е. Светская жизнь Льва Ландау. М., 2008. [Gorelik G.E. Secular life of Lev Landau. Moscow, 2008. (In Russ.).]
11. Китайгородский А.И. Успехи рентгеноструктурного анализа кристаллов. Успехи физических наук. 1952. 46(1): 23–70. [Kitaigorodsky A.I. Success of Rentgenstructure analisis of crystals. Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences). 1952; 46(1): 23–70. (In Russ.).]
12. Китайгородский А.И. Невалентные взаимодействия атомов в органических кристаллах и молекулах. Успехи физических наук. 1979; 127(3): 391–419. [Kitaigorodsky A.I. Nonvalent interactions of atoms in organic crystals and molecules. Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences). 1979; 127(3): 391–419. (In Russ.).]
13. Китайгородский А.И. Реникса. М., 1967. [Kitaigorodsky A.I. Reniksa. Moscow, 1967. (In Russ.).]
14. Эйнштейн А. Собрание научных трудов: Т.4. М., 1967. [Einstein A. Collection of scientific works: V.4. Moscow, 1967. (In Russ.).]

L.D.Landau and A.I.Kitaigorodsky as Educators and Science Communicators

R.N.Shcherbakov
Tallinn, Estonia

Two of the incomparable according to their contribution to physical science Soviet scientists once united in aspiration to write a popular science book “Physics for Everyone”. This book promoted general concept of modern science and encouraged the desire to study it, therefore this book became very popular not only in Soviet Union, but also worldwide.

Keywords: L.D.Landau, A.I.Kitaigorodsky, promoting of scientific knowledge, physics study in universities and schools.

Новости

Эпидемиология

Клещевые инфекции

Иксодовые клещи (Ixodida) — самая многочисленная (более 650 видов) группа клещей, которые распространены во всем мире (встречаются даже в Арктике и Антарктике). Эти кровососущие паразиты могут переносить по меньшей мере 20 различных болезнетворных вирусов и бактерий, которые вызывают у человека инфекционные заболевания (иксидозы), протекающие как в легкой форме (проходят без лечения), так и тяжелой (приводят к инвалидности или даже смерти). По данным Европейского центра профилактики и контроля заболеваний (European Center for Disease Prevention and Control, ECDC), в Европе ежегодно регистрируется от 5 тыс. до 12 тыс. случаев клещевого энцефалита (КЭ), при этом штамм вируса КЭ в России вызывает более тяжелое течение болезни, чем штамм в Центральной Европе. В зоне повышенного риска заражения КЭ также находятся Австрия, Словения, Словакия, Венгрия, Чешская Республика, страны Балтии, южные части Германии и Швеции. Географическое распределение зараженных клещей постоянно меняется, поэтому многие страны предоставляют информацию о риске клещевых заболеваний в пределах своих границ, ознакомиться с которой можно на сайте ECDC*.

* В настоящее время на сайте ECDC (www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/tick-maps) представлены карты распределения иксодовых клещей *Dermacentor*, *Haemaphysalis*, *Hyalomma*, *Ixodes*, *Rhipicephalus*, *Ornithodoros* — переносчиков возбудителей КЭ, боррелиоза (болезни Лайма), моноцитарного эрлихиоза, гранулоцитарного анаплазмоза, геморрагической лихорадки Крым-Конго, туляриемии и др.

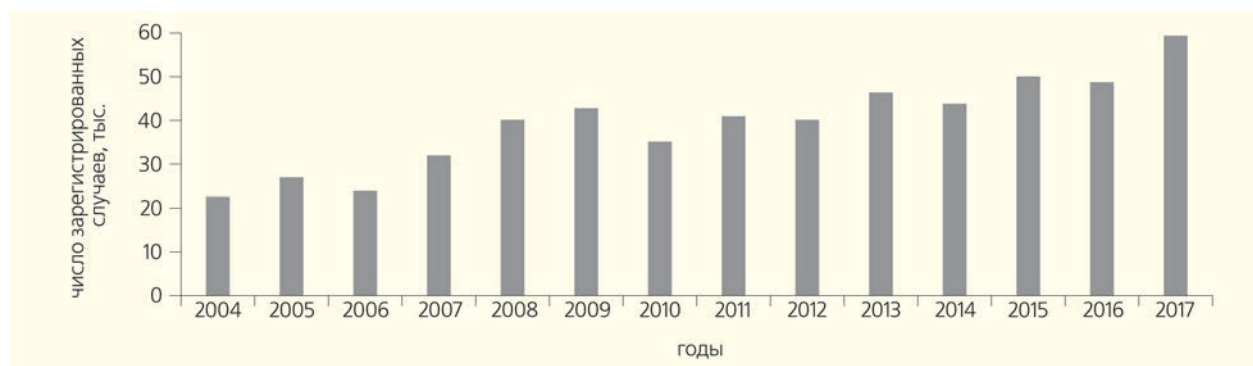
Специалисты обеспокоены ростом заболеваемости, который, очевидно, будет продолжаться, так как клещи осваивают новые территории и поступают сообщения о новых возбудителях заболеваний, связанных с клещами. Так, в США, по данным Центров по контролю и профилактике заболеваний (Centers for Disease Control and Prevention, CDC), в 2016 г. было зарегистрировано 48 610, а в 2017-м — 59 349 случаев клещевых инфекций, из них 82% приходится на болезнь Лайма, при этом эксперты CDC считают, что болезнь Лайма недооценена и что истинная заболеваемость, вероятно, в 10 раз выше**.

В начале октября текущего года на сайте Национальных институтов здравоохранения США (National Institutes of Health, NIH) опубликован Стратегический план по исследованию клещевых инфекций. Основан он на рекомендациях рабочей группы по борьбе с клещевыми инфекциями, представленных в 2018 г. конгрессу Министерства здравоохранения и социальных служб США (U.S. Department of Health and Human Services, HHS)***. Стратегический план направлен на развитие новых и существующих инициатив по исследованию клещевых инфекций, а также по разработке инструментов и стратегий для их диагностики, профилактики и лечения.

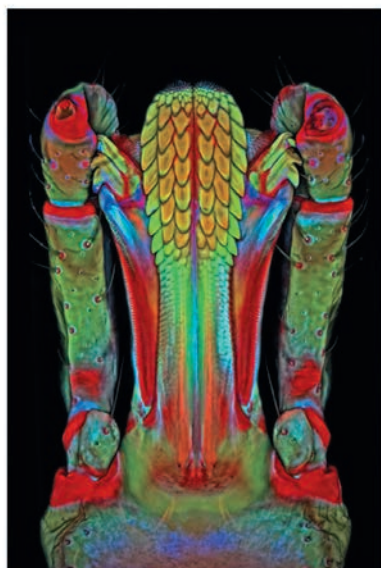
В ближайшие пять лет изучение клещевых инфекций будет вестись по пяти приоритетным направлениям. Во-первых, проведение фундаментальных исследований биологии патогенов (как они передаются, уклоняются от иммунной систе-

** www.cdc.gov/ticks/data-summary/index.html

*** www.hhs.gov/ash/advisory-committees/tickbornedisease/reports/index.html



Рост заболеваемости клещевыми инфекциями в США. Представлены данные рабочей группы по борьбе с клещевыми инфекциями CDC (www.cdc.gov/ticks/diseases/index.html).

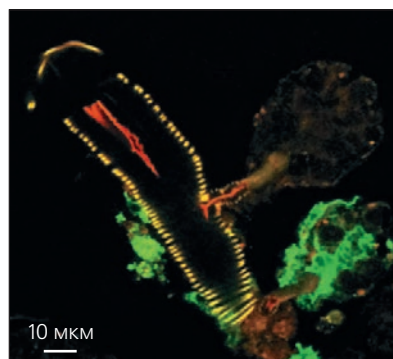


Title Figure. Mouth parts of a tick. The center of the mouth (yellow) is covered in tiny barbs that help keep the tick lodged on the host while feeding. Image credit: Igor Siwanowicz, Janelia Farm Research Campus, Howard Hughes Medical Institute, Ashburn, VA. This image is subject to the [creative commons license](#).

PREPARED BY THE NIH TICKBORNE
DISEASES STRATEGIC PLANNING TEAM

NIH STRATEGIC PLAN FOR TICKBORNE DISEASE RESEARCH

October 9, 2019



Титульная страница Стратегического плана по исследованию клещевых инфекций. Слева изображен ротовой аппарат иксодового клеща *Amblyomma americanum*, распространенного на Атлантическом побережье США. Крошечные зубцы (выделены желтым цветом в центре микрофотографии) помогают клещу удерживаться на коже хозяина (например, белохвостого оленя или человека). Справа — клещ *A. americanum* и его слюнная железа. Клещи этого вида — переносчики таких опасных заболеваний человека, как боррелиоз, риккетсиоз, туляремия и эрлихиоз. Слюна клеща, попадая в кровь человека при укусе, содержит нейротоксины, способные вызвать клещевой паралич. А недавно описаны случаи, когда у людей после нападения *A. americanum* развилась аллергия на красное мясо, известная как «синдром альфа-гал». DOI:10.1016/j.jaci.2011.02.019.

мы и распространяются в организме). Кроме того, необходимо будет выяснить причины возникновения симптомов у некоторых людей, страдающих такими клещевыми заболеваниями, как боррелиоз, и исследовать факторы, влияющие на возникновение и тяжесть заболеваний.

Во-вторых, в задачи плана входит улучшение диагностики клещевых инфекций, т.е. разработка тестов, с помощью которых можно будет оперативно выявлять патоген как на ранней, так и на поздней стадиях инфекции, а также отличать старые штаммы возбудителей от новых.

В-третьих, НИH поддержит развитие диагностических методов, способных прогнозировать успешность лечения, определять биомаркеры инфекции и стойких симптомов у человека. Сюда же входит ускорение исследований, направленных на профилактику клещевых инфекций, создание вакцин и методов иммунотерапии, а также стратегий по снижению передачи клещевых патогенов животным, которые могут быть их хозяевами.

В-четвертых, план направлен на разработку новых методов лечения клещевых заболеваний и их осложнений.

Пятый пункт приоритетных исследований направлен на разработку инструментов и ресурсов для изучения болезней, вызываемых иксодовыми клещами. Предполагается облегчить доступ ученых к биологическим образцам и генетическим базам данных клещей, а также обеспечить поддержку доклинических исследований перспективных разработок.

НИH, будучи структурой HHS и основным федеральным агентством, которое проводит и поддерживает исследования фундаментальной и клинической медицины, намеревается расширить сотрудничество между своими 27 институтами и центрами для развития междисциплинарных подходов к изучению клещевых инфекций.

Strategic Plan for Tickborne Disease Research. 2019.

Available at: www.niaid.nih.gov/sites/default/files/NIH-Strategic-Plan-Tickborne-Disease-Research-2019.pdf

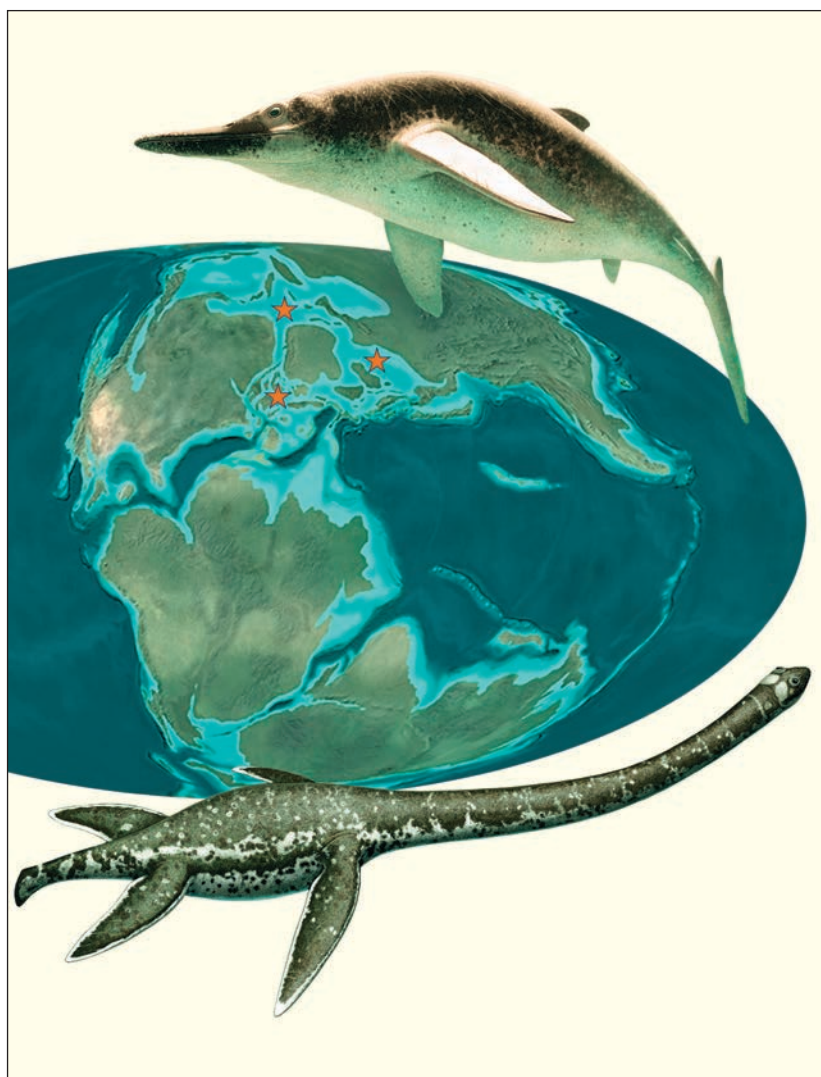
О миграциях морских мезозойских рептилий

История изучения мезозойских морских рептилий насчитывает почти 200 лет. Долгое время палеонтологи считали этих ящеров примитивными животными, и лишь совсем недавно представления об их физиологии изменились коренным образом. Проведенные в последние несколько лет исследования показали, что эти пресмыкающиеся были теплокровными, населяли воды высоких палеоширот и, предположительно, совершали миграции, распространяясь по всему земному шару.

Некоторые зарубежные исследователи предпочитают рассматривать одновозрастные комплексы морских рептилий из разных регионов независимо, не проводя при этом их сравнения. Поэтому в научной литературе весьма широко распространено мнение, что в бассейнах Европы (включая Среднерусское море, покрывавшее европейскую часть России в юрское и меловое время) и в Арктике обитали разные морские рептилии, преимущественно эндемичные для своих акваторий, а сходные элементы в составе комплексов — это скорее исключение, чем правило. Однако достигнутый в последние годы прогресс в изучении морских рептилий мезозоя в России позволяет усомниться в подобных взглядах.

Новые находки из Поволжья и Арктики, пересмотр исторических коллекций в музеях России вместе с ревизией ископаемых остатков морских рептилий, хранящихся в музеях Англии и Норвегии, позволили отечественным палеонтологам доказать, что целый ряд «уникальных» таксонов морских рептилий из России и Арктики — это на самом деле очень близкие формы. При этом некоторые из них были описаны еще в прошлом и позапрошлом веках из одновозрастных отложений Англии. Предполагаемые «различия» связаны с недостаточной изученностью, что затрудняло детальные сравнения.

Так, по результатам ревизии ископаемого материала, опубликованным в начале 2019 г., ихтиозав-



Плеззиозавр подсемейства Colymbosaurinae, ихтиозавр Arthropterygius и палеогеографическая реконструкция планеты в позднеюрскую эпоху. Оранжевыми звездочками отмечены находки колимбозавров и артроптеригиев. Рисунок А.А.Атучина, дизайн Н.Г.Зверькова.

ра *Cryopterygius kristiansenae* из Шпицбергена следует рассматривать как младший субъективный синоним *Undorosaurus gorodischensis* из Ульяновского Поволжья*. Многочисленные остатки ундорозавров в Поволжье и Норвегии подчеркивают связь Среднерусского моря и бассейнов Арктики в конце юры. Еще больший интерес представляют результаты ревизии ихтиозавров рода *Arthropterygius***, изначально описанного из Арктической Канады,

* Zverkov N.G., Efimov V.M. Revision of Undorosaurus Efimov, 1999b, a mysterious Late Jurassic ichthyosaur of the Boreal Realm. Journal of Systematic Palaeontology. 2019; 17(14): 963–993. DOI:10.1080/14772019.2018.1515793.

** Zverkov N.G., Prilepskaya N.E. A prevalence of Arthropterygius (Ichthyosauria: Ophthalmosauridae) in the Late Jurassic–earliest Cretaceous of the Boreal Realm. PeerJ (Journal of Life and Environmental Sciences). 2019; 7: e6799. DOI:10.7717/peerj.6799.

находки же ископаемых остатков его представителей считались редкими. Российскими исследователями было показано, что роды *Palvennia*, *Janusaurus* и *Keilhauia*, найденные на Шпицбергене, следует считать младшими субъективными синонимами рода *Arthropterigius*. В составе данного рода описано четыре вида, ископаемые остатки трех из которых встречаются как в Арктике, так и в Европейской России, что (наряду с находками представителей рода в Аргентине) делает его ареал самым широким среди областей распространения всех известных ихтиозавров в позднеюрское и раннемеловое время.

Недавно российские ученые тщательно исследовали остатки позднеюрских плезиозавров, в том числе переизучили и исторические находки, сделанные еще в XIX в. В результате ревизии было достоверно установлено, что кроме короткошеих плезиозавров рода *Pliosaurus* в Среднерусском море обитали также длинношеие плезиозавры подсемейства *Colymbosaurinae* (главным образом представители рода *Colymbosaurus*)*. Ранее неоспоримые остатки колимбозавров были описаны лишь из Англии и Норвегии (архипелаг Шпицберген). В других регионах кости этих ящеров пока не встречены. Это позволяет предположить, что колимбозавры были уникальным элементом фауны морей Западной Европы, Арктики и Среднерусского моря-пролива, а данные бассейны были тесно связаны в конце юрского периода. Полученные новые материалы по колимбозаврам позволяют дополнить картину географического распределения морских рептилий в течение поздней юры и показать, что распространение большинства родов позднеюрских ихтиозавров и плезиозавров не ограничивалось одним палеобассейном.

© Н.Г.Зверьков

Геологический институт РАН (Москва, Россия)
кандидат геолого-минералогических наук

М.С.Архангельский

Саратовский государственный университет
имени Н.Г.Чернышевского (Саратов, Россия)

Физиология. Генетика

Мутация, позволяющая спать меньше

Сон очень важен для нашей жизни и самочувствия. Многие болезни связаны с недосыпом и/или низким качеством сна. Однако, несмотря на то что мы проводим во сне практически треть нашей жизни,

мы все еще очень мало знаем о механизмах, определяющих его продолжительность. В 2009 г. ученые обнаружили, что мутация в гене *DEC2* позволяет людям в течение всей жизни спать и высыпаться всего за 6 ч в сутки, а не за восемь, необходимые обычным людям. Таким образом, было показано, что естественная короткая продолжительность сна, по крайней мере в некоторых случаях, объясняется генетически**. Однако мутация в гене *DEC2* встречается крайне редко. И вот 10 лет спустя ученые из Калифорнийского университета в Сан-Франциско (США) обнаружили семью, члены трех поколений которой спали по 4–6 ч в сутки и не страдали от каких-либо неблагоприятных последствий такого короткого сна. В геноме этой семьи обнаружили редкую однобуквенную мутацию в гене $\beta 1$ -адренорецептора (*ADRB1*), работающего в норадренергических нейронах.

Важная роль норадренергической системы в регуляции сна описана довольно подробно. Однако о функциях β -адренорецепторов известно гораздо меньше, чем о функциях α -адренорецепторов. Обычно β -блокаторы применяются при трудностях с засыпанием, так как они вызывают снижение продукции мелатонина. Замена цитозина на гуанин в ДНК вызывала замещение аланина на валин в молекуле белка-рецептора. Повышенная экспрессия гена $\beta 1$ -адренорецептора была обнаружена в дорсальной части моста головного мозга. Нейроны с мутантным белком оказались активными во время бодрствования и фазы быстрого сна. Такая структура нейронов мозга способствует возбуждению нейронов, облегчает пробуждение и приводит к повышенной активности организма в целом. Манипуляции с активностью таких *ADRB1*⁺-нейронов меняла характер соотношения сон/бодрствование у мышей. В эксперименте с мышами, мутантными по данному гену, было показано, что генномодифицированные животные спят в сутки в среднем на 55 мин меньше, чем мыши из контрольной группы.

Ученые признают, что исследование измененного гена на грызунах не дает полной картины, поскольку циркадные ритмы сна людей и грызунов сильно различаются, а изученный ген *ADRB1* лишь один из многих, влияющих на физиологию сна. Уменьшение его продолжительности требует дальнейшего изучения, однако впоследствии это открытие может привести к обнаружению мишеней для медикаментозного лечения хронических расстройств сна.

Neuron. 2019; 103: 1–12.

DOI:10.1016/j.neuron.2019.07.026

* *Arkhangelsky M.S., Zverkov N.G., Rogov M.A. et al. Colymbosaurines from the Upper Jurassic of European Russia and their implication for palaeobiogeography of marine reptiles. Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments. 2019. (doi.org/10.1007/s12549-019-00397-0).*

** *He Y., Jones C.R., Fujiki N. et al. The Transcriptional Repressor DEC2 Regulates Sleep Length in Mammals. Science. 2009; 325: 866–870. DOI:10.1126/science.1174443.*

Физика. Математика

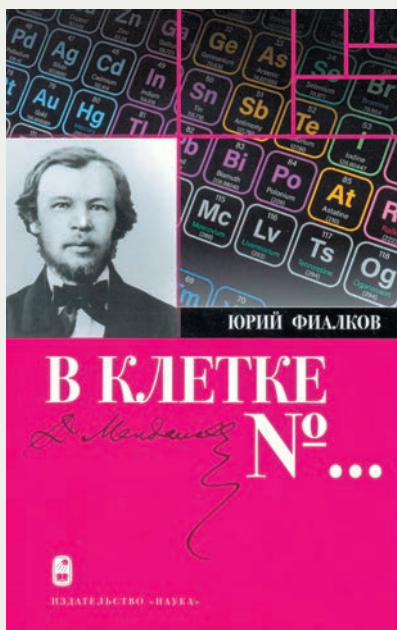
В.П.Смилга. В ПОГОНЕ ЗА КРАСОТОЙ. ПРИКЛЮЧЕНИЕ ПЯТОГО ПОСТУЛАТА ЕВКЛИДА. М.: Наука, 2019. 254 с. (Серия: Научно-популярная литература).

Более двух с половиной тысячелетий назад Евклид сформулировал свой пятый постулат о параллельных прямых. С тех пор кто только не пытался его доказать, не пытаясь при этом доказывать четыре остальных! Казалось ведь, что такой замысловатый и далеко не очевидный пятый постулат не может быть аксиомой, которые образуют фундамент геометрии, — он должен быть теоремой. Лишь в XIX в. К.Ф.Гаусс, Н.И.Лобачевский и Я.Бойяи предположили, а Ф.Клейн затем показал, что доказательство этого постулата невозможно построить в принципе. Его можно принять как аксиому, и тогда мы приходим к евклидовой геометрии. Но можно принять как аксиому и утверждение, что две прямые всегда пересекаются, что верно для геометрии на поверхности сферы. Или сказать, что существуют по крайней мере две различные прямые, не пересекающие данную, а это уже приводит к геометрии Лобачевского. Спустя годы оказалось, что все это не только игра ума, а совершенно новое представление о нашей Вселенной, в которой царит неевклидова геометрия. Героями книги физика В.П.Смилги (1929–2009) стали Пифагор, Платон, Омар Хайям, Фома Аквинский, Н.И.Лобачевский, К.Ф.Гаусс, Б.Риман, А.Эйнштейн и многие другие участники великой битвы с пятым постулатом, без трудов которых сегодняшняя картина мира была бы неполной и ущербной.



Химия

Ю.Я.Фиалков. В КЛЕТКЕ №... М.: Наука, 2019. 222 с. (Серия: Научно-популярная литература).



В 2019 г. исполнилось 150 лет Периодической таблице химических элементов и 185 лет со дня рождения ее автора — выдающегося русского ученого Дмитрия Ивановича Менделеева (он был избран в 90 иностранных академий наук, но забаллотирован в российскую, так как академики сочли его труды недостаточно фундаментальными, слишком близкими к практическим нуждам). В книге рассказано о том, как Менделеев открыл периодический закон, а также о том, какую роль сыграла созданная им Периодическая система в развитии химии, как были заполнены пустые клетки в таблице, что такое радиоактивность и как одни элементы могут превращаться в другие. Есть в ней рассказы о трудах Г.Кавендиша, Д.У.Рэлея, У.Рамзая, Э.Резерфорда, М.Кюри, И.Н.Курчатова, Г.Н.Флёрова, У.Ф.Либби, О.Ю.Шмидта и др. Узнает читатель и о том, как Периодическая таблица сегодня помогает не только химикам, но и геологам, астрофизикам и даже археологам. Книга доктора химических наук Ю.Я.Фиалкова (1931–2002), основателя отечественной научной школы физической химии растворов, известного популяризатора науки, была написана еще к 100-летию Таблицы Менделеева. В настоящее издание внесены добавления (они выделены курсивом), которые отражают достижения и открытия, сделанные в науке с тех пор.

История науки

А.Л.Капанадзе. ОПЫТНЫМ ПУТЕМ: ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ИЗМЕНИВШИЕ МИР. М.: Наука, 2019. 319 с. (Серия: Научно-популярная литература).



В книге рассмотрены основные вехи в развитии (с Античности до наших дней) экспериментальных методов в самых разных областях наук о природе, человеке и обществе: в физике, химии, астрономии, биологии, физиологии, медицине, археологии, криминалистике. Автор выбрал несколько десятков самых впечатляющих, самых значимых, самых важных опытов и наблюдений, оказавших влияние на развитие науки и формирование наших представлений о самих себе и об окружающем нас мире. Упомянуты и некоторые неудачные эксперименты, которые тем не менее оказали сильное влияние на человечество. Внимание в главах книги уделено не только истории создания приборов и развития технологий, но и истории идей. Затронуты вопросы отличия классического эксперимента от наблюдения (когда опыт «ставит» сама природа), преемственности технических инноваций, влияния общественного климата на работу экспериментатора, роли случайности в такой работе. Любопытная подборка, представленная в книге, дает возможность лишний раз восхититься изобретательностью, предприимчивостью и интеллектуальной смелостью наших предков и современников, которые нашли разнообразные способы исследования, вывели наше понимание устройства мира на совершенно невиданный уровень и невероятно расширили возможности человечества.

История. Археология

Е.Н.Черных. КУЛЬТУРЫ ХОМО: КЛЮЧЕВЫЕ ГРАНИ МИЛЛИОНОЛЕТНЕЙ ИСТОРИИ. Проблемные очерки. М.: Издательский дом «Языки славянской культуры», 2019. 432 с.

История человечества насчитывает почти 2.5 млн лет. Культуры Номо и процессы их развития — объект внимания практически всех гуманитарных наук. Теснее всего эту проблематику разрабатывают две дисциплины — собственно история и археология, однако хронологическо-методологические различия между ними весьма существенны. И это особенно показательно, поскольку археология «отвечает» фактически за более чем 99.9% всего процесса развития культур. Автор постарался выявить и охарактеризовать наиболее важные, ключевые грани, когда происходили резкие перемены не только в динамике развития, но и в генеральных картинах культур на нашей планете во всей протяженной истории человечества: от начальных этапов каменного века вплоть до эпохи Нового времени и современности. Все метаморфозы развития представлены в связке с социальными проблемами, с узловыми аспектами психологии и идеологии. Подчеркнуто, что в глобальных исторических процессах господствует взрывной или волнообразный ритм развития, а отнюдь не прямолинейность и непрерывность прогресса. Но вслед за взрывами чаще всего наступает период или вялой динамики, или даже стагнации. В основу книги легли шесть циклов статей автора, опубликованных в журнале «Природа» с 1976 по 2019 г.



Война миров

кандидат геолого-минералогических наук В.Н.Комаров

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (Москва, Россия)

e-mail: komarovmgi@mail.ru

Крымская учебная геологическая практика студентов Российского государственного геологоразведочного университета уже 85 лет проводится в Юго-Западном Крыму, в восточной части Бахчисарайского р-на. Помимо материала, связанного с геологией, уникальная природа Крыма дает студентам редкую возможность увидеть много интересного и поучительного и в других областях естествознания.

9 июля 2019 г. я возвращался с группой своих студентов (18 человек) из очень сложного маршрута в окрестности с.Верхоречье. Мы двигались по ровной тенистой лесной дороге. Я шел первым. Было около полудня. Внезапно послышался какой-то шум метрах в 10 перед нами с правой стороны от дороги. Там на дереве, на высоте примерно 5–6 м, что-то происходило. Остановившись и приглядевшись, я понял, что это ястреб, в когтях которого извивается огромный, не менее 2 м в длину, желтовато-серый полоз. Я тут же крикнул ребятам: «Смотрите, птица поймала змею». И в тот же момент ястреб спрыгнул с ветки и, как-то нелепо куврыкаясь, вместе с болтающимся полозом упал на дорогу прямо перед нами. На нас птица не обращала совершенно никакого внимания. На какие-то мгновения она замерла, а затем, так же странно и неестественно двигаясь, попрыгала с дороги влево, углубилась в лес метров на 7–8 и замерла. Мы подошли к ним. Кто был посмелее, приблизился поближе, кто боялся змей (и я в том числе), остались немного в стороне. Картина, которую мы наблюдали, оказалась удивительно интересной. Как позднее выяснилось, никто из студентов подобно-го никогда не видел (уверен, что никогда больше и не увидит). Я же даже не предполагал, что такое может произойти. Конечно, я знал, что ястребы, помимо насекомых, лягушек, жаб, ящериц, мелких птиц и млекопитающих, питаются и змеями, но думал, что для птиц это легкая добыча. Однако все оказалось не так просто. Что же мы увидели? Ястреб абсолютно неподвижно, как-то обреченно, лежал на брюхе головой в сторону от дороги, ничком уткнувшись в землю. Крылья симметрично почти полностью разведены в стороны, их размах составлял не менее 1 м. Хвост был высоко поднят. Вытянутые прямые ноги птицы касались друг дру-



Схватка ястреба и полоза.

Фото А.Ш.Хертека и С.К.Шашкова

га и очень крепко (невольно хочется сказать красиво) в пять-шесть оборотов оплетались хвостом змеи. Сам полоз смотрел на нас и очень громко шипел. Студенты спросили меня, что надо делать. Немного растерявшись, я сразу не ответил, и ребята сами стали предлагать разные варианты. Одни вспомнили про естественный отбор и посчитали, что надо оставить животных в покое и уйти. Другие предложили помочь птице освободиться. В итоге самый смелый студент подошел совсем близко и палкой ударил змею. Она мгновенно отпустила ястреба, а тот, освободившись из тисков, тут же «ожил» и, как молния, на низкой высоте улетел вглубь леса. Мы облегченно вздохнули. Нам удалось сохранить жизнь и ястребу, и полозу. Оживленно обсуждая произошедшее, мы продолжили движение домой.

Я уверен, что именно ястреб напал на полоза, а не наоборот. Но выбрал, на свою беду, слишком крупную змею. Если бы мы не вмешались, для ястреба, на мой взгляд, все завершилось бы печально. Скорее всего, через какое-то время полоз опутал бы всю птицу и задушил ее. Надеюсь, что ястреб получил хороший урок и больше в такие ситуации постарается не попадать.■

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

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

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

г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 90

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

По всем интересующим вопросам обращайтесь по тел.: +7(495)276-1197 доб. 3321, 3371, 2241

Подробная информация на сайте www.naukapublishers.ru/history/partnership

ПРИРОДА

10/2019

Соучредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука»

Главный редактор: А.Ф.Андреев

Заместитель главного редактора: А.В.Бялко

Ответственный секретарь

Е.А.Кудряшова

Литературный редактор

Е.Е.Жукова

Заведующая редакцией

И.Ф.Александрова

Научные редакторы

М.Б.Бурзин

Т.С.Клювиткина

Е.В.Сидорова

Н.В.Ульянова

О.И.Шутова

Перевод содержания

Т.А.Кузнецова

Графика, верстка:

С.В.Усков

Подписной индекс: 70707

Дата выхода в свет: 29.10.2019

Формат 60×88 1/8. Цифровая печать

Усл. печ. л. 10.0. Уч. изд. л. 10.2

Бум. л. 5

Тираж 1000 экз.

Цена свободная

Заказ 67

Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 90

По вопросам публикации материалов:

тел.: (495) 276-77-35 (доб. 4171),

e-mail: priroda@naukaran.com

По вопросам сотрудничества:

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

e-mail: journals@naukaran.com

Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука»

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

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

Свидетельства о регистрации №1202 и ПИ №1202.

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

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели.

12+

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!

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

Журнал «Земля и Вселенная»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1200 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

ул. Профсоюзная, 90, к. 423

Журнал «Природа»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3000 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

ул. Профсоюзная, 90, к. 417

Журнал «Энергия: экономика, техника, экология»

Стоимость полугодового комплекта (6 номеров) 1500 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7(495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

Журналы также можно приобрести в розницу в сети магазинов «Академкнига» по следующим ценам:


«Земля и Вселенная» – 220 руб.

«Природа» – 270 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» – 270 руб.

Подписаться можно в редакциях указанных журналов.
Убедительная просьба связаться с редакциями перед визитом.

В случае возникновения вопросов можно также обращаться в Управление по выпуску журналов ФГУП «Издательство «Наука»:
Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 42-91 или 43-01)
E-mail: journals@naukaran.com



**40% НА КНИГИ
ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»**

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

BOOK SALE

**ЕЩЁ БОЛЬШЕ КНИГ
И БОЛЬШЕ СКИДОК**

Реклама

акция распространяется
в интернет-магазине naukabooks.ru

