

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

1 18



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

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Южный Урал. Мурадымовское ущелье.
См. в номере: **Исмагилов Р.А., Фархутдинов И.М., Фархутдинов А.М.**
Создание геопарка ЮНЕСКО в Башкирии.

Фото из архива авторов

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. На плитах из мрамора салиети, которые украшают станцию метро «Добрынинская», можно встретить сечение раковины головоногого моллюска наутилоида, обитавшего в тропическом море в юрском периоде. См. в номере: **Наугольных С.В.** *Палеонтологические объекты на станциях Московского метро.*

Фото автора



«Наука»

© Российская академия наук, журнал «Природа», 2018
© ФГУП «Издательство «Наука», 2018
© Составление. Редакция журнала «Природа», 2018

В НОМЕРЕ:**3****Э.И. Колчинский****Наука и общество****Н.И. Вавилов и Т.Д. Лысенко в пространстве историко-научных дискуссий**

Почему в XXI в. появились работы, пытающиеся возродить обвинения в адрес Н.И. Вавилова и оправдать Т.Д. Лысенко? Лежат ли в основе попыток реабилитации лысенкоизма и лысенковщины, как и раньше, идеи о самобытности российской науки и о приоритете практики над фундаментальными исследованиями?

15**Р.К. Расцветаева, С.М. Аксенов****Секреты большого семейства шлыковит–родезит–гюнтерблассит**

Минералы семейства шлыковит–родезит–гюнтерблассит обладают родственными структурами, но мало кто может себе представить, как разнообразны в них слоистые фрагменты из кремнекислородных тетраэдров.

25**Г.Г. Матишов****Нужны ли тихому Дону новые плотины?**

В последние десятилетия объем речного стока в бассейне Дона неуклонно снижается. Это ведет к целому комплексу негативных последствий для речной экосистемы и народного хозяйства. Гидротехнические сооружения Нижнего Дона перестали справляться с возложенными на них функциями. Поможет ли решить проблему с водопользованием строительство еще одного гидроузла в русле реки?

35**Р.А. Исмагилов, И.М. Фархутдинов, А.М. Фархутдинов****Создание геопарка ЮНЕСКО в Башкирии**

Сегодня в мире насчитывается 127 геопарков под эгидой ЮНЕСКО. В РФ таких парков пока нет. Перспективная территория для организации подобного заказника — Республика Башкортостан, третья часть которой занимает Южный Урал — одна из самых интересных, с точки зрения геологии, областей.

42**А.А. Федотова, А.В. Куприянов****«Результат химической борьбы блестящий, посевы защищаются, настроение бодрое»:****Борис Уваров и борьба с саранчой на Ставрополье в 1911–1914 годах**

Б.П. Уваров хорошо известен как ортоптеролог и организатор борьбы с саранчой в колониях Британской империи. Однако немногие знают, что до переезда в Лондон (1920) он участвовал в противосаранчовой кампании на Ставрополье в 1911–1914 гг., а до этого, в 1900–1910-е, в апробации и распространении в России химических методов борьбы, вытеснивших менее эффективные механические.

Лекторий**52****С.В. Наугольных****Палеонтологические объекты на станциях Московского метро****Научные сообщения****59****О.С. Демина, Ю.С. Ларикова, М.Н. Кондратьев****Эффект корневых выделений культурных растений на рост сорных видов****65****ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2017 ГОДА****В.М. Липунов****По физике — Р. Вайсс, Б. Бариш, К. Торн (73)****А.Л. Васильев****По химии — Ж. Дюбоше, Й. Франк, Р. Хендерсон (73)****А.А. Путилов****По физиологии или медицине — Дж. Холл, М. Росбаш, М. Янг (81)****89****В.М. Ковальзон****Памяти Мишеля Жуже****92****Новости науки**

Уникальные небесные тела. А.В. Бялко (92). Искусственный свет мешает опылителям (93). Собственный черный лебедь Новой Зеландии — Поува (94).

95**Новые книги**

CONTENTS:

Science and Society

- 3 E.I.Kolchinsky**
Nikolai I.Vavilov and Trofim D.Lysenko in the Realm of Historical and Scientific Discussions

Why the ideas to revive the blame of N.I.Vavilov and to exonerate T.D.Lysenko have been came up in the XXI century? Are there ideas of the Russian science authenticity and of the prevalence of practice against the fundamental researches in the background of rehabilitation of Lysemkoism and Lysenkovsbchina, as it was previously?

- 15 R.K.Rastsvetaeva, S.M.Aksenov**
Secrets of the Large Family Shlykovite—Rhodesite—Günterblaussite

Minerals of the family Shlykovite—Rhodesite—Günterblaussite have close structure, but it is very hard to believe that their layered sheets of silica-oxygen tetrahedra are widely diverse

- 25 G.G.Matishov**
Does Quiet Flows of the Don River Need New Dams?

The stream flow depression of the Don River during the last decades increases. It results in the variety of negative consequences for the river ecosystem and national economy. The hydro-technical facilities of the Lower Don are not able to manage the imposed tasks. Would the construction of another hydroengineering complex help in solving this problem?

- 35 R.A.Ismagilov, I.M.Farkhutdinov, A.M.Farkhutdinov**
Organisation of the UNESCO Geopark in the Republic of Bashkortostan

There are 127 UNESCO geoparks in the world, but no one in Russia. The republic of Bashkortostan is very promising for the creation of such a reserved area. The third part of the republic's area belongs to the Southern Ural, one of the most interesting territories from the geology point of view.

- 42 A.A.Fedotova, A.V.Kouprianov**
"Results of the Chemical Campaign are Astonishing, the Crops are Safe, and We're in a Cheerful Mood": Boris Uvarov and Anti-Locust Campaign in Stavropol Krai, 1911–1914

Sir Boris Uvarov is widely known as an orthopterologist and organizer of locust control in the colonies of the British Empire. However, few knows that before moving to London (1920) he participated in an anti-locust campaign in Stavropol Krai (1911–1914), and before that, in the 1900s-1910s, in approbation and distribution of chemical methods of insect pest management in Russia that replaced old-fashioned "mechanical" methods.

Lectures

- 52 S.V.Naugolnykh**
Paleontological Objects at the Stations of the Moscow Metro

Scientific Communications

- 59 O.S.Demina, U.S.Larikova, M.N.Kondratiev**
Effect of Crops Root Exudate on the Weed Growth

- 65 2017 NOBEL PRIZE LAUREATES**

V.M.Lipunov
In Physics: R.Weiss, B.Barish, and K.Thorne (65)

A.L.Vasiliev
In Chemistry: J.Dubochet, J.Frank, and R.Henderson (73)

A.A.Putilov
In Physiology or Medicine: J.Hall, M.Rosbash, and M.Young (81)

- 89 V.M.Kovalzon**
In Memory of Michel Jovet

- 92 Science News**
 Unique Celestial bodies. **A.V.Byalko (92)**. Artificial Light Confuse the Pollinators (**93**). New Zealand's Unique Black Swan — Poūwa (**94**).

- 95 New Books**

Н.И.Вавилов и Т.Д.Лысенко в пространстве историко-научных дискуссий

Э.И.Колчинский

Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники
имени С.И.Вавилова РАН (Санкт-Петербург, Россия)

В современных историко-научных работах, посвященных «делу Н.И.Вавилова и Т.Д.Лысенко», значительное место занимают попытки возродить обвинения в адрес Вавилова и оправдать Лысенко, получившие название «неолысенковщина». Возобновление дискуссий в какой-то степени связано с отсутствием строгого разграничения между лысенкоизмом (совокупностью концепций и методов агротехники) и лысенковщиной (социальной практикой борьбы с конкурентами при помощи административных ресурсов и апелляции к властям для их подавления). Рост антинаучных настроений в обществе и правящей элите, а также усиление религиозного фундаментализма — подобный контекст оказался благоприятным для возрождения и лысенкоизма, и лысенковщины. Рассмотрение социально-культурных, политико-идеологических и естественнонаучных аргументов в пользу реабилитации лысенкоизма показывает, что в их основе, как и раньше, лежат идеи о самобытности российской науки и о приоритете практики над фундаментальными исследованиями. Беспочвенны попытки представить некоторые утверждения Лысенко как предвидение современных представлений о эпигенетической и цитогенетической изменчивости, о прионах, мобильных диспергированных генах и т.д. Авторы антивавилонских и пролысенковских «трудов» руководствуются разными мотивами, но все они далеки от сути событий и реалий «дела Вавилова и Лысенко».

Ключевые слова: Н.И.Вавилов, Т.Д.Лысенко, лысенкоизм, лысенковщина, неолысенковщина, исторический нарратив, общество, партийно-государственный аппарат, антисциентизм.

Имя Николая Ивановича Вавилова (1887–1943) известно во всем мире. В историю он вошел как генетик, ботаник, растениевод, селекционер, географ, путешественник и организатор науки, отдавший, подобно Джордано Бруно, за нее жизнь. Удивительная многогранность таланта Вавилова и трагическая судьба ученого, столь много сделавшего для «зеленой революции» и умершего от голода в тюрьме, привлекает внимание историков науки уже более полувека. Тем не менее в последние 10–12 лет множатся усилия оправдать тех, кто причастен к его гибели, включая его главного оппонента — агронома Трофима Денисовича Лысенко (1898–1976), провозгласившего в 1934 г. вместе с философом И.И.Презентом создание мичуринской агробиологии как альтернативы мировой науке.

Цель настоящей статьи — рассмотреть недавние попытки переоценить противостояние Вавилова



Эдуард Израилевич Колчинский, доктор философских наук, профессор, заведующий сектором истории эволюционной теории и экологии Санкт-Петербургского филиала Института истории естествознания и техники имени С.И.Вавилова РАН, член Линнеевского Лондонского общества, член-корреспондент Международной академии истории науки, главный редактор журнала «Историко-биологические исследования». Сфера научных интересов — история эволюционной теории и социальная история науки.

Лысенко с учетом эволюции нарративов о них в разных социально-культурных контекстах. Дискуссия о «деле Вавилова и Лысенко» связана с именем И.В.Сталина, что придает любой работе о них идеолого-политическое и даже сакральное значение. Давно произошла сакрализация и самих оппонентов, которых традиционно рассматривают в дихотомии «гений—злодейство». Если в Вавиллове видят приверженца мировой науки, то в Лысенко — самобытной российской агробиологии.

Сакрализация противостояния

Наука и общество

В настоящее время налицо все элементы культа Вавилова: многократные переиздания его работ, включая собрания сочинений; всё новые марки и почтовые конверты с его изображением, скульптуры и портреты в офисах; увековечивание в названиях институтов, вузов, обществ, журналов, библиотек, улиц, станций метро и даже больницы; учрежденные премии, медалей и т.д. Эта сакрализация уходит корнями в 1920-е годы, когда на страницах газет его представляли как человека, готового решить «проблему хлеба» и «накормить человечество». Он пользовался поддержкой властей, включая председателя Совнаркома А.И.Рыкова, управляющего его делами Н.П.Горбунова, «любимца партии» Н.И.Бухарина и ее генерального секретаря И.В.Сталина. Благодаря их доверию он стал членом ЦИК СССР (1926–1935); ему поручили создать в 1929 г. Всесоюзную академию сельскохозяйственных наук (ВАСХНИЛ) и Всесоюзный институт растениеводства (ВИР). В Вавилове лидеры партии и правительства тогда видели олицетворение «союза науки и труда», ученого, поверившего в идеалы социализма и соединившего теорию с практикой. До 1929 г. он сохранял независимость в научной стратегии, кадровой политике и организационных делах.

Решение проблемы голода Вавилов видел в мобилизации мировых ресурсов культурных растений и их диких сородичей путем систематических поисков форм, перспективных для селекции, и в организации научно обоснованной системы селекции и семеноводства. С этой целью он объехал более 40 стран на пяти континентах и создал широкую сеть сельскохозяйственных институтов и селекционных станций. В литературе его основными достижениями признаны: учение об иммунитете растений к инфекционным заболеваниям (1919, 1935); закон гомологических рядов в наследственной изменчивости (1920, 1934); концепция центров происхождения культурных растений (1926); политипическая концепция вида (1931, 1940); ботанико-географическое и генетико-экологическое обоснование принципов семеноводства и селекции (1934). Под его редакцией вышли три тома «Теоретических основ селекции» (1935–1937), им основана серия «Культурная флора СССР» (1935). Годы, прошедшие со дня гибели Вавилова, показали, что его исследования лежали



Н.И.Вавилов, начало 1930-х гг.

Фото из архива кабинета-музея Н.И.Вавилова в Институте общей генетики РАН



Т.Д.Лысенко, 1935 г.

Фото из архива К.М.Завадского, работавшего с Н.И.Вавиловым и Т.Д.Лысенко в 1930-х гг.

в русле основных тенденций развития биологии XX в. и сохраняют свое значение в наши дни.

Иначе дело обстоит с работами Лысенко, сакрализация которого началась немного позднее — в конце 1920-х годов, когда сложилось тяжелое положение в сельском хозяйстве [1, с.26–64]. По инициативе наркомзема УССР А.Г.Шлихтера в партийной печати началась агрессивная пропаганда мифа о «народном академике» Лысенко, предложившем путем яровизации спасти от вымерзания озимые сорта пшеницы и резко повысить урожайность [2, v.1, p.67–96]. В директивном порядке стали внедряться плохо проверенные методы обработки зерна перед посевом, которые быстро показали неэффективность и даже вредность из-за повреждения семян и снижения всхожести. Но Лысенко постоянно инициировал новые проекты, не сохранившиеся ни в науке, ни в агротехнике. На сегодня в литературе нет предложенных им теорий «стадийного развития», «сверхскоростного выведения сортов», «внутри-сортового перекрестного скрещивания самоопылителей», «летних посадок картофеля», «использования кур для склевывания долгоносиков» и т.д. Чтобы скрыть провалы своих начинаний, в середине 1930-х годов Лысенко, возглавивший к тому времени Институт генетики и селекции в Одессе, выступил против мировой науки как чуждой задачам социалистической деревни. Философско-политическое сопровождение этих атак против современной биологии обеспечивал Презент. Лысенко удалось заручиться поддержкой Сталина,

в присутствии которого он не раз обвинял Вавилова, других генетиков и селекционеров во вредительстве. В 1935 г. Вавилова освободили от должности президента ВАСХНИЛ; в течение нескольких лет шла его непрерывная травля, а 6 августа 1940 г. он был арестован. Президентом ВАСХНИЛ еще в 1938 г. был назначен Лысенко, а после ареста Вавилова он возглавил и Институт генетики АН СССР, также основанный Вавиловым. Противодействие мичуринской агробиологии стало главным пунктом обвинения и доказательством «вредительской деятельности» Вавилова [3, с.62, 65, 170].

Аресты Вавилова и его сторонников в Ленинградском государственном университете (Г.Д.Карпеченко, Г.А.Левитского, Л.И.Говорова, К.А.Фляксбергера и др.) сопровождалась репрессиями против сотрудников ВИР и Института генетики АН СССР. Передовая статья «Биофак должен стать оплотом революционной передовой науки» в газете «Ленинградский университет» от 14 марта 1941 г. требовала от профессоров и студентов биофака признать взгляды Вавилова вредительскими, а учение Лысенко единственно верным. Отказавшихся арестовывали, увольняли, исключали из комсомола, отчисляли. Кафедру генетики растений, возглавляемую Г.Д.Карпеченко, заняла Б.Г.Поташникова — жена И.И.Презента. Сам Презент весной 1941 г. похвалялся участием в расправе над Вавиловым, цинично отвечая на вопрос о его судьбе словами Каина: «Что я, сторож брату своему?». Но, в отличие от разработок Вавилова и его сторонников в селекции и семеноводстве, рекомендации Лысенко, к тому же заимствованные у других авторов, оказались неэффективными и не спасли страну от голода во время войны и засухи 1946 г. С резкой критикой мичуринской агробиологии выступили видные генетики, эволюционисты, физиологи растений (К.Дарлингтон, Ф.Г.Добржанский, Н.П.Дубинин, П.Н.Константинов, Д.Н.Прянишников, К.Сакс, В.Н.Сукачев, Р.Уайт, Р.Фишер, С.Харланд, Дж.Хаксли, И.И.Шмальгаузен и др.). Недовольство Лысенко назревало в партийных и правительственных кругах, уставших от его бесконечных прожектов и доносов.

Тем не менее Лысенко удалось представить, что его критика инспирирована врагами СССР, и снова заручиться поддержкой Сталина. В условиях начавшейся холодной войны на августовской сессии ВАСХНИЛ 1948 г. взгляды Лысенко были объявлены передовой биологией, а альтернативные — заклеены как буржуазные, идеали-



И.И.Презент, В.И.Разумов и К.М.Завадский на кафедре дарвинизма ЛГУ, 1948 г.
Фото из архива К.М.Завадского.



«Союз науки и труда — залог высоких урожаев!». Плакат художника В.Корецкого, 1948 г.



Рисунок из журнала «Огонек» (1949. №1. С.20), отражающий основные официальные достижения Академии наук в 1948 г.

стические, механистические и т.д. Тысячи биологов были уволены или сменили темы своих исследований. В науке и в высшей школе на несколько лет установилась диктатура Лысенко. Ему приписывали огромные научные достижения, обеспечивающие процветание сельского хозяйства благодаря изгнанию вейсманистов, морганистов, менделистов. Именно в таком образе он был представлен на рисунке в журнале «Огонёк» за 1 января 1949 г., где его ближайшие подручные И.И.Презент и Н.В.Турбин, как Священное Писание, несли труды И.В.Мичурина. Однако насильственное внедрение политики в исследовательскую практику привело к отставанию отечественной биологии, вызвало недовольство отечественных ученых и выход их зарубежных коллег из коммунистических партий Англии, Италии, Франции, Японии. В 1952 г. уже Сталин санкционировал критику Лысенко. В 1956 г. по требованию нескольких ведущих советских биологов, физиков, химиков и математиков («письмо трехсот») Лысенко был снят с поста президента ВАСХНИЛ. Но, став личным советником Н.С.Хрущева по сельскому хозяйству, он в начале 1960-х годов — ненадолго до засухи 1962–1963 гг. — вновь возглавил ВАСХНИЛ. После отставки Хрущева Лысенко потерял всякое влияние, а его взгляды специальная комиссия АН СССР признала псевдонаучными.

Объективный анализ событий тех дней затруднен эмоциональным отношением к ним самих историков науки, которые были или свидетелями трагического противостояния, или учениками его участников. Живы и сыновья обоих героев: Ю.Н.Вавилов и Ю.Т.Лысенко. Лица, вовлеченные в прошедшие события с обеих сторон, описывали себя невинными жертвами противников, изображая тех как воплощение зла и исчадие ада. Сакрализация участников противостояния, т.е. написание их биографий как жития святых, невольно вызывает критическое отношение ко многим подобным сочинениям и питает конспирологичес-

кие мифы о мафиозном заговоре в науке, инспирированном то ли партийными идеологами СССР, то ли Государственным департаментом США.

Герои и злодеи российской науки

С началом войны арест Вавилова, избранного в 1942 г. иностранным членом Лондонского королевского общества, создал трудности в общении с союзниками. Надо было отвечать на неудобные вопросы, и его смерть в 1943 г. превратили в государственную тайну. Попытки напомнить о нем прерывались на самом высоком уровне. Во введении к первому тому справочника Ю.С.Липшица «Русские ботаники» (1947) была упомянута школа Вавилова, но статью о нем из второго тома изъяли на стадии корректуры [4, с.68–69]. «Материалы к истории АН СССР за годы советской власти» (1950) вышли под редакцией президента АН СССР С.И.Вавилова и содержали три упоминания о его брате, включая точную дату смерти. В готовый тираж вклеили контртитул «На правах рукописи», и все 500 экз. были пронумерованы для распространения при строгом учете.

После 15-летнего молчания первой статьей о Н.И.Вавиллове стали «Закрытые страницы из биографии И.В.Мичурина и Н.И.Вавилова» [5]. Ее авторы — директор Ботанического института АН СССР П.А.Баранов и библиограф этого же института Д.В.Лебедев (ученик Г.Д.Карпеченко) — превратили 100-летний юбилей народного селекционера Мичурина в реабилитацию Вавилова. До 1968 г. по экспоненте росла публикация о нем, пик пришелся на 1967–1968 гг., когда вышло около 100 работ, в том числе в серии «Жизнь замечательных людей» издательством «Молодая гвардия» была 100-тысячным тиражом отпечатана книга С.Е.Резника «Николай Вавилов» (1968). В ней впервые на русском языке правдиво излагалась суть его конфликта с Лысенко. Однако 90% тиража задержали на год —

ради изъятия двух печатных листов по доносу Н.И.Фейгисона и Т.Д.Лысенко [6, с.34–42].

Рукопись Ж.А.Медведева с подробным описанием дискуссии между сторонниками Вавилова и Лысенко была отвергнута, а самого автора отправили в психлечебницу, из которой выпустили под влиянием протестов мировой научной общественности, поэтому первое российское издание о «деле Вавилова и Лысенко» опубликовано за рубежом [7]. За границей в 1983 г. вышли две книги — «Дорога на эшафот» С.Е.Резника и «Дело академика Н.И.Вавилова» М.А.Поповского, причем авторы к тому времени уже эмигрировали. В СССР после 1968 г. почти 20 лет нельзя было ничего напечатать о «деле Вавилова и Лысенко». Исключение сделали только для труда И.Т.Фролова «Генетика и диалектика» (1968) и воспоминаний Н.П.Дубинина «Вечное движение» (1973), в которых их дискуссии придали сугубо научный характер — и с властей снималась ответственность за гибель Вавилова. От историков науки требовали: «Не надо ворошить прошлое». Тем не менее удалось, пройдя через семь корректур, оставить упоминания о пагубной роли августовской сессии ВАСХНИЛ в коллективной монографии «Развитие эволюционной теории в СССР» (1983). Она увидела свет с задержкой на несколько месяцев и вышла только благодаря необходимости выполнения плана и начавшейся череде смертей членов Политбюро ЦК КПСС, когда наверху было просто не до Лысенко, скончавшегося в 1976 г. в полном забвении.

Начало перестройки совпало со 100-летним юбилеем Вавилова, ознаменованным выходом в свет более чем 30 книг о его трагедии. Символом «черно-белого» изображения конфликта генетиков с лысенковцами стал роман В.Д.Дудинцева «Белые одежды», вышедший в 1987 г. и напечатанный миллионными тиражами. В том же году президент ВАСХНИЛ А.А.Никонов признал, что лысенковщина нанесла громадный моральный и материальный ущерб стране, опозорила советскую науку, и обещал искоренить ее навсегда. Особый резонанс имели статьи А.Л.Тахтаджяна в «Литературной газете» (1987) и В.Н.Сойфера в «Огоньке» (1988). Вышла первая научная биография Вавилова, написанная Ф.Х.Бахтеевым (1987). Страну захлестнул вал антилысенковских публикаций. Слово «лысенкоизм» стало нарицательным, и его искали во всей советской науке.

В то время доминировала заложенная Ж.А.Медведевым традиция рассматривать конфликт генетиков и лысенкоистов без полутонов. Близок к ней был С.Э.Шноль в своих книгах, выдержавших несколько переизданий [8]. Иначе события оценивал В.Н.Сойфер [9], полагавший, вслед за М.А.Поповским, что часть вины в возвышении Лысенко лежит на Вавиллове, сначала выдвигавшем Лысенко, а потом искавшем с ним компромисс. Архивные материалы свидетельствовали о необ-

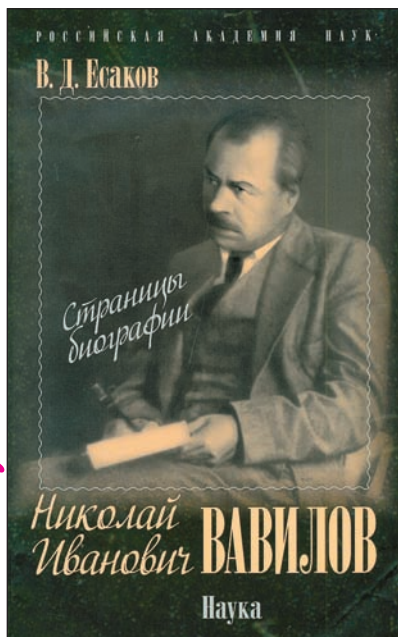
ходимости использовать всю палитру красок при описании противостояния, а также признать вину генетиков-марксистов (И.И.Агола, С.Г.Левита, В.Н.Слепкова и др.), стремившихся в конце 1920-х годов диалектизировать биологию и отличавшихся идеологической непримиримостью к взглядам оппонентов [10].

Стремление преодолеть деление на «героев» и «злодеев» породило в социальной истории науки попытки анализировать «дело Вавилова и Лысенко» как идеолого-политический феномен безотносительно содержания отстаиваемых ими взглядов и их оценок с позиций современной науки. В 1997 г. Н.Л.Кременцов всех участников тех событий изобразил как представителей единой «сталинской науки», жестко конкурировавших за финансы, за внимание властей предрежащих, за доминирование своих школ, за создание собственных «научных империй» [11]. Трагедию Вавилова он объяснял гибелью его покровителей в годы Большого террора, а августовскую сессию ВАСХНИЛ — холодной войной и выбором Сталиным на роль лидера советской биологии Лысенко как непримиримого противника западной науки. Позднее Н.Ролл-Хансен уверял, что конфликт носил все-таки социально-научный характер, а Лысенко заручился поддержкой властей, так как уделял больше внимания практике, чем Вавилов [12].

Исследуя лысенкоизм как феномен советской биологии, зарубежные историки с трудом понимали, как столь архаичная концепция была признана государственно значимой и почему на ее продвижение были брошены громадные финансово-материальные, идеолого-политические и морально-этические ресурсы. Исследование же его в рамках противостояния двух систем во время холодной войны, казалось, давало ключ и к объяснению его восприятия некоторыми учеными Японии, Франции, Италия, Англии. Лысенкоизму как мировому феномену были посвящены симпозиумы в Нью-Йорке (2009), Токио (2012), Вене (2012), Праге (2014, 2016), выпуски журналов «Историко-биологические исследования» (2011. №2; 2015. №2), «Journal of the History of Biology» (2012. №2) и несколько зарубежных монографий в 2010-х годах [2, 13, 14 и др.].

«Суд палача» и «суд истории»

В публикациях последних двух десятилетий поднято много архивных материалов, освещающих разные стороны жизни и деятельности Вавилова в контексте эпохи, его взаимоотношения с родными и близкими. Особо следует отметить книгу В.Д.Есакова, построенную на большом массиве нового архивного материала и его безукоризненной интерпретации [15]. Трудно переоценить и публикацию следственного дела Вавилова, позволившую реконструировать последние годы



Есаков В.Д. «Николай Иванович Вавилов», обложка [15].



Гончаров Н.П. «Николай Иванович Вавилов», обложка [17].

жизни ученого, осуществленную над ним расправу и методы, применявшиеся во время допросов офицерами госбезопасности А.Хватом, Л.Шварцманом и С.Албогачевым [3]. И хотя часть материалов остается засекреченной, из книги очевидна причастность Лысенко к трагедии Вавилова. Лысенко не только спровоцировал его арест, публично обвиняя во вредительстве, но и утвердил экспертную комиссию, давшую «научное» обо-

научное значение обширной экспедиционной деятельности Вавилова и его роль в создании богатейшей коллекции ВИР, ставшего благодаря ему крупнейшим агроботаническим центром мира с сетью опытных станций в различных историко-географических зонах и системой государственного сортоиспытания [17]. В только что вышедшем втором издании книги Гончаров ранние работы Лысенко также считает важным достижен-

ием отечественной науки и призывает *восстановить в правах и «агробиологию» и теорию стадийного развития с яровизацией* [17, с.358]. Целостность идей Вавилова как человека, заложившего основы «зеленой революции», которая спасает мир и нашу страну от голода, отразил в двухтомной монографии В.И.Глазко [18].

Книги зарубежных авторов позволяют лучше понять деятельность Вавилова как борьбу за сохранение мировых стандартов науки. Американский журналист П.Прингле показал, что Вавилов по-прежнему считается «одним из великих ученых XX века» и символом борьбы за свободу науки [19]. Американский этноботаник Г.Нэбхэн продемонстрировал роль экспедиций Вавилова и его концепции о центрах происхождения



Глазко В.И. «Николай Вавилов. Жизнь как служение Родине», обложка [18].



Резник С.Е. «Эта короткая жизнь. Николай Вавилов и его время», обложка [6].

культурных растений для решения проблем голода в разных регионах мира [20].

Накануне 130-летнего юбилея со дня рождения Вавилова увидела свет новая книга Резника, который полвека после выхода своей первой биографии Вавилова собирал материал о его жизни и деятельности на фоне турбулентной и яростной эпохи [6]. Преодолев традиции «черно-белого» изображения «дела Вавилова и Лысенко» и псевдообъективность нейтральных оценок, автор построил многоплановое повествование и раскрыл многовекторность трагических событий и сложную их детерминацию. В соответствии с нормами исторической антропологии Резник стремится понять мотивы поступков и замыслов героев как результат их личного выбора в социально-политическом и когнитивном контекстах прошлого, создавая не абстрактные архетипы героев и злодеев, а реальные психоэмоциональные и интеллектуальные образы.

Неолысенковщина XXI века

Еще недавно казалось, что «дело Вавилова и Лысенко» изучено досконально, акценты расставлены, выводы окончательны и пересмотру не подлежат. Тем не менее за последние 10 лет в России развернулась кампания по реабилитации Лысенко с резкими обвинениями в адрес Вавилова. Потоком идут статьи и книги с претензиями на «прагматичное» переосмысление прошлого. Высокая активность их авторов, поддержка со стороны общероссийских газет («Литературная газета», «Культура»*) и части федеральных телевизионных каналов, а также передача о Лысенко (Первый канал ЦТ, «Жизнь замечательных людей», сер.39) создают впечатление координируемой масштабной акции и заставляют задуматься об угрозе «неолысенковщины», о которой впервые заговорил выдающийся генетик и эмбриолог Л.И.Корочкин [21].

В числе первых с претензиями на «резвое» переосмысление научного наследия и Вавилова, и Лысенко выступили авторы, далекие от биологии, но ищущие в ее прошлом оправдание сталинизму. Среди них были, например, бывший директор завода ферросплавов Ю.Мухин и некто С.Миронов, именующий себя то медиком, то генетиком. В сочинениях Мухина «Продажная девка — генетика. Познание мира или кормушка» (2006) и Миронова «Дело генетиков» (2009) Вавилову противопоставляется Лысенко, который стал жертвой некоего всемирного заговора против России. Основной лейтмотив подобных сочинений состоит в том, что Лысенко принес большую пользу государству и нанес огромный ущерб вра-

гам русского народа, чувствительно задев болевой нерв «мировой демократии». Дискредитируя лидеров генетики, авторы называют ее «чумой XX века», «пятой колонной» американского империализма, сионизма, троцкизма. В книге «Генетическая бомба» (2006, 2009) экономист Ю.А.Бобылов приписывает им замыслы разрушения генофонда России путем массового внедрения генетически модифицированных организмов (ГМО) и создания «генетической бомбы», действующей только против «белой расы».

Вскоре к реинкарнации лысенкоизма присоединились дипломированные доктора сельскохозяйственных, медицинских и биологических наук, которые повторяли все те же аргументы. Заведующий кафедрой селекции и семеноводства, биотехнологии Санкт-Петербургского государственного аграрного университета В.И.Пыженков в брошюрах «Вавилов — ботаник, академик, гражданин мира» (2006), «Николай Иванович Вавилов и его закон гомологических рядов в наследственной изменчивости» (2007), «Н.И.Вавилов и Нью-Йоркское отделение Бюро по прикладной ботанике» (2008), «Н.И.Вавилов, его центры происхождения культурных растений» (2010) обвинил Вавилова в научной и практической бесплодности, в путешествиях по миру ради развлечений, в бесцельных тратах государственных средств, в невыполнении взятых обязательств и т.д.

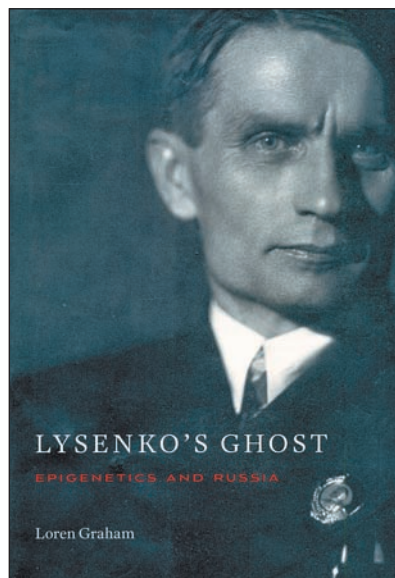
Заслуженный деятель науки РФ и лауреат Государственной премии овощевод П.Ф.Кононков в 2014 г. не столько доказывал ошибочность научных взглядов Вавилова, сколько изображал Лысенко подлинным патриотом, гуманистом, хранителем православия и великим ученым, опередившим свое время [22]. Оппонентов Лысенко Кононков охарактеризовал «национал-предателями». Ранее он опубликовал книгу «Вклад Трофима Денисовича Лысенко в победу в Великой Отечественной войне» (2010), был редактором сборника «Трофим Денисович Лысенко — советский агроном, селекционист и биолог» (2008) и книги Н.Овчинникова «Академик Трофим Денисович Лысенко. Мичуринская биология» (2010). В них в числе главных достижений Лысенко назывались теория стадийного развития, внедрение в практику яровизации и вегетативной гибридизации, гнездовые посадки лесов, повышение жирности молока у коров и т.д. Вавилов же обвинялся в том, что не выполнил обещания «накормить народ», за что и понес «заслуженное» наказание». Его вредительская деятельность, по словам Кононкова и его единомышленников, доказана следствием и признана самим Вавиловым.

Профессор Московского университета энтомолог А.И.Шаталкин пытается реабилитировать даже учение О.Б.Лепешенской о происхождении клетки из живого вещества и концепцию Г.М.Бошьяна о связи вирусов и бактерий [23]. По его мнению, признание их псевдонаучными — это

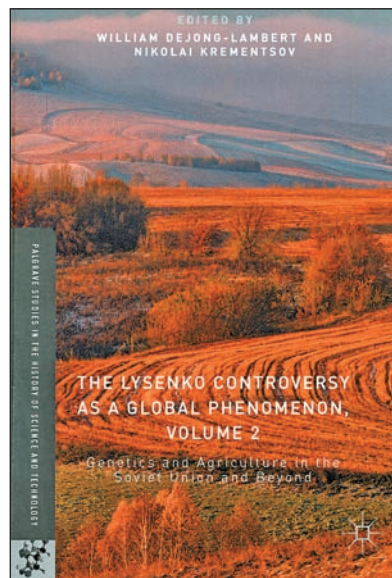
* См., например: *Анохин М.* Накормившие ложью // Литературная газета. 2015. №5 (6495). С.10; *Иогансен Н.* Гений или шарлатан // Культура. 2015. №22 (7963). С.5.



Животовский Л.А. «Неизвестный Лысенко», обложка [25].



Graham L. «Lysenko's Ghost: Epigenetics and Russia», обложка [26].



«The Lysenko Controversy as a Global Phenomenon», обложка [2].

политический миф, поддерживаемый ныне исключительно по пропагандистским соображениям. Миф этот якобы создали советские идеологи, инспирируемые Западом и старающиеся оклеветать выдающихся ученых Лысенко, Лепешинскую, Бошняна. В рамках собственной теории наследственности, названной реляционной и представленной как развитие теории стабилизирующего отбора И.И.Шмальгаузена, Шаталкин пытается объединить генетику и лысенкоизм [24].

В кампанию реабилитации Лысенко как альтернативы или дополнения к идеям Вавилова включились некоторые видные генетики со ссылками на эпигенетику, прионы, мобильные диспергированные гены, вводя дискуссию как бы в академическое пространство и стремясь в ретроспективе рассмотреть обе фигуры как равновеликие. Они пытаются представить Лысенко великим украинским ученым, предвосхитившим новейшие открытия в области молекулярной генетики, биологии развития, физиологии растений и т.д. Так, заслуженный деятель РФ, лауреат Государственной премии, главный научный сотрудник Института общей генетики РАН Л.А.Животовский в книге «Неизвестный Лысенко» уверяет, что заслуги Лысенко в свое время были высоко оценены мировым научным сообществом, а их жесткая критика и забвение обусловлены борьбой мафиозных группировок в отечественной генетике [25].

Реакция на реинкарнацию лысенкоизма в академической среде была неоднородной. Одни считали это проявлением свободы мнений, другие же полагали это курьезом и, не желая делать рекламу неолысенкоистам, презрительно отмалчивались. В то же время книги и брошюры Животовского, Кононкова, Пыженкова и др. вызвали

всплеск критических откликов со стороны биологов и историков науки — Г.А.Базыкина, С.А.Боринской, М.С.Гельфанда, В.И.Глазко, М.Д.Голубовского, В.А.Драгавцева, А.И.Ермолаева, И.А.Захарова-Гезехуса, С.Г.Инге-Вечтомова, В.И.Муромца, С.Е.Резника, В.Н.Сойфера, М.Таугера, Э.В.Трускинова, А.Г.Юсуфова и др. В 2015 г. попыткам реабилитировать Лысенко были посвящены заседание президиума Вавиловского общества генетиков и селекционеров, XII Вавиловские чтения, ученые советы ВИР и Института океанологии РАН. В апреле 2016 г. телеканал «Культура» показал фильм «Трофим Лысенко», сделав упор на его зловещей роли в судьбе Вавилова и на провале агротехнических рекомендаций «народного академика».

В 2016 г. дискуссия приняла международный характер. В книге «Призрак Лысенко» известный эксперт по российской науке Л.Грэхем интерес к Лысенко объясняет успехами эпигенетики, ростом влияния православной церкви и усилением популярности сталинизма, а также желанием властей, разыграв националистическую и патриотическую карту, поставить науку под контроль [26]. «Дело Вавилова и Лысенко» автор специально не рассматривает, но, полагая, что эпигенетика доказала наследование приобретенных признаков, не желает записывать это в актив Лысенко, так как все его верные идеи, включая яровизацию, не оригинальны, а оригинальные ошибочны [26, p.141–142]. В монографии «Лысенковская контroversия как глобальный феномен. Генетика и сельское хозяйство в Советском Союзе и за рубежом», в подготовке которой участвовали ученые девяти стран, специальная глава посвящена причинам современных попыток оправдать лысенкоизм [2, v.2, p.207–236]. В ведущих биологи-

ческих журналах стали появляться статьи о том, что современные достижения в области эпигенетики не имеют никакого отношения к идее наследования приобретенных признаков [27].

Неолысенковщина как историко-научный и социально-политический феномен

Разногласия в оценке «дела Вавилова и Лысенко» в значительной степени обусловлены тем, что до сих пор как синонимы употребляются разные понятия: лысенкоизм и лысенковщина. Термин «лысенкоизм», введенный в середине 1940-х годов американскими генетиками, означал совокупность концепций (мичуринская агробиология, мичуринская генетика, советский творческий дарвинизм), представлявших собой смесь агрономических приемов, догенетических представлений и постулатов разных эволюционных гипотез. Их объединяющим началом служили представления Лысенко о наследственности как о свойстве, присущем каждой частице организма, который адаптивно реагирует на изменения среды. Во многих странах в 1930-х — начале 1950-х годов они воспринимались некоторыми учеными как наука, поскольку те были ламаркистами и к тому же верили, что СССР олицетворяет будущее человечества и может развивать только передовую науку. На укрепление этой веры власти СССР тратили огромные средства не только в пределах социалистического блока, но и в Италии, Франции, Японии [2, v.2, p.3–158].

Термин «лысенковщина» в литературу вошел в годы перестройки. Под ним понимали борьбу с конкурентами с помощью властных структур. Эта практика сложилась в условиях жесткого распределения средств на исследования без всесторонней экспертизы и без учета состояния мировой науки. Суть лысенковщины состояла в утверждении монополии одного ученого, тогда как его научные оппоненты подвергались шельмованию и преследованию, вплоть до уничтожения. Лысенковщина — антимейнстрим мировой науки, циничное игнорирование научной методологии и базовых норм и ценностей науки.

Вавилова погубил не лысенкоизм, а лысенковщина как одна из форм продвижения «идеологически корректных наук» при помощи политических аргументов, доносов и репрессий. На уровень государственной политики нечто похожее было возведено во Франции, когда ученые-якобинцы, ратуя за революционную науку, отправляли конкурентов на гильотину. В XX в. продвижение государством «идеологически корректных наук» стало рутинной практикой во многих странах. Причем не всегда «идеологически корректная наука» была псевдонаукой. Лысенковщина расцвела в СССР в условиях противостояния «двух миров и двух идеологий» и кризиса сельского хозяйства.

Как практика борьбы с конкурентами она сложилась в СССР до появления Лысенко на высоких постах, и Вавилов впервые с ней столкнулся в годы культурной революции (1929–1932), когда молодые выдвиженцы терроризировали ученых доносами, публичными проработками, письмами в газеты, инспекциями [28]. Лысенковщина и привела его к гибели, и на нем нет вины за выдвижение Лысенко.

Инициаторами восхождения Лысенко к власти был сначала наркомзем УССР А.Г.Шлихтер, а затем наркомзем СССР Я.А.Яковлев (Эпштейн) и заведующий Сельскохозяйственным отделом ЦК ВКП(б) Л.М.Каганович. По их указаниям развернулась пропагандистская кампания по созданию облика Лысенко как великого ученого из народа, а Вавилову было приказано *всячески поддерживать его* [29, с.185]. Обещания Лысенко в краткие сроки вывести устойчивые сорта и путем яровизации повысить урожайность, казалось, давали шанс партийным функционерам избежать ответственности за коллективизацию и голодомор. Кагановичу и Яковлеву удалось заинтересовать предложениями Лысенко Сталина, который в 1935 г. оценил политическую ценность борьбы Лысенко с научными оппонентами как с вредителями, несмотря на провалы его практических рекомендаций, которые к тому времени отметили ведущие селекционеры и семеноводы П.И.Лисицын, П.Н.Константинов, Д.Костов [29, с.738–740]. Потерпев провал, Лысенко «перевел стрелку» на Вавилова, представив его лидером вредителей. В условиях начинавшегося Большого террора именно бывшему крестьянину Лысенко (как непреклонному борцу с врагами в сельскохозяйственной науке и стороннику социалистической деревни), а не «чудесникам» (типа дореволюционного инженера и журналиста Н.А.Демчинского — автора «грядковой культуры хлебов») поручили олицетворять советскую агробиологию [2, v.1, p.37–66]. В период политики «осажденной крепости» оказались востребованы декларируемые Лысенко самобытность и народность его идей, а также подлинная ненависть к зарубежной науке и к буржуазным специалистам.

В новейших открытиях эпигенетики, прионах и клонировании овечки Долли бессмысленно искать подтверждение идей Лысенко, так как проблемы прошлого нельзя анализировать современным языком. Лысенко не принял молекулярную генетику, которая не вписывалась в его представления о наследственности — с отрицанием ДНК как ее субстрата, с «переделкой организмов путем их воспитания», с «расшатыванием наследственности», с «зарождением крупинки нового вида в недрах родительского», со скачкообразным порождением пеночкой кукушки, елью — сосны, рожью — пшеницы и т.д. В истории науки признано, что бесполезно в смутных рассуждениях прошлого искать прозрение современных идей. Учеными отвергнут



Главное здание АН СССР в Санкт-Петербурге, действительным членом которой Вавилов был избран в 1929 г.

Фото автора

и презентизм*, когда Ивана Грозного, «видящего насквозь своих бояр», считали изобретателем рентгеновского аппарата, а ступу бабы-Яги — прообразом межконтинентальной ракеты. В науке важна оценка современников, а они опровергли предлагаемое Лысенко. Как неоднократно было показано в литературе, он сам шел от одной сенсации к другой, забывая судьбы предыдущих своих «наиболее общих законов природы». К тому же Лысенко до абсурда, точнее до средневековых представлений, довел идею о наследовании приобретенных признаков, которую в его время активно разрабатывали Г.Л.Пржибрам, Л.Плате, А.Львов, П.Грассе, а среди ее сторонников в СССР были В.Л.Комаров, А.А.Любищев, Д.Н.Соболев, П.А.Баранов, П.Г.Светлов и многие другие. Так что в исторической ретроспективе победителем в научном споре выглядит именно Вавилов.

Неолысенковщина, как и лысенковщина, — глубоко социально-экономический и идеолого-политический феномен, поэтому попытки вести научные дискуссии с современными критиками Вавилова и апологетами Лысенко бесполезны. Они не хотят никого и ничего слушать и повторяют аргументы, многократно уже опровергнутые. В качестве примера приведем классический случай искажения позиции выдающегося генетика и эволюциониста Добржанского, который после Второй

мировой войны по существу возглавлял борьбу зарубежных генетиков против лысенкоизма и около 30 раз выступал с его критикой, которая была настолько резкой, что почти все статьи Добржанского на эту тему попали в спецхран. Тем не менее сначала Животовский [25, с.91–92], а затем Шаталкин [23, с.194–195] уверяют, что, издавая на английском языке книгу Лысенко «Наследственность и изменчивость», Добржанский демонстрировал не архаичность излагаемых взглядов (о чем автор пишет в предисловии! [30]), а заинтересованность и уважение к ним. Таким же путем в число чуть ли не сторонников и апологетов лысенкоизма попадают Н.П.Дубинин, М.М.Завадовский, А.С.Серебровский, И.И.Шмальгаузен, Дж.Б.С.Хол-

дейн, Э.Ашби, да и сам Н.И.Вавилов [25, с.43–46]. Примеры некорректного перевода, искажения смысла текстов (особенно материалов международного симпозиума «Яровизация и фотопериодизм», который проходил в США в 1948 г.) и неверной интерпретации данных генетики приводили в своих рецензиях на книги Животовского и Кононкова генетики Голубовский [31], Ингевечтомов [32] и др.

В трудах современных критиков Вавилова и апологетов Лысенко нет новых архивных материалов. Отсутствует также анализ документов и трудов прошедших лет в социально-культурном и интеллектуальном контекстах прошлого. Все подчинено заданной цели, для выполнения которой используются вырванные из контекста цитаты или вольные трактовки не авторами найденных документов, предвзятые интерпретации работ историков науки (например, Л.Грэхема, Д.Жоравского, Н.Л.Кременцова, Н.Роль-Хансена, У.Хоссфельда). Часто их используют в искаженном виде и без ссылок на первоисточник.

Конечно, в истории науки, как и в самой науке, нет и никогда не будет окончательно решенных вопросов. Многие из них неизбежно всплывают вновь в свете архивных открытий, а также порой забытых фактов; перепроверки требуют и, казалось бы, очевидные вещи. Но на сегодняшний день нет историко-научных оснований для переоценки деятельности Вавилова как ученого и организатора науки. Критика его идей в духе прошлых обвинений связана с намерениями вовлечь власть в научные дискуссии с использованием прежних приемов и клише. В основе современных нападок на Вавилова и восхвалений Лысенко лежат социально-экономические, идеолого-по-

* Презентизм (от англ. present — настоящее время) — направление в методологии истории XX в. (особенно в США в 1920–1940-х годы), которое рассматривает историческую науку не как отражение объективных, имевших место в прошлом явлений, а лишь как выражение идеологических отношений современности, отвергая возможность объективной исторической истины.

литические и психоэмоциональные, а не научные причины. В дискредитации Вавилова заинтересованы круги, нацеленные на приватизацию «вавилонского наследия» в бывшей Российской академии сельскохозяйственных наук (зданий, опытных станций, угодий), а также жаждущие реванша ученики и родственники лысенкоистов. Авторы антивавилонских и пролысенковских «трудов» руководствуются разными мотивами, но все они далеки от сути событий и реалий «дела Вавилова и Лысенко».

Их утверждения построены на сознательной фальсификации, и дискуссия с ними не имеет смысла. Тем не менее, учитывая уроки прошлого и социальный статус науки в современной России, не стоит недооценивать опасность неолысенковщины. Играя на слабых струнах части общества и власти, противники генетики, позиционируя себя поборниками «суверенной науки», борцами с «национал-предателями», мафиозными

кланами и «вредоносными» ГМО, пытаются добиться, чтобы скудные потоки финансирования в области биологии и сельскохозяйственных наук были перенаправлены на их проекты.

Обсуждение различных аспектов «дела Вавилова и Лысенко» требует профессиональной подготовки и использования всего комплекса архивных и литературных материалов, с обязательной источниковедческой критикой и с библиографическими обзорами. Необходимо изживать стремление изображать участников трагического противостояния лишь в черно-белых красках. Ведь многие «злодеи российской науки», включая Лысенко и Презента, были харизматичными людьми, героями своего времени, сумевшими максимально использовать обстоятельства 1930–1940-х годов для головокружительной карьеры. Но в целом и они, и противостоящие им Вавилов с генетиками были лишь актерами, сыгравшими роль в спектакле, поставленном революцией 1917 г. ■

Автор благодарит Т.Б.Авруцкую, М.Б.Бурзину, С.И.Зенкевич и С.В.Ретунскую за помощь в редактировании текста и в подборе иллюстраций.

Литература / Reference

1. *Tauger M.* Голод, голодомор, геноцид? Киев, 2008. [*Tauger M.* Famine or genocide? Kiev, 2008. (In Russ.)]
2. *Jong-Lambert W.de, Kremontsov N.L.* (eds). The Lysenko Controversy as a Global Phenomenon: Genetics and Agriculture in the Soviet Union and Beyond. V.1–2. Cham, 2017.
3. Суд палача. Николай Вавилов в застенках НКВД: Биографический очерк. Документы. М., 1999. [The court of executioner. Nikolai Vavilov in the dungeons of the NKVD: Biographical sketch. Documents. Moscow, 1999. (In Russ.)]
4. Федотова А.А. Юбилей Николая Вавилова в меняющихся политических контекстах. Историко-биологические исследования. 2015; 7(2): 67–80 [*Fedotova A.A.* Nikolai Vavilov's Memory under Changing Political Contexts. Studies in the History of Biology. 2015; 7(2): 67–80. (In Russ.)]
5. Баранов П.А., Лебедев Д.В. Забытые страницы из биографии И.В.Мичурина и Н.И.Вавилова. Ботанический журнал. 1955; 5: 752–757. [*Baranov P.A., Lebedev D.V.* Forgotten pages of I.V.Michurin's biography and N.I.Vavilov's biography. Botanicheskii zhurnal. 1955; 5: 752–757. (In Russ.)]
6. Резник С. Эта короткая жизнь: Николай Вавилов и его время. М., 2017. [*Reznik S.* This short life: Nikolai Vavilov and his time. Moscow, 2017. (In Russ.)]
7. *Medvedev Zb.A.* The Rise and Fall of T.D.Lysenko. N.Y., 1969.
8. Шноль С. Герои и злодеи российской науки. М., 1997. [*Snoll' S.* Heroes and Villains of Russian Science. Moscow, 1997. (In Russ.)]
9. *Soyfer V.N.* T.D.Lysenko and the Tragedy of Soviet Science. New Brunswick, 1994.
10. Страницы истории советской генетики в литературе последних лет. Вопросы истории естествознания и техники. 1988; 1: 123–126. [Pages of history of Soviet genetics in the literature in recent years. Voprosy Istorii Estestvoznaniia i Techniki. 1988; 1: 123–126. (In Russ.)]
11. *Kremontsov N.L.* Stalinist Science. Princeton, 1997.
12. *Roll-Hansen N.* The Lysenko Effect. The Politics of Science. Amherst; New York, 2005.
13. Фудзиоки Цуюоши. Зачем лысенковщина появилась? Токио, 2010. [*Fydjoky Tsuyoshi.* Why Lysenkoism appeared? Tokyo, 2010. (In Jap.)]
14. *Jong-Lambert, W.de.* The Cold War Politics of Genetic Research: An Introduction to the Lysenko Affair. N.Y., 2012.
15. Есаков В.Д. Николай Иванович Вавилов. М., 2008. [*Esakov V.D.* Nikolai Ivanovich Vavilov. Moscow, 2008. (In Russ.)]
16. Вавилов Ю.Н. В долгом поиске: Книга о братьях Николае и Сергее Вавиловых М., 2004. [*Vavilov Yu.N.* In a long search: The book about the brothers Nikolai and Sergei Vavilov. Moscow, 2004. (In Russ.)]
17. Гончаров Н.П. Николай Иванович Вавилов. Новосибирск, 2014 (2-е изд., 2017). [*Goncharov N.P.* Nikolai Ivanovich Vavilov. Novosibirsk, 2014 (2-nd edition, 2017). (In Russ.)]
18. Глазко В.И. Николай Вавилов: Жизнь как служение Родине. Т.1–2. М., 2017. [*Glazko V.I.* Nikolai Vavilov: Life as Service to the Motherland. V.1–2. Moscow, 2017. (In Russ.)]

19. Pringle P. The Murder of Nikolai Vavilov: The Story of Stalin's Persecution of One of Great Scientists of the Twentieth Century. N.Y., 2008.
20. Nabhan G. Where Our Food Comes from: Retracing Nikolai Vavilov's Quest to End Famine. Washington, 2009.
21. Корочкин Л.И. Неолысенковщина в российской биологии. Бюллетень «В защиту науки». 2008; 3: 62–66. [Korochkin L.I. Neolysenkovshchina in Russian biology. V zashchitu nauki. 2008; 3: 62–66. (In Russ.)]
22. Кононков П.Ф. Два мира, две идеологии: О положении в биологических науках в России в советский и постсоветский период. М., 2014. [Kononkov P.F. Two worlds, two ideologies: On the situation in biological Sciences in Russia in the Soviet and post-Soviet period. Moscow, 2014. (In Russ.)].
23. Шаталкин А.И. Политические мифы о советских биологах: О.Б.Лепешинская, Г.М.Бошнян, конформисты, ламаркисты и другие. М., 2015. [Shatalkin A.I. Political myths about the Soviet biologists: O.B.Lepeshinskaja, G.M.Bashian, conformists, lamarkists and others. Moscow, 2015. (In Russ.)]
24. Шаталкин А.И. Реляционные концепции наследственности и борьба вокруг них в XX столетии. М., 2016. [Shatalkin A.I. The relational concepts of heredity and the struggle around them in the 20th century. Moscow, 2016. (In Russ.)].
25. Животовский Л.А. Неизвестный Лысенко. М., 2014. [Zivotovskii L.A. Unknown Lysenko. Moscow, 2014 (In Russ.)].
26. Grabam L. Lysenko's Ghost: Epigenetics and Russia. Cambridge (Mass.), 2016.
27. Kolchinsky E.I., Kutschera U., Hossfeld U., Levit G.S. Russia's New Lysenkoism. Current Biology. 2017; 27(19): R1037–R1059.
28. Kolchinsky E.I. Nikolai Vavilov in the years of Stalin's «revolution from above» (1929–1932). Centaurus. 2014; 56(4): 330–358.
29. Николай Иванович Вавилов: Из эпистолярного наследия. 1929–1940. М., 1987. [Nikolai Ivanovich Vavilov: From Epistolary Heritage. 1929–1940. Moscow, 1987. (In Russ.)]
30. Dobzhansky Th. Translator's preface. Lysenko T.D. Heredity and its variability. N.Y., 1946. (предисловие напечатано на странице перед оглавлением без указания номера).
31. Голубовский М.Д. Призрак Лысенко и его современная инкарнация. Историко-биологические исследования. 2015; 7(2): 115–130. [Golubovsky M.D. Ghost of Lysenko and His Modern Incarnation. Studies in the History of Biology. 2015; 7(2): 115–130. (In Russ.)]
32. Инге-Вечтомов С.Г. Книга, после которой хочется вымыть руки. Историко-биологические исследования. 2015; 7(2): 109–112. [Inge-Vechtomov S.V. The book, after which I want to wash my hands. Studies in the History of Biology. 2015; 7(2): 109–112. (In Russ.)]

Nikolai I.Vavilov and Trofim D.Lysenko in the realm of historical and scientific discussions

E.I.Kolchinsky

Saint Petersburg Branch of the S.I.Vavilov Institute for the History of Science and Technology, RAS (Saint Petersburg, Russia)

The modern literature about Nikolai I.Vavilov and Trofim D.Lysenko is analyzed, placing recent attempts to blame Vavilov and to exonerate Lysenko within their social, political and intellectual contexts. We examine the evolution of a historical narrative about Vavilov's activities and his confrontation with Lysenko as well as the main arguments advanced by Lysenko's apologists. The paper argues that a distinction between Lysenkoism, as a set of concepts and theories, and Lysenkovshchina, as the social practice of trying to prevail over other competing research groups by appealing to the party-state administration. The rise of anti-scientific sentiments among the ruling elites and the general public, along with a growing influence of religious fundamentalism, provide the context for the revival of Lysenkoism. To some extent, the revival of Lysenkoism can also be explained by certain academic traditions of Russian biologists. Neolysenkovshchina is a purely social and economic and ideological and political phenomenon, but not a scientific one. Authors who write pro-Lysenkoist books are guided by various motives, but they all fail to grasp the essence of the historical and scientific events associated with «the Lysenko and Vavilov affair».

Keywords: N.I.Vavilov, T.D.Lysenko, Lysenkoism, Lysenkovshchina, Neolysenkovshchina, historical narrative, society, party-state administration, anti-scientific sentiments.

Секреты большого семейства шлыковит—родезит—гюнтерблассит

Р.К.Расцветова¹, С.М.Аксенов¹

¹Институт кристаллографии имени А.В.Шубникова РАН (Москва, Россия)

Слоистые силикаты широко распространены в природе и характеризуются большим структурным разнообразием. Особый интерес представляют минералы со структурами на основе топологии апофиллитовых сеток $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$, состоящих из четырех- и восьмичленных колец тетраэдров в отношении 1:1. Одианные тетраэдрические слои в этих минералах различаются ориентацией тетраэдров. Ф.Либау описал 17 топологически возможных способов объединения четырехчленных колец с разной ориентацией тетраэдров в 29 типах одинарных слоев. Расшифровка структуры шлыковита и криптофиллита показала, что в их сетках свободная вершина одного из четырех тетраэдров обращена в противоположную по отношению к плоскости сетки сторону и эта ориентация колец одинакова в обоих направлениях. Полимеризация силикатных слоев приводит к образованию сдвоенных $[\text{Si}_8\text{O}_{19}]^{6-}$ -слоев в группе минералов родезитового семейства. При дальнейшей полимеризации образуются минералы семейства гюнтерблассита с тройными $[\text{Si}_{13}\text{O}_{29}]^{6-}$ -слоями. Прогнозируется, что при дальнейшей полимеризации слоев возможны минералы с каркасами цеолитного типа. В данном обзоре обобщены новейшие данные о структуре и кристаллохимических особенностях микропористых гетерополиэдрических силикатов семейства шлыковит—родезит—гюнтерблассит.

Ключевые слова: слоистые силикаты, кристаллическая структура, топология слоя, ориентация тетраэдров, одно-, двух- и трехслойные силикаты.

Слоистые силикаты и алюмосиликаты составляют обширную группу минералов и синтетических соединений. Наиболее известные и широко распространенные среди минералов — слюды (флогопит, биотит, мусковит), глины (каолинит, монтмориллонит, хлорит), тальк и пиррофиллит. Однако мало кто знает, как разнообразны в них слоистые фрагменты из кремнекислородных тетраэдров. Многочисленные способы их объединения приводят к различным формам колец (петель) — четырех-, пяти-, шести-, восьми- и даже двенадцатичленным. Но только шестичленные кольца могут построить сетку целиком (в слюдах, глинах, тальке и пиррофиллите), а в других сетках комбинируются кольца нескольких типов. Символ сеток, содержащих четырех- и восьмичленные кольца записывается как (4^18^1) , а для состоящих из двух пятичленных и одного восьмичленного кольца — (5^28^1) . Сетки с тремя типами колец (четырех-, шести- и восьмичленных) обозначаются как $(4^16^18^1)$



Рамиза Кераровна Расцветова, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института кристаллографии имени А.В.Шубникова РАН, соавтор открытий 80 минералов. Область научных интересов — структурная минералогия, кристаллохимия, рентгеноструктурный анализ. Постоянный автор «Природы».



Сергей Михайлович Аксенов, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник того же института. Специалист в области кристаллохимии и рентгеноструктурного анализа. Неоднократно публиковался в «Природе».

и соответственно с четырьмя типами — как $(4^15^16^18^1)$. Все типы колец могут различаться ориентацией тетраэдров по отношению к плоскости сетки, что приводит к еще большему разнообразию. Сетки по-разному располагаются относительно друг друга, а часть Si-тетраэдров может за-

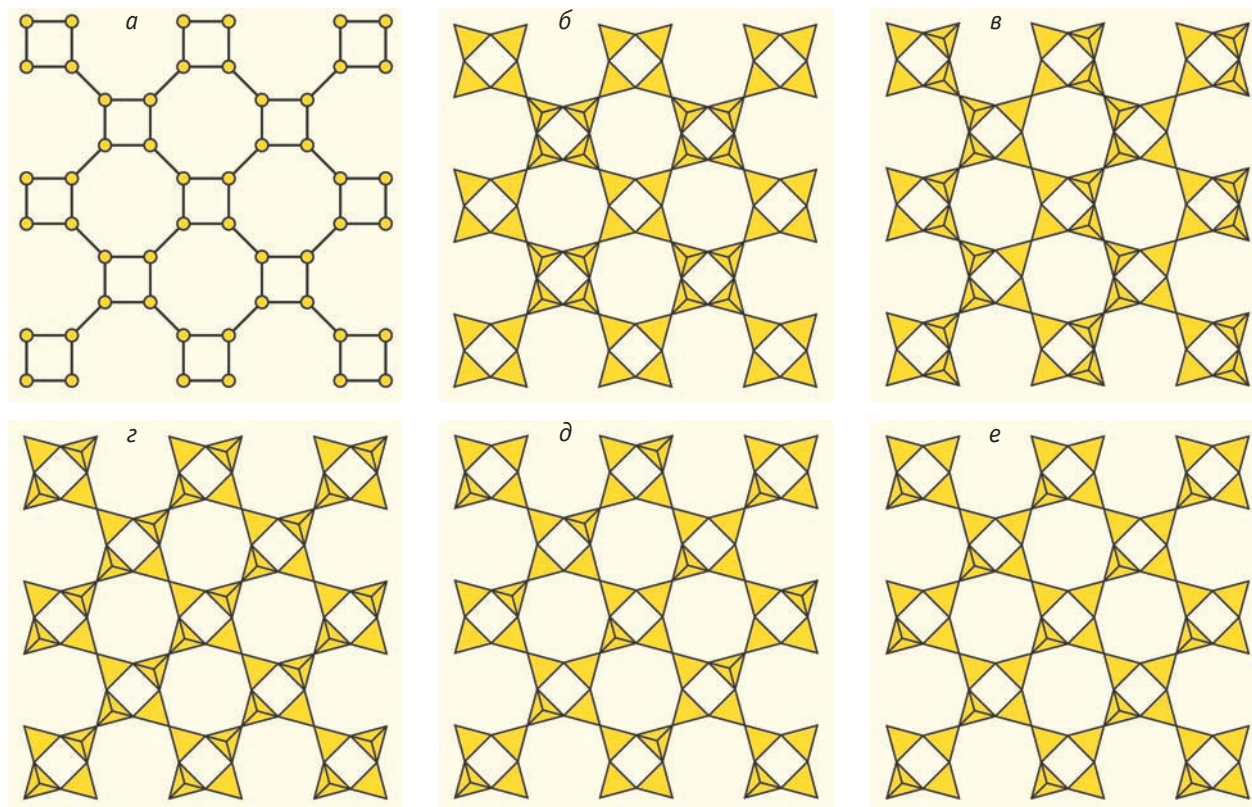


Рис.1. Схематическое изображение (4^18^1) -сетки (а) и геометрические изомеры $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ -слоев в структурах апофиллита (б), кавансита (в), сейдита-(Сс) (з), маунтинита (д), шлыковита-криптофиллита (е) [2–6].

мещаться на Al-тетраэдры и Ti-октаэдры (химический и полиэдрический изоморфизм). И, наконец, состав, заряд и расположение катионов, объединяющих однотипные сетки, а также заполняющих каналы, довершают картину многообразия минерального мира слоистых силикатов.

Особый интерес (кристаллохимический, минералогический и технологический) вызывают силикаты и алюмосиликаты с сетками (4^18^1) . Полиморфизм таких силикатов детально рассмотрел Ф.Либау [1]. Он описал 17 топологически различных способов объединения четырехчленных колец с разной ориентацией тетраэдров в 29 типах одинарных слоев. Впервые силикатные слои $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$, состоящие из 4- и 8-членных колец тетраэдров в отношении 1:1, были описаны в структуре апофиллита (рис.1) [2]. С тех пор открыты и изучены новые минералы, структуры которых основаны на силикатных слоях с топологией апофиллита и различной ориентацией тетраэдров [3–7]. Однослойные и многослойные фрагменты соединяются одиночными или реберносвязанными октаэдрами, образуя полиэдрические пакеты *ТОТ* (*T* – тетраэдрический, *O* – октаэдрический слой). Объединение самих пакетов осуществляется более слабыми связями через крупные катионы и молекулы воды, что приводит к сохранению слоистого характера всей структуры.

Минералы с апофиллитовой топологией слоев образуют полисоматическую серию шлыковит–родезит–гюнтерблассит, в которой увеличивается количество силикатных слоев: один в группе шлыковита, два в группе родезита и три в группе гюнтерблассита. Можно предположить, что дальнейший рост числа слоев приведет к образованию каркасных структур, подобных структурам классических тетраэдрических цеолитов. Цеолитоподобные материалы обсуждаемого нами семейства (табл.) характеризуются значительным структурным многообразием, что служит причиной разнообразия их физических и химических свойств. Эти минералы находят применение в промышленности и сельском хозяйстве благодаря своим сорбционным, ионообменным и каталитическим характеристикам.

Однослойные силикаты

Расшифровка кристаллической структуры шлыковита, криптофилита, а также ранее открытого маунтинита [5, 6, 8] привела к выделению группы однослойных силикатов с апофиллитовой топологией силикатного слоя (см. табл.).

Интересно, что слои с ориентацией тетраэдров, показанных на рис.1,е, впервые обнаружили

Таблица

Силикатные минералы с однослойными и многослойными структурами на основе сеток [T₈X₂₀]

Минерал / Формула	Пространственная группа	Параметры ячейки			Источник
		a, Å α, °	b, Å β, °	c, Å γ, °	
Однослойные					
маунтинит KNa ₂ Ca ₂ [Si ₈ O ₁₉ (OH)]·6H ₂ O	<i>P2/c</i>	13.704	6.576 105.752	13.751	[5]
шлыковит K ₂ Ca ₂ [Si ₈ O ₁₈ (OH) ₂]·6H ₂ O	<i>P2₁/c</i>	6.4897	6.9969 94.597	26.714	[6, 8]
криптофиллит K ₁ Ca ₂ [Si ₈ O ₂₀]·10H ₂ O	<i>P2₁/n</i>	6.4934	6.9919 94.680	32.087	[6, 8]
Двухслойные <i>группа родезита</i>					
родезит KCa ₂ [Si ₈ O ₁₈ (OH)]·6H ₂ O	<i>Pmat</i>	23.416	6.555	7.050	[10]
макдональдит BaCa ₂ [Si ₈ O ₁₈ (OH)]·10H ₂ O	<i>Cmcm</i>	14.081	13.109	23.560	[11]
монтереджианит-(Y) KNa ₂ Y[Si ₈ O ₁₉]·5H ₂ O	<i>P2₁/n</i>	9.512	23.956 93.85	9.617	[12]
<i>группа дельхайелита</i>					
дельхайелит K ₄ Na ₂ Ca ₂ [AlSi ₇ O ₁₉]F ₂ Cl	<i>Pmmn</i>	24.579	7.0575	6.5811	[13]
фивегит K ₄ Ca ₂ [AlSi ₇ O ₁₇ (O _{2-x} OH _x)][(H ₂ O) _{2-x} OH _x]Cl	<i>Pm2₁n</i>	24.335	7.0375	6.5400	[14]
гидродельхайелит KCa ₂ [AlSi ₇ O ₁₇ (OH) ₂]·(6-x)H ₂ O	<i>Pn2₁m</i>	6.648	23.846	7.073	[13]
Трехслойные					
гюнтерблассит (K,Ca) _{3-3x} Fe[(Si,Al) ₁₃ O ₂₅ (OH,O) ₄]·7H ₂ O	<i>Pm2₁n</i>	6.970	37.216	6.528	[21, 22]
умбрианит K ₇ Na ₂ Ca ₂ [Al ₃ Si ₁₀ O ₂₉]F ₂ Cl ₂	<i>Pmmm</i>	7.062	38.420	6.574	[23]
хиллесхаймит (K,Ca,П) ₂ (Mg,Fe,Ca,П)[(Si,Al) ₁₃ O ₂₃ (OH) ₆]OH·8H ₂ O	<i>Pmmm</i>	6.979	37.182	6.530	[24]

как часть двойного слоя в родезите, а затем нашли в однослойных силикатах шлыковите и криптофиллите.

Шлыковит и криптофиллит — водные калий-кальциевые слоистые силикаты, схожие между собой по набору химических компонентов, но разные по соотношению Ca:K (1:1 в шлыковите и 1:2 в криптофиллите).

Шлыковит назван в память о российском ученом В.Г.Шлыкове — преподавателе геологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Имя криптофиллита, имеющего листоватый характер кристаллов, происходит от греческих слов *κρυφός* (скрытый) и *φύλλον* (лист). Оба минерала найдены в карьере апатитового рудника Центральный на горе Расвумчорр Хибинского щелочного массива (Кольский п-ов). Прозрачные, бесцветные или слабо окрашенные в светлые желтоватые тона кристаллы шлыковита и криптофиллита визуально неотличимы друг от друга. Нередко они образуют тесные сростания, причем если пластинчатые кристаллы шлыковита могут обособиться, то криптофиллит встречается только в сростках со шлыковитом.

В криптофиллите тетраэдрические T-слои имеют состав [Si₄O₁₀], а в шлыковите — [Si₄O₉(OH)]. Слои обоих минералов образуют тройные TOT-пакеты, в которых центральный O-фрагмент представлен прямыми колоннами реберно связанных CaO₅(H₂O)-октаэдров. Тетраэдрические слои сдвинуты относительно друг друга на 1/2 (рис.2). Пространство между TOT-пакетами занято только молекулами воды в шлыковите и молекулами воды и атомами калия — в криптофиллите. Присутствие крупного щелочного катиона в межпакетном пространстве структуры последнего приводит к увеличению расстояния между TOT-пакетами. Предполагается, что именно по этой причине криптофиллит менее стабилен и зарождается лишь на кристаллах своего более стабильного собрата [8].

Маунтинит — гидратированный силикат с хорошо ограниченными кристаллами белого цвета длиной до 2 мм — назван в честь минералога Э.Д.Маунтина.

Кристаллическая структура маунтинита изучалась на образце из пегматита жилы Юбилейной (гора Карнасурт, Ловозеро, Кольский п-ов) [5]. Порошковая программа показала полное его сходство с описанным более 50 лет назад, но структурно не ис-

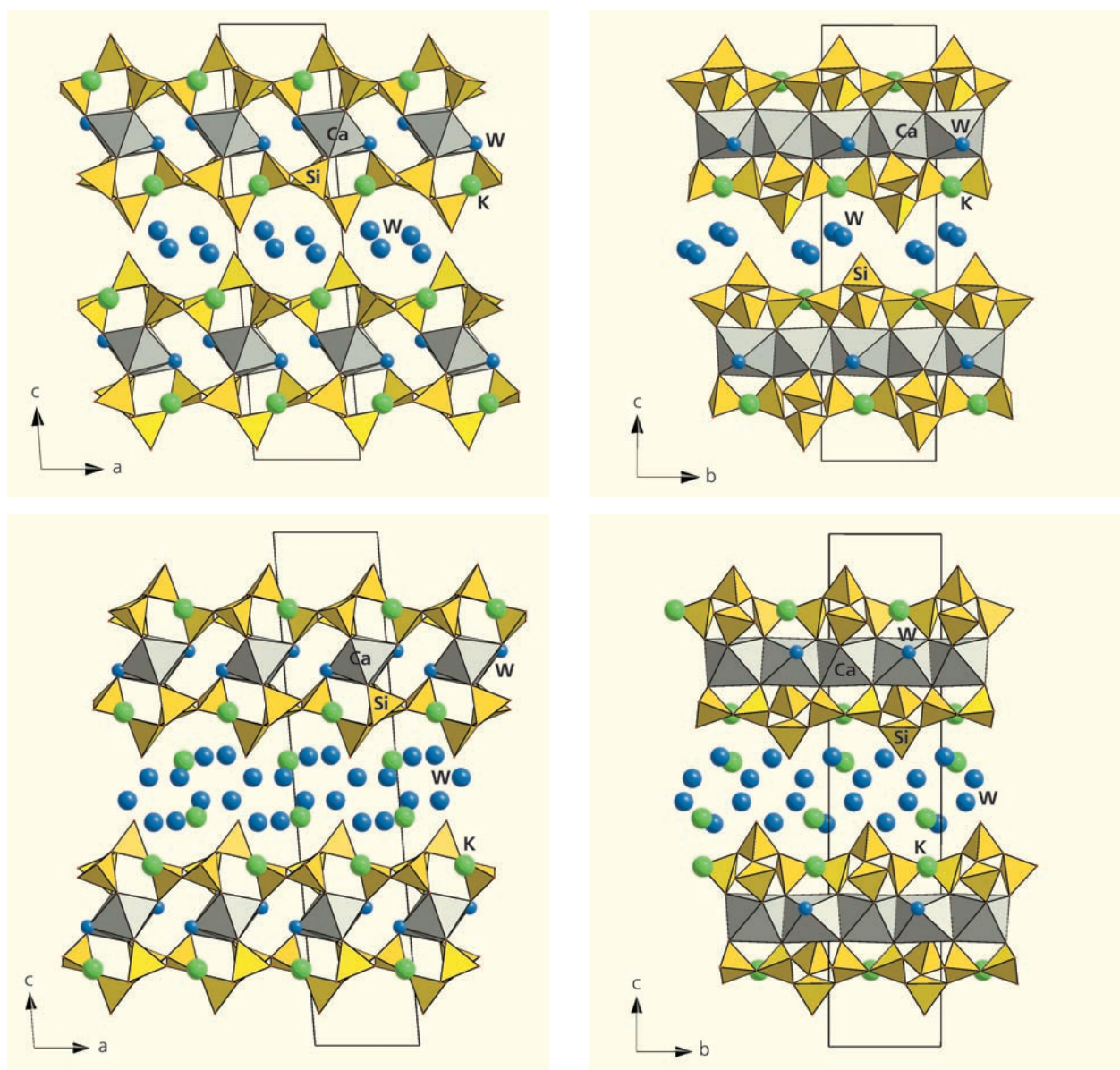


Рис.2. Кристаллическая структура однослойных силикатов в двух проекциях: шлыковита (вверху) и криптофиллита.

следованным маунтинитом из месторождения Кимберли в ЮАР [9].

В *T*-слое состава $[\text{Si}_4\text{O}_9(\text{O},\text{OH})]$, как и в шлыковите—криптофиллите, в каждом четырехчленном кольце содержится один тетраэдр с противоположно ориентированной апикальной вершиной. Однако в шлыковите и криптофиллите ориентация четырехчленных колец одинакова в обоих направлениях, в то время как в маунтините она изменяется на противоположную вдоль осей *b* и *c*. Различаются эти минералы и строением *O*-слоя. В структуре маунтинита он состоит из зигзагообразных колонок $\text{CaO}_3(\text{OH})$ -октаэдров, а Si-кольца соединены то с одним, то с другим октаэдром (см. рис.3,*a,б*). В крупных полостях расположены К-десятивершинники и молекулы воды.

Из-за отличия в строении силикатного слоя маунтинит, хотя и близкий родственник шлыковита и криптофиллита, но не принадлежит их группе.

Двухслойные силикаты

Двухслойные силикаты с топологией шлыковита и криптофиллита (см. табл.) образуют группы родезита и дельхайелита. Они называются «меротипными», так как одинаковые силикатные модули (*T*-слой) чередуются с разным октаэдрическим фрагментом (*O*-слой), который представлен изолированными октаэдрами либо колоннами (или чередованием бесконечных и фрагментарных колонок), а также слоями из реберносвязанных окта-

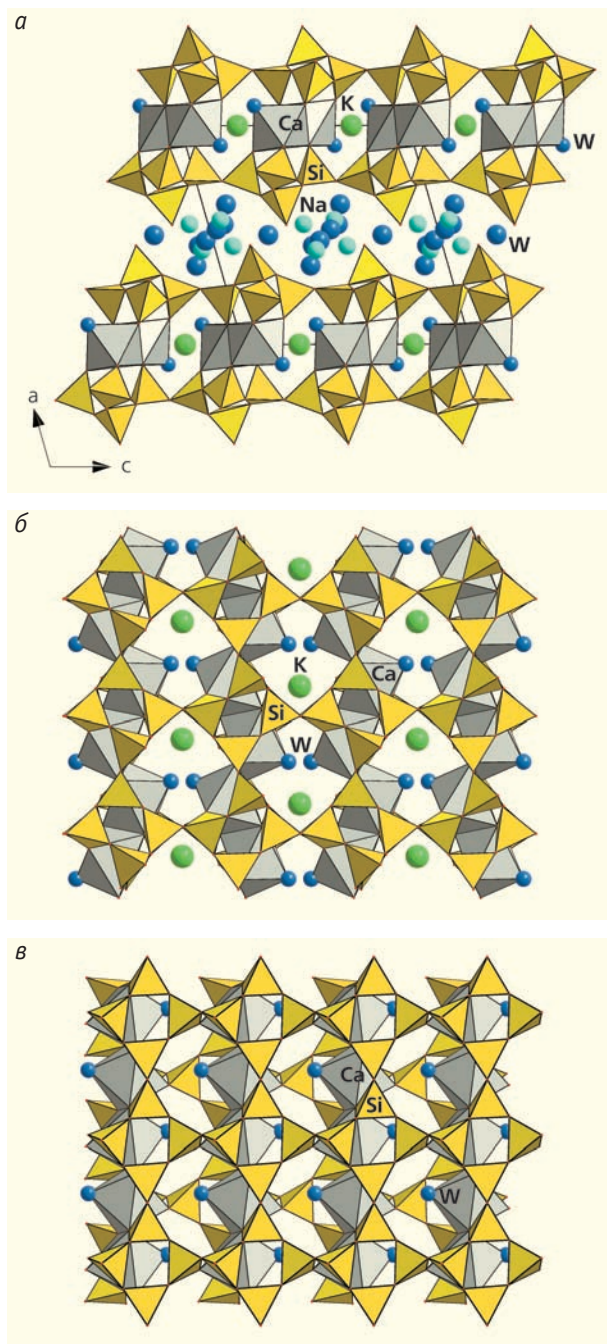


Рис.3. Кристаллическая структура маунтинита (а). Показаны TOT-пакеты маунтинита (б), шлыковита и криптофиллита (в), в которых видны зигзагообразные и прямые колонны Ca-октаэдров.

эдров. Двухслойные силикаты достаточно стабильны [15], и только присутствие крупных катионов в O-слое (например, Sr^{2+}) сильно влияет на конфигурацию двойного слоя, сжимая каналы вдоль направления [001].

Члены данного семейства характеризуются гетерополиэдрическими каркасами и могут рассматриваться в качестве микропористых [4]. Двойной

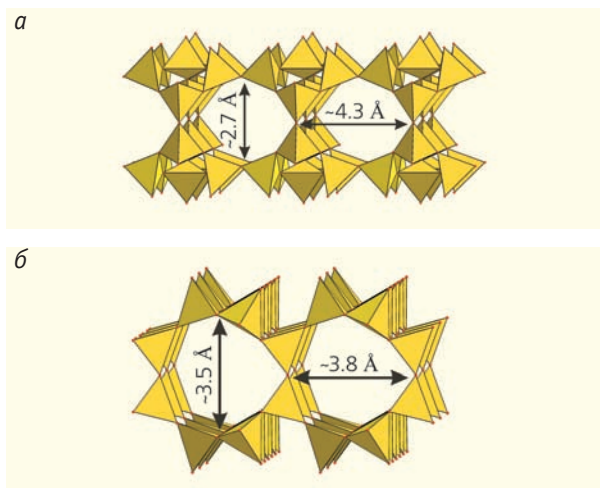


Рис.4. Системы взаимопроникающих каналов из восьмиленных колец в двухслойных структурах родезитового типа: канал I (а) и канал II (б).

слой $[Si_{16}O_{38}]$ содержит две системы взаимно проникающих каналов, которые идут вдоль двух коротких параметров ячейки. В сечении каналы образуют восьмиленные кольца. Первый тип (канал I) обладает эллипсоидальным сечением с эффективной шириной 2.7–4.3 Å, в то время как канал второго типа (канал II) имеет довольно правильную форму с сечением 3.5–3.8 Å (рис.4). В каналах размещаются атомы K и молекулы воды.

Родезит — белый волокнистый минерал, названный в честь С.Дж.Родса, основателя британской горнодобывающей компании, а также университета Родса в Грэхэмстоуне (ЮАР), где минерал исследовали. Нашел его на месторождении Бултфонтейн (ЮАР) все тот же Маунтин (в честь которого назван маунтинит).

Слоистые микропористые минералы, принадлежащие группе родезита, хорошо известны и привлекают внимание своими важными технологическими характеристиками [12, 16]. Их система каналов обеспечивает каталитические и сорбционные свойства. Экспериментально было показано, что дегидратированные синтетические монтереджиянит и родезит можно снова гидратировать [16]. Эти вещества использовались в качестве катализаторов для изомеризации D-глюкозы в D-фруктозу [17]. Родезитовая группа соединений с редкоземельными элементами обладает фотолюминесцентными свойствами [18]. (Na,Ca)-двухслойные минералы рассматриваются как потенциальный компонент цементов и бетонов [19].

Кристаллическая структура родезита (рис.5, см. табл.) содержит пакеты из сдвоенных тетраэдрических слоев и колонок реберно связанных кальциевых октаэдров. Поворотная ось 2, проходящая вдоль октаэдрической колонки, связывает верхний и нижний тетраэдрические слои пакетов, и диортогруппы находятся друг под другом.

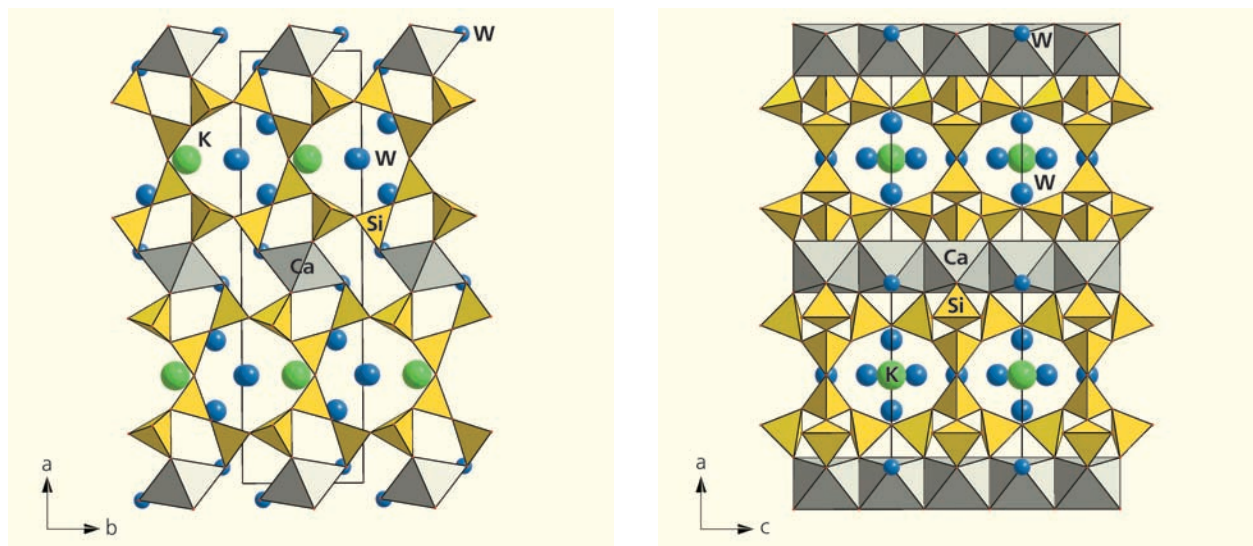


Рис.5. Кристаллические структуры минералов со структурным типом родезита, в двух проекциях.

На ячейку приходится два независимых пакета — исходный и энантиоморфный (зеркальный).

Макдональдит из месторождения Биг Крик (Калифорния, США) носит имя американского вуканолога Г.А.Макдональда [11], а **монтереджианит-(Y)** назван по месту находки в холмах Монтереджиан (Квебек, Канада) [12]. Оба минерала не устойчивы на воздухе, их дегидратация начинается при комнатной температуре, а заканчивается при 400°C. По структуре они близки к родезиту, но различаются составом и строением O-фрагмента. Если в макдональдите реберносвязанные Ca-октаэдры формируют (как и в родезите) колонки, то особенность монтереджианита — O-слой из реберносвязанных октаэдров $[YO_6]$ и $[NaO_4(H_2O)_2]$,

которые образуют октаэдрические смешанные восьмичленные кольца из двух маленьких правильной формы Y-октаэдров и шести крупных искаженных Na-октаэдров. В макдональдите в больших каналах двойного слоя находятся крупные Ва-полиэдры, а в структуре монтереджианита — 10-вершинники калия и молекулы воды.

Дельхайелит и члены его группы (см.табл.) отличаются от родезита присутствием Al в одной из Si-позиций. Из-за замещения $Al^{3+} \rightarrow Si^{4+}$ одинарные слои в их структурах соединяются через $(Al,Si)_2O_7$ -диортогруппы (рис.6).

История открытия и изучения дельхайелита насчитывает, как это нередко случается, десятилетия. В середине прошлого века М.Д.Дорфман

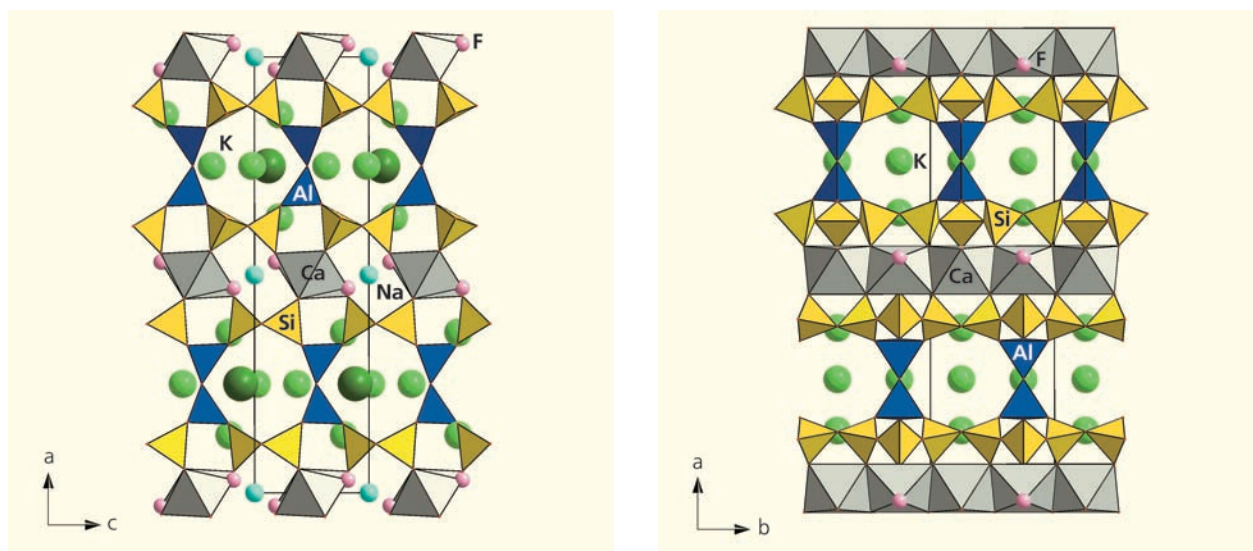


Рис.6. Кристаллические структуры минералов со структурным типом дельхайелита. В дельхайелите (справа) видны сдвиги T-слоев относительно O-колонки.

нашел в Хибинском массиве минерал и описал его как «минерал №3». А годом позднее близкий по составу, рентгеновским и оптическим данным минерал из лав вулкана Шахеру (Бельгийское Конго) назвали дельхайелитом в честь бельгийского геолога Ф.Дельхайе [19]. В дальнейшем похожие на дельхайелит призматические кристаллы длиной до 10 см, которые находили на горе Кукисвумчорр в Хибинском массиве [20], неоднократно изучались химически и структурно, но результаты приводили к различным формулам и симметрии. Причем, если содержание Na и Cl в минералах достаточно стабильно, то количества Ca и K варьируют. А содержание F в образцах из щелочных лав вулкана Олдоинио-Ленгаи в Танзании близко к 4 атомам на формулу, тогда как в большинстве хибинских образцов оно около 2.5 атомов. Причина таких вариаций до сих пор не установлена.

Дельхайелит очень нестабилен в постмагматических водных растворах (особенно слабощелочных). За счет выноса Na и F из междоульного пространства он переходит в фивегит и далее в **гидродельхайелит**. Этот переход сопровождается гидратацией с протонированием вершин Si-тетраэдров и включением H₂O-молекул и OH-групп в позиции фтора.

Структурное отличие TOT-пакетов (см. рис.6) в минералах группы дельхайелита заключается в том, что тетраэдрические слои сдвинуты относительно друг друга на 1/2. Мелкие ионы Na⁺ и F⁻ занимают пространство между пакетами, где их удерживают слабые связи, и потому они вымываются раньше, чем крупные K⁺ и Cl⁻, которые находятся в каналах внутри наиболее прочной части двойного слоя — тетраэдрического блока [14].

Фивегит найден в апатитовом руднике Центральный на горе Расвумчорр Хибинского щелочного массива. Он назван в честь российского геолога и горного инженера М.П.Фивеге, первым изучившего апатитовые месторождения в южной части Хибин.

Недавние детальные исследования дельхайелита из Кировского рудника на горе Кукисвумчорр, нового минерала фивегита с горы Расвумчорр, а также гидродельхайелита позволили разобраться в широком изоморфизме химического состава и кристаллохимии этих минералов. Все они характеризуются одинаковыми элементарными ячейками (см. табл.). Структуры их также похожи и содержат пакеты из двух одинаковых слоев апофиллитового типа. Однако тетраэдр, ориентированный свободной вершиной внутрь пакета и соединяющийся с аналогичным тетраэдром второго слоя, заселен Al и Si (см. рис.6). В связи с этим двухслойные тетраэдрические пакеты в фивегите и гидродельхайелите искажены, что приводит к понижению их симметрии (см. табл.).

Внутри тетраэдрического пакета [T₁₆O₃₈] вдоль осей *b* и *c* тянутся цеолитные каналы, в которых

находятся K и Cl. Между пакетами располагаются «стенки» из октаэдров [CaO₃F] и восьмивершинников [NaO₆F₂].

Фивегит, представляющий собой вторичный минерал, формируется на гидротермальной стадии по дельхайелиту. В дальнейшем под воздействием поздних гидротермальных растворов водно-прозрачные бесцветные тонкопластинчатые кристаллы фивегита превращаются в белые или бледно-сиреневые агрегаты гидродельхайелита. От дельхайелита фивегит отличается низким содержанием Na и F (до его полного отсутствия) и повышенным — H₂O. В гидродельхайелите (продукте выщелачивания межпакетного пространства дельхайелита и фивегита) из щелочных катионов в значительном количестве присутствует только K, галогены вовсе отсутствуют, а процесс выщелачивания сопровождается входением большого количества H₂O. Таким образом, переход дельхайелита в гидродельхайелит (который известен пока только в Хибинах) связан с выносом слабосвязанных компонентов F, Cl, Na и части K и замещением их на молекулы воды.

Можно считать, что фивегит — типичный трансформационный минерал, не способный самостоятельно кристаллизоваться из жидкой или газовой фазы (как и гидродельхайелит, происходящий из дельхайелита через стадию фивегита).

Существуют такие минералы, в которых двойные слои образуются на основе апофиллитовых сеток, но с ориентацией тетраэдров по другому типу. Например, сейдит-(Ce) и карлетонит [4, 7]. В их структурах половина тетраэдров четверных колец обращена в противоположную сторону (см. рис.1,2). Из-за этого мы не считаем ни сейдит-(Ce), ни карлетонит членами полисоматической серии шльковит—родезит.

Трехслойные силикаты

Дальнейшая полимеризация силикатных слоев [Si₈O₁₈] шльковит—криптофиллитового типа реализована в структурах минералов группы гюнтерблассита с тройными слоями [Si₁₃O₂₉]⁶⁻ (см. табл.).

Гюнтерблассит — представитель нового структурного типа [21, 22]. Основной фрагмент его структуры — трехслойный блок. Впервые обнаруженный в карьере горы Ротер Копф (земля Рейнланд-Пфальц, Германия) он назван в честь Гюнтера Бласса — известного немецкого исследователя, выполнившего большое количество анализов минералов. Об истории открытия гюнтерблассита и его строения мы уже писали в «Природе»*. Существование такого сложного тетраэдрического кремнекислородного слоя стало для всех полной неожиданностью. Минералоги ожидали,

* Расцветоваева Р.К. Родезит или гюнтерблассит? // Природа. 2012. №3. С.46–49.

что структура этого минерала будет подобна двухслойному родезиту, и отказывались верить структурщикам. Нам пришлось доказывать, что, хотя в основе гюнтерблассита и лежат такие же апофиллитовые слои, как в родезите, в нем они объединились не по два, а по три.

Строго говоря, гюнтербласситовый слой (рис.7) не образовался в результате формального утращения одинарного слоя. Внешние слои блока $[T_4O_{10}]$ топологически идентичны слоям в структурах шлыковита—криптофиллита и родезита—дельхайелита. Внутренний же слой содержит дополнительный тетраэдр, через который объединяются внешние слои, и, таким образом, он имеет состав $[Si_5O_{11}]$. Эти громоздкие пакеты связаны между собой семивершинниками, заполненными Fe, Mg и Ca.

Хиллесхаймит назван по месту находки в карьере Грауляй близ г.Хиллесхайм в Германии. Его уплощенные, прозрачные, желто-коричневые кри-

сталлы достигают в длину 1.5 мм. В структуре минерала такие же трехслойные блоки, как в гюнтерблассите, связаны колонками из реберносоединенных октаэдров, которые заняты в основном Mg. Особенность состава хиллесхаймита — высокое содержание молекул H_2O .

Умбрианит назван по месту находки на вулкане Пиан-ди-Челле в Умбрии (центральная Италия). Его бесцветные прозрачные кристаллы неустойчивы и в постмагматических гидротермальных условиях превращаются в гидратированную фазу, обогащенную Ba. На основе химического состава умбрианит сначала был описан как подобный дельхайелиту. И только после открытия гюнтерблассита его отнесли (как и хиллесхаймит) к структурному типу гюнтерблассита [23]. Это третий представитель группы. Основой его структуры также служит тройной кремнекислородный слой. Отличается он от своих соседей по группе составом и строением O-слоя, в умбрианите представленного колонками из реберносвязанных октаэдров $[CaO_3F]$, которые соединены восьмивершинниками Na.

Все постмагматические минералы группы гюнтерблассит—хиллесхаймит—умбрианит образовались из молодых вулканических пород, обогащенных калием. Поэтому в каналах их структур располагаются 10-вершинники K и атомы Cl.

Н.В.Чуканов с соавторами предполагают, что хиллесхаймит представляет собой трансформационный минерал, образовавшийся в результате гидратации и выщелачивания исходного безводного высококатионного минерала типа умбрианита с трехслойным алюмосиликатным пакетом [24].

Вместо заключения

Этот небольшой обзор минералов из различных регионов, но принадлежащих семейству родственных структур, показывает единство их строения при наличии структурного разнообразия тетраэдрических слоев. Причины такого разнообразия, по мнению некоторых исследователей, — химизм среды (в частности, избыток кремнезема приводит к возникновению структур с тройными и более сложными слоями и даже каркасами), температура, давление и скорость остывания природных растворов [25]. Для формирования простейших слоев достаточны более низкие температуры и медленные скорости образования, и наоборот, высокие температуры и быстрая кристаллизация способствуют формированию более сложных структур.

Семейство шлыковит—родезит—гюнтерблассит образует ряды с однослойными, двухслойными и трехслойными тетраэдрическими фрагментами (рис.8). Это — слоистые минералы, если TOT-пакеты в них не соединены между собой непосредственно и не создают смешанного каркаса. Но при дальнейшей полимеризации кремнекис-

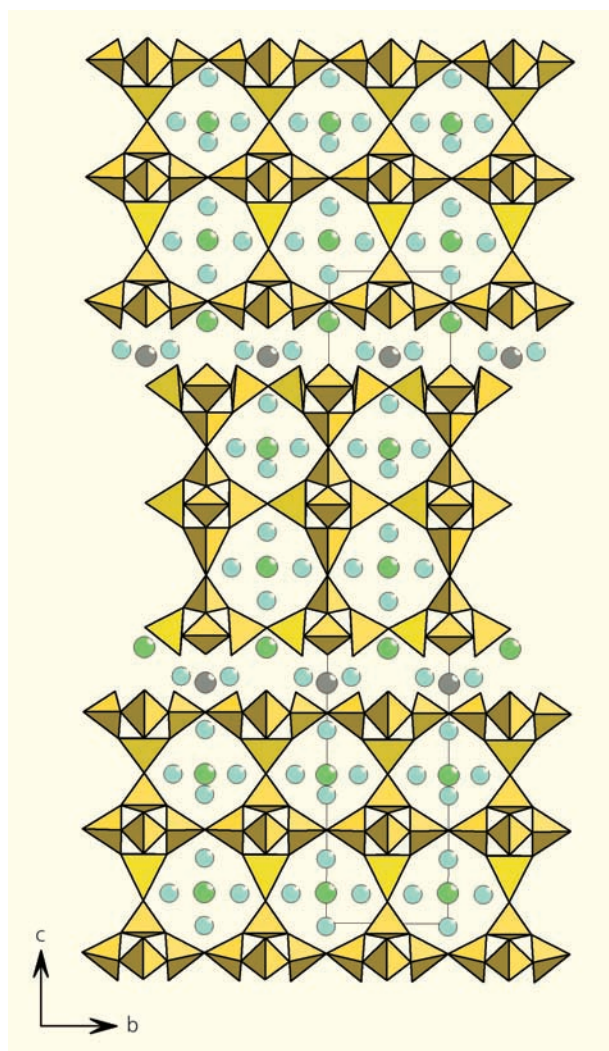


Рис.7. Трехслойные пакеты из тетраэдров SiO_4 . В структуре гюнтерблассита между ними располагаются атомы Fe, Mg и Ca.

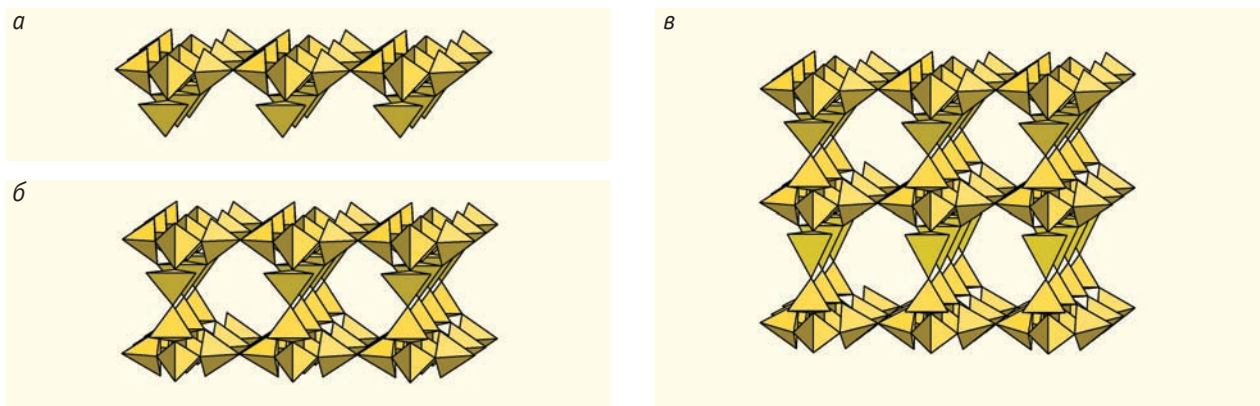


Рис.8. Тетраэдрические слои в структурах: однослойных шлыковита—криптофиллита (а), двухслойных родезита—дельхайелита (б), трехслойных гунтерблассита—умбрианита (в).

лородных слоев можно ожидать появление гипотетических структур, в которых трехслойные фрагменты будут объединены либо через дополнительные тетраэдры с формированием кремнекислородного каркаса цеолитного типа, либо через O-слои с образованием цеолитоподобного полиэдрического каркаса смешанного типа. В пер-

вом случае из-за отсутствия свободных вершин у тетраэдров формула каркаса очень простая — $[TO_2]_n$. Внедрение катионов в полости такого каркаса будет сопровождаться частичной заменой кремния Si^{4+} на алюминий Al^{3+} , что характерно для классических цеолитов. Но это совсем другой класс соединений и другая история. ■

Литература / References

1. *Либаву Ф.* Структурная химия силикатов. М., 1988. [*Liebau F.* Structural chemistry of silicates. Structure, bonding and classification. Springer, 1985.]
2. *Marriner G.F., Tarney J., Langford J.I.* Apophyllite group: effect of chemical substitutions on dehydration behaviour, recrystallization products and cell parameters. *Miner. Mag.* 1990; 54: 567–577.
3. *Соловьев М.В., Расцветоваева Р.К., Пушчаровский Д.Ю.* Уточненная структура кавансита. *Кристаллография.* 1993; 38(2): 264–267. [*Solov'ev M.V., Rastsvetaeva R.K., Pushcharovskii D.Yu.* Refined crystal structure of cavansite. *Crystallogr. Rep.* 1993; 38: 274–275.]
4. *Ferraris G., Belluso E., Gula A., Khomyakov A. et al.* The crystal structure of seidite-(Ce), $Na_4(Ce,Sr)_2[Ti(OH)_2(Si_8O_{18})](O,OH,F)_4 \cdot 5H_2O$, a modular microporous titanosilicate of the rhodesite group. *Can. Mineral.* 2003; 41: 1183–1192.
5. *Zubkova N.V., Pekov I.V., Pushcharovsky D.Yu., Chukanov N.V.* The crystal structure and refined formula of mountainite, $KNa_2Ca_2[Si_8O_{19}(OH)] \cdot 6H_2O$. *Z. Kristallogr.* 2009; 224: 389–396.
6. *Zubkova N.V., Filinchuk Y.E., Pekov I.V. et al.* Crystal structure of shlykovite and cryptophyllite: comparative crystal chemistry of phyllosilicate minerals of the mountainite family. *Eur. J. Mineral.* 2010; 22: 547–555.
7. *Chao G.Y.* The crystal structure of carletonite $KNa_4Ca_4Si_8O_{18}(CO_3)_4(OH,F) \cdot H_2O$, a double-sheet silicate. *Amer. Mineral.* 1972; 57: 765–778.
8. *Пеков И.В., Зубкова Н.В., Филинчук А.Е. и др.* Шлыковит $KCa[Si_4O_9(OH)] \cdot 3H_2O$ и криптофиллит $K_2Ca[Si_4O_{10}] \cdot 5H_2O$ — новые минералы из Хибинского щелочного массива (Кольский полуостров, Россия). *ЗРМО.* 2010(1): 37–50. [*Pekov I.V., Zubkova N.V., Filinchuk Ya.E.* Shlykovite $KCa[Si_4O_9(OH)] \cdot 3H_2O$ and cryptophyllite $K_2Ca[Si_4O_{10}] \cdot 5H_2O$, a new mineral species from the Khibiny alkaline pluton, Kola peninsula, Russia. *Geology of Ore Deposits.* 2010; 52: 767–777.]
9. *Gard J.A., Taylor H.F.W., Chalmers R.A.* An investigation of two new minerals: rhodesite and mountainite. *Miner. Mag.* 1957; 31: 611–623.
10. *Hesse K.-F., Liebau F., Merlino S.* Crystal structure of rhodesite, $HK_{1-x}Na_{x+2y}Ca_{2-y}\{1B,3,2^2\}[Si_8O_{19}] \cdot (6-z)H_2O$, from three localities and its relation to other silicate with dreier double layers. *Z. Krist.* 1992; 199: 25–48.
11. *Cannillo E., Rossi G., Ungaretti L.* The crystal structure of macdonaldite. *Atti Accad. Naz. Lincei Classe Sci. Fis.* 1968; 45: 399–414.
12. *Ghose S., Sen Gupta P.K., Campana C.F.* Symmetry and crystal structure of monteregianite, $K_2Na_4Y_2Si_{16}O_{38} \cdot 10H_2O$, a double-sheet silicate with zeolitic properties. *Amer. Mineral.* 1987; 72: 365–374.
13. *Пеков И.В., Зубкова Н.В., Чукуанов Н.В. и др.* Кристаллохимия дельхайелита и гидродельхайелита. *Докл. АН.* 2009; 428(4): 519–525. [*Pekov I.V., Zubkova N.V., Chukanov N.V. et al.* Crystal chemistry of delhayelite and hydrodelhayelite. *Doklady Earth Sciences.* 2009; 428: 1216–1221.]

14. Пеков И.В., Зубкова Н.В., Чуканов Н.В. и др. Фивегит $K_4Ca_2[AlSi_7O_{17}(O_{2-3},OH_x)]Cl$ — новый минерал из Хибинского щелочного массива (Кольский полуостров, Россия). ЗРМО. 2010; (4): 47–63. [Pekov I.V., Zubkova N.V., Chukanov N.V. et al. Fivegite $K_4Ca_2[AlSi_7O_{17}(O_{2-3},OH_x)](H_2O)_{2-x}OH_x]Cl$: a new mineral species from the Khibiny alkaline pluton of the Kola peninsula in Russia. *Geology of Ore Deposits*. 2011; 53: 591–603.]
15. Cadoni M., Ferraris G. Two new members of the rhodessite mero-pleisotype series close to delhayelite and hydrodelhayelite: synthesis and crystal structure. *Eur. J. Mineral*. 2009; 21: 485–493.
16. Lima S., Dias A.S., Lin Z. et al. Isomerization of D-glucose to D-fructose over metallosilicate solid bases. *Appl. Catal. A-Gen*. 2008; 339: 21–27.
17. Rocha J., Ananias D., Paz F.A.A. Photoluminescent zeolite-type lanthanide silicates. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, from *Comprehensive Inorganic Chemistry II* (Second Edition). 2013; 2: 87–110.
18. Richardson I. G. The calcium silicate hydrates. *Cement Concrete Res*. 2008; 38: 137–158.
19. Sabata Th.G., Hytonen K. Delhayelite, a new silicate from the Belgian Congo. *Miner. Mag*. 1959; 32: 6–8.
20. Дорфман М.Д., Белова Е.Н., Неронова Н.Н. Дельхайелит из Хибин. Труды Мин. Музея АН СССР. 1961; (12): 146–164. [Dorfman M.D., Belova E.N., Neronova N.N. Delhayelite from, Khibiny. *Tr. Miner. Muzeya AN SSSR*. 1961; (12): 146–164. (In Russ.).]
21. Расцветаева Р.К., Аксенов С.М., Чуканов Н.В. Кристаллическая структура гюнтерблассита — первого минерала с трехслойным тетраэдрическим пакетом. Доклады АН. 2012; 442(6): 766–770. [Rastsvetaeva R.K., Aksenov S.M., Chukanov N.V. Crystal structure of günterblässite, a new mineral with a triple tetrahedral layer. *Doklady Earth Sciences*. 2012; 442: 57–62.]
22. Чуканов Н.В., Расцветаева Р.К., Аксенов С.М. и др. Гюнтерблассит $(K,Ca)_{3-x}Fe[(Si,Al)_{13}O_{25}(OH,O)_4] \cdot 7H_2O$ — новый минерал, первый филлосиликат с тройным тетраэдрическим слоем. ЗРМО. 2012; 141(1): 71–72. [Chukanov N.V., Rastsvetaeva R.K., Aksenov S.M. et al. Günterblässite, $(K,Ca)_{3-x}Fe[(Si,Al)_{13}O_{25}(OH,O)_4] \cdot 7H_2O$, a new mineral, the first phyllosilicate with triple tetrahedral layer. *Geology of Ore Deposits*. 2012; 54: 656–662.]
23. Sharygin V.V., Pekov I.V., Zubkova N.V. et al. Umbrianite, $K_7Na_2Ca_2[Al_3Si_{10}O_{29}]F_2Cl_2$, a new mineral species from melilitite of the Pian di Celle volcano, Umbria, Italy. *Eur. J. Mineral*. 2013; 25: 655–669.
24. Чуканов Н.В., Зубкова Н.В., Пеков И.В. и др. Хиллесхаймит $(K,Ca,Al)_2(Mg,Fe,Ca,Al)[(Si,Al)_{13}O_{23}(OH)_6]OH \cdot 8H_2O$ — новый слоистый силикат группы гюнтерблассита. ЗРМО. 2012; (3): 29–39. [Chukanov N.V., Zubkova N.V., Pekov I.V. et al. Hillesheimite, $(K,Ca,Al)_2(Mg,Fe,Ca,Al)[(Si,Al)_{13}O_{23}(OH)_6]OH \cdot 8H_2O$, a new phyllosilicate mineral of the günterblässite group. *Geology of Ore Deposits*. 2013; 55: 549–557.]
25. Белоконева Е.Л., Топникова А.П., Димитрова О.В., Волков А.С. Новый слоевой силикат $KNa_2Tm[Si_8O_{19}] \cdot 4H_2O$, родственный родезиту—шлыквиту—дельхайелиту—умбрианиту—гюнтербласситу—хиллесхаймиту: тополого-симметричный анализ OD-семейства и предсказание структур. Кристаллография. 2014; 59(4): 578–588. [Belokoneva E.L., Topnikova A.P., Dimitrova O.V., Volkov A.S. $KNa_2Tm[Si_8O_{19}] \cdot 4H_2O$, a new layered silicate related to rhodessite—shlykovite—delhayelite—umbrianite—günterblässite—hillesheimite: Topology-symmetry analysis of the OD-family and structure prediction. *Crystallography Reports*. 2014; 59: 513–522.]

Secrets of the large family shlykovite-rhodessite-günterblässite

R.K.Rastsvetaeva¹, S.M.Aksenov¹

¹A.V.Shubnikov Institute of Crystallography, RAS (Moscow, Russia)

The layered silicate minerals are widespread in nature and are characterized by large diversity of their structures. Particular interest represent minerals with the structures based on silicate $[Si_4O_{10}]^{4-}$ -sheets with the apophyllite-topology which consists of four- and eight-membered rings of tetrahedra presented in the 1:1 ratio. This topology combines several types of sheets differ by the orientation of tetrahedra. The polymorphism of single-layered silicates was considered in details by Liebau which described 17 topologically different ways to link four-membered rings with different orientation of tetrahedra into 29 types of single layers. The solving of the crystal structure of shlykovite and cryptophyllite shows that their single layers have the topology of silicate sheet where one tetrahedron apical vertex looks in opposite direction with respect to the other three tetrahedra. This orientation of the four-membered rings is the same in both directions. The polymerization of these silicate sheets forms the rhodessite family minerals with $[Si_8O_{19}]^{6-}$ -double layers. Further polymerization of such silicate sheets realized in the structures of minerals of günterblässite family with $[Si_{13}O_{29}]^{6-}$ -triple layers. It can be supposed that a further increase in the number of layers will result in the formation of framework structures similar to those of tetrahedral zeolites. In this review was summarized the latest data about crystal structures and crystal chemical features of shlykovite—rhodessite—günterblässite polysomatic family of microporous heteropolyhedral silicates.

Keywords: layered silicates, crystal structure, topology of layer, orientation of tetrahedra, single-, double- and triple-layer silicates.

Нужны ли тихому Дону новые плотины?

Г.Г.Матишов

Южный научный центр РАН (Ростов-на-Дону, Россия)

Проведен анализ водопользования в бассейне Нижнего Дона. Рассмотрены реализованные планы строительства каскада донских гидроузлов, экономические и экосистемные последствия для южного региона нашей страны. Изучены варианты будущего строительства нового гидроузла и выполнена оценка возможных негативных изменений природных условий. Предложены пути рационального сбалансированного природопользования на юге России и варианты решения проблем судоходства на Нижнем Дону в условиях маловодья.

Ключевые слова: Дон, гидротехнические сооружения, природопользование, социально-экономические последствия, бассейн Нижнего Дона.

Тихий Дон. Дон-батюшка. Так называют местные жители главную реку Донского края с ее живописными берегами, уникальной природой и местным казачьим колоритом, который проявляется во всем: от одежды и жилища (казачий курень), говора и песен до особенностей рыбной ловли, умения обращаться с домашними животными (прежде всего лошадьми) и секретов обработки земли. Здесь выращивают знаменитые на всю Россию арбузы, огурцы, баклажаны (синенькие), абрикосы (жерделы) и, конечно, виноград. История его возделывания на Дону начинается от греков и насчитывает более 2.5 тыс. лет.

Тихому Дону посвящали свои строки сотни поэтов и писателей, в том числе — А.С.Пушкин, М.Ю.Лермонтов, А.П.Чехов и М.А.Шолохов.

Берега Дона населяют различные этносы — казаки, русские, украинцы, армяне, греки, калмыки и многие другие. Их история тесно связана с историей Российского государства. Кровопролитные войны и революции, масштабные стройки и преобразование природы — все это наложило отпечаток на жизнь людей, на их восприятие окружающего мира. Где бы ни находился коренной житель берегов Дона, даже за тысячи километров от дома, он всегда будет вспоминать донские рассветы и закаты, пение камышовок и соловьев, шелест рогоза (чакана) и камыша (куги), вкус знаменитой донской рыбы, прекрасный степной запах разнотравья с горькими нотками полыни.

Но сейчас тихому Дону плохо. Неразумная деятельность человека, изменение климата и затяж-



Геннадий Григорьевич Матишов, академик, председатель Южного научного центра РАН. Область научных интересов — общая география, геоморфология, океанология, рациональное природопользование.

ное маловодье последнего десятилетия привели к резкому ухудшению состояния реки, особенно в ее нижней части и в дельте. Не будет преувеличением сказать, что эти изменения имеют черты природной катастрофы.

Однако нужно помнить, что климат цикличен. Теплые и холодные периоды, засушливые и влажные годы чередуются, а их продолжительность влияет на водный баланс рек, урожайность сельскохозяйственных культур, воспроизводство речной и морской ихтиофауны, особенности миграции промысловых рыб. Для Приазовья и Нижнего Дона характерны периоды маловодий продолжительностью в 2–3 года и семь лет.

Эту закономерность в изменениях климата подметили еще наши предки. В одной казачьей песне есть такие слова: «Ой, ты Дон, ты наша родина, вековой наш богатырь! Многоводный и раздольный <...> Ты разлился вдаль и вширь. <...> Отчего ж ты, Дон, мелешь, высыхаешь с берегов?».

Внутривековая аридизация периодически приводит к деградации растительного покрова, почв и речного стока. Так, маловодье и засуха случились в годы Гражданской войны, это привело к голоду 1921 г. на Дону и в Поволжье. Печально известны



Цимлянский гидроузел.

Здесь и далее фото автора

засуха и голод 1946–1947 гг., настигшие Донской край после окончания Великой Отечественной войны и окончательно убедившие советское правительство строить Цимлянский гидроузел. В 2015 г. сток Дона снизился до минимальных значений за всю историю наблюдений (по печальному совпадению это вновь произошло одновременно с военными действиями — конфликтом в Донбассе), а объем половодья на Цимлянском водохранилище не превысил 4 км^3 (35% от нормы).

Цимлянское водохранилище и Нижний Дон — область конфликта интересов различных отраслей экономики, связанных с водопользованием и водопотреблением. Это рыбное хозяйство и рыболовство, водный транспорт, энергетика, хозяйственно-питьевое водоснабжение, сельское хозяйство и промышленность. Еще один естественный потребитель воды — экосистема Азовского моря, и прежде всего Таганрогского залива. К сожалению, этот факт при распределении водных ресурсов между обозначенными выше пользователями во внимание никогда не принимался. Вместе с тем основной целью эксплуатации системы гидроинженерных сооружений Нижнего Дона считается обеспечение достаточного объема и качества водных ресурсов.

В последние десятилетия объем речного стока в бассейне Дона неуклонно снижается. Это ведет к целому комплексу негативных последствий для экосистемы и народного хозяйства. Стали развиваться опасные гидролого-географические явления — маловодье, экстремальные сгоны и нагоны в дельте, заиление речных русел, осолонение Таганрогского залива, бурное «цветение» микроводорослей и многие другие.

Специалисты Южного научного центра РАН уже почти 15 лет ведут исследования рек, водохранилищ и морей юга России, опираясь на фактический материал, полученный в экспедициях. В предлагаемой читателю статье отражены результаты анализа экосистемных и социально-экономических последствий маловодья на Нижнем Дону [1, 2], показаны возможные последствия строительства нового гидроузла, предложены пути рационального сбалансированного природопользования на юге России.

История гидротехнического строительства на Нижнем Дону

В Донском крае всегда актуальным был вопрос, как наполнить реки водой. С начала XX в. строились грандиозные планы преобразований и перестройки речных магистралей. Некоторые из них удалось реализовать.

В 1953 г. введен в эксплуатацию Волго-Донской водный путь — целый комплекс гидротехнических сооружений, состоящий из Волго-Донского судоходного канала имени В.И.Ленина, связывающего Азовское и Черное моря с Каспием, и Цимлянского водохранилища, а также системы орошения и обводнения земель. Строительство гидроузла с водохранилищем должно было позволить регулировать необходимые для успешного судоходства глубины, улучшить водоснабжение, а также создать условия для орошения засушливых земель по берегам Дона и его притоков [3].

Одновременно с Цимлянской гидроэлектростанцией был построен Донской магистральный

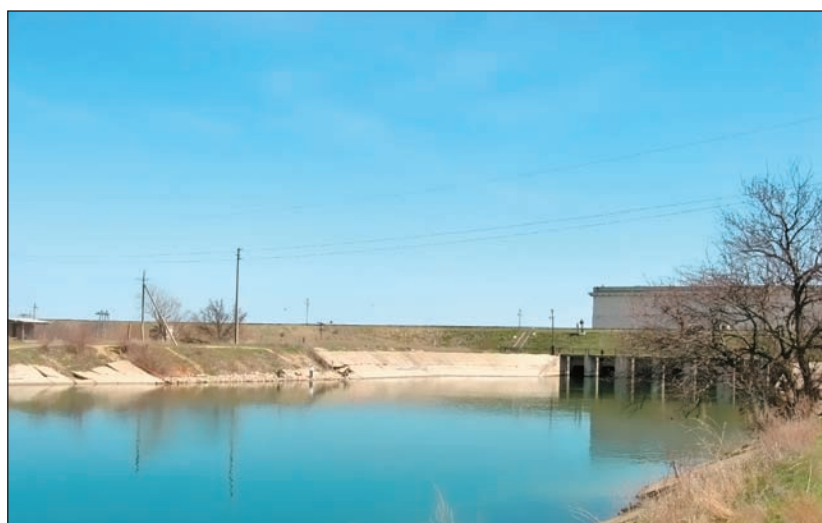


Гидротехнические сооружения бассейна Нижнего Дона. Значками показаны основные гидроузлы.

канал. Он начинается в Цимлянском водохранилище, в черте г.Волгодонска, пересекает водораздел между Доном и его притоком р.Сал, где уходит в туннель, и заканчивается в Веселовском водохранилище на р.Маньч. По магистральному каналу вода самотеком поступает в долину Сала, а затем разбирается на орошение по системе распределительных каналов — Нижнедонскому, Багаевскому, Садковскому, Верхнесальскому и др.

В 2014 г. исполнилось 100 лет Северско-Донецкой шлюзованной системе. Ее строительство было начато на правом притоке Дона — р.Северский Донец — в мае 1911 г. (после указа Николая II от 21 июня 1910 г.) и в основном завершено к осени 1913 г. Система возводилась для целей судоходства, ее каскад состоит из шести гидроузлов, построенных из долговечных материалов — бетона, камня, металла. Камеры шлюзов сделаны из блоков гранита, который за-

готавливался и обрабатывался в Финляндии. Общие затраты на строительство по ценам того времени составили более 5 млн руб. [3]. Над созданием Северско-Донецкой системы работала группа проектировщиков во главе с Н.П.Пузыревским



Донской магистральный канал.



Усть-Манычский гидроузел.

и команда строителей под руководством Ф.И.Левандовского [4]. Интересно, что гидроузлы предусматривали пропуск рыбы: для этого створки плотин можно было в любой момент опустить на дно реки. Сразу после окончания строительства на Северском Донце, в 7,5 км ниже по течению от его впадения в Дон, был возведен еще один гидроузел, названный Кочетовским.

В довоенные годы гидроузлы были построены также на левом притоке Дона — р.Маныч. В 1936 г. заработали Усть-Манычский и Пролетарский, а в 1941 г. — Веселовский гидроузлы, образовавшие одноименные водохранилища. В конце 1940-х годов к цепи водохранилищ присоединили оз.Маныч-Гудило. Вода в гидросооружения поступала из рек Северного Кавказа, а сток осуществлялся в Дон.

В целом строительство гидросооружений в бассейне Нижнего Дона оказало положительное влияние на хозяйство юга нашей страны. Стала развиваться социальная инфраструктура, появился речной грузовой и пассажирский флот, на берегах Дона развернулось мощное орошаемое земледелие. Все эти перемены были крайне важны в трудные послевоенные годы. Однако уже с 1950-х годов ситуация начала меняться.

Негативные последствия возведения гидроузлов

Гидроузлы и водохранилища Нижнего Дона должны были регулировать необходимые для успешного судоходства глубины и улучшать водоснабжение региона [3]. Но на этапе их проектирования не были учтены многие важные обстоятельства. Так, при оценке процесса наполнения Цимлянского водохранилища речной водой не рассматривалась возможность появления новых больших и малых водохранилищ в среднем и верхнем течении Дона. Не принималось в расчет возникновение более 7 тыс. запруд и лиманов, так называемых ставков на Нижнем Дону. Не была учтена цикличность климата, выражающаяся в чередовании продолжительных сухих и влажных периодов. Расчеты водности основывались на показателях самых влажных лет XX в., в частности 1941–1942 гг. [5], когда расходы воды в районе ст.Раздорской достигали 7000–9000 м³/с и выше. Спустя много лет, в 2015 г., максимальный расход воды на Цимлянском гидроузле составил всего 790 м³/с. В итоге ресурсов водохранилища не хватило, чтобы обеспечить необходимые навигационные попуски воды для судоходства.



Константиновский гидроузел.

Дефицит водных ресурсов в Азово-Донском бассейне возник и начал нарастать вскоре после строительства гидротехнических сооружений. В результате снижения скорости водотоков обмелели главное русло Дона и все его притоки и рукава в восточной части Таганрогского залива. Произошло заиление (мощность илового слоя достигла 1–3 м). Образовались новые острова. Дельта деформировалась и покрылась болотной растительностью. Ерики в дельте Дона, по которым еще в первой половине прошлого века в половодье скатывалась рыба на нересте, не только заросли, но и потеряли связь с главным руслом.

В маловодные годы сток из Цимлянского водохранилища сокращается настолько, что происхо-

дит усиление так называемой черноморской адвекции. Таганрогский залив осолоняется, его вода проникает вверх по течению Дона. В результате в г.Азов, с.Кагальник и хуторах, расположенных в дельте, людям приходится пить ощутимо соленую воду [6]. Например, 12 июня 2016 г. соленость воды в городском водопроводе составляла 1–3‰.

Проблему нехватки воды и мелководности судоходных путей в регионе пытались решить путем последовательного строительства новых гидроузлов в русле Дона. Однако это не помогло. На зарегулированном участке от Кочетовского до Цимлянского гидроузла по-прежнему сохраняются перекаты (например, Суходонецкий и Камышевский), создающие опасность для судоходства.



Дельта Дона. Показана область, покрывшаяся прибрежно-водной растительностью всего за пять лет.



Южная часть дельты Дона. На острове видна сеть малых ериков и проток.

Так, в 2013–2014 гг. здесь сели на мель суда «Сиг»* и «Павел Грабовский»**.

На этапе проектирования Цимлянского водохранилища существовал прогноз, согласно которому после запуска системы в эксплуатацию объемом промышленного вылова рыбы выше верхнего бьефа (в самом водохранилище и впадающих в него реках) должен был возрасти в 20 раз [7]. Но этого не произошло. Предполагалось также, что строительство плотины нанесет значительный ущерб рыбному хозяйству Нижнего Дона. Прогнозировалось снижение рыбопромысловых уловов высокоценных рыб (белуги, осетра, севрюги, рыбца, донской сельди) на 75%. В реальности же к концу XX в. рыбное население здесь сократилось на порядок.

Регулирование стока привело к снижению объема или же полному отсутствию весенних половодий. В результате значительно сократилась площадь и нарушился режим затопления займищ (заливных лугов), расположенных ниже створа Цимлянского водохранилища. Тем не менее эти местообитания до сих пор служат естественными нерестилищами таких важных в промысловом отношении рыб, как лещ, судак и сазан.

Для снижения негативного воздействия плотины Цимлянского водохранилища и гидроузлов на биологические ресурсы создавались специальные проходы для рыб на гидротехнических сооруже-

* В Ростовской обл. буксиры сняли с мели судно «Сиг».
<http://161.ru/text/newsline/842511.html>

** В акватории Азова сел на мель сухогруз с пшеницей.
<http://161.ru/text/newsline/707537.html>

ниях, строились рыбоводные заводы и велось научно-обоснованное регулирование промысла. Однако за более чем 50 лет эксплуатации все рыбоводные хозяйства пришли в упадок. В середине XX в. в Азовском бассейне одних только осетровых ловили до 15 тыс. т в год. Сегодня же объемы вылова составляют 35–40 тыс. т малоценных видов рыб (черноморско-каспийской тюльки, серебряного карася). В ихтиофауне Азово-Донского бассейна стали преобладать виды-вселенцы, а аборигенные рыбы (украинская минога, русский осетр, стерлядь, севрюга, белуга, речной угорь, черноморская шемая, елец Данилевского, рыбец и др.) вошли в списки редких и исчезающих.

От Азовского взморья до Цимлянской плотины сотни гектаров лугов и сенокосов, бывших прудов и дренажных систем за-

росли кустарником и мелколесьем. Это изменило кормовую базу животноводства Ростовской обл.

Считается, что еще в 2002 г. Цимлянское водохранилище практически выработало свой ресурс. На водоеме развивается береговая абразия, он мелет, его дно заиливается, экстремально увеличивается биомасса микроводорослей.

На трассе Донского магистрального канала также произошли негативные изменения. Канал проложен по третьей надпойменной террасе Дона, сложенной мощной толщей макропористых лессовидных суглинков, залегающих на аллювиальных суглинистых и глинистых отложениях. Ложе канала целиком располагается на суглинках. Их рыхлая структура создает идеальные условия для абразии берегов и заилиenia русла. После 60 лет эксплуатации канала магистральный, распределительные и оросительные каналы пришли в упадок: заросли, обмелели, пострадали от обрушений и оползней, гидротехнические сооружения обветшали.

В долине Маныча из-за ошибок, допущенных на этапе проектирования гидроузлов, и недоучета различных факторов тоже не удалось сохранить стабильный уровень водной системы и избежать засоления части водохранилищ.

Все перечисленные явления крайне негативно влияют на природно-хозяйственный комплекс Донского края. Современное состояние многих гидротехнических объектов бассейна Нижнего Дона уже не позволяет им выполнять возложенные на них функции. Осушение болот и регулярно затопливаемых земель, орошение сельскохозяйственных угодий, борьба с засолением почв —



Заброшенный мелиоративный канал.

важнейшие хозяйственные проблемы, решение которых — одна из задач государства.

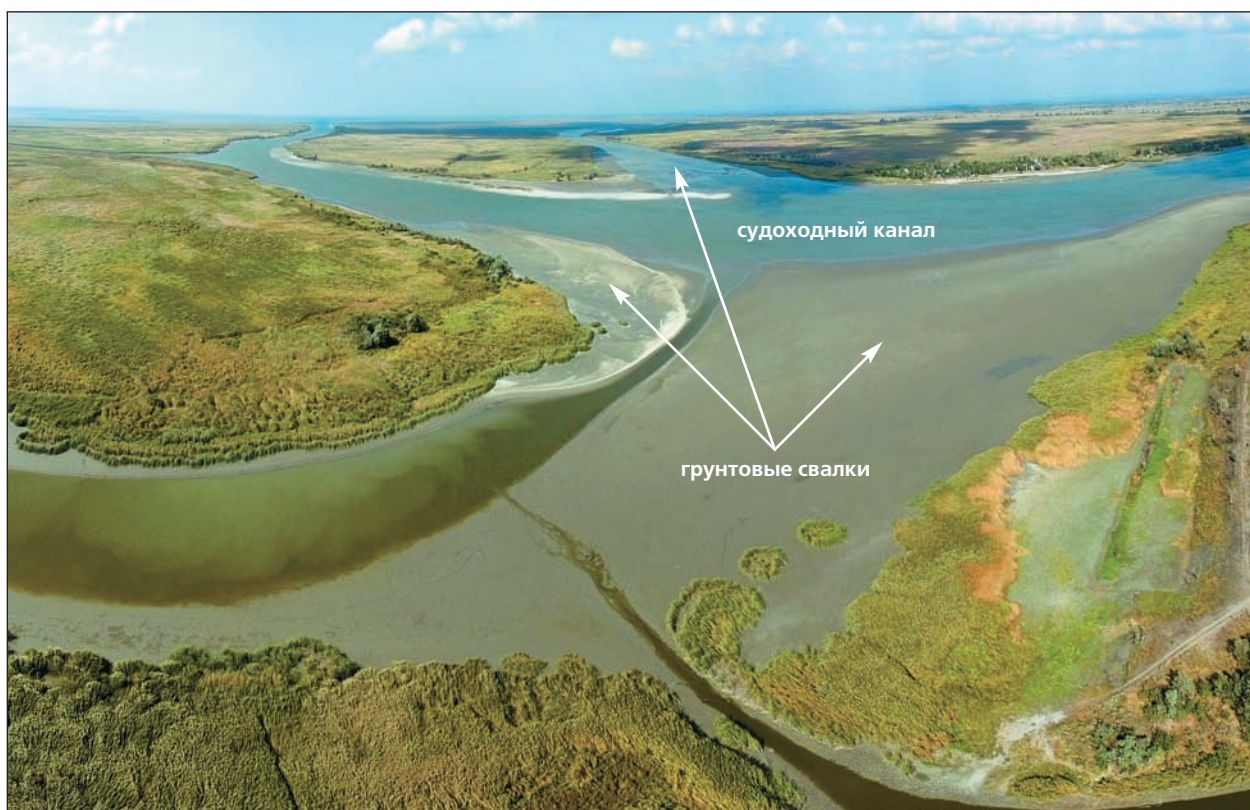
Новый Багаевский гидроузел

Река Дон, как основная водная магистраль, сегодня по-прежнему играет важную роль в экономике Ростовской обл. и Южного федерального округа России. Однако с начала XXI в., когда климат стал меняться в сторону аридизации, в Цимлянском водохранилище зафиксировано снижение объема и уровня воды. Площадь водного зеркала уменьшилась, а урез воды сместился на 100–300 м к центру водоема. В 2016 г. уровень вновь поднялся почти на метр, в том числе за счет ограничения объемов сброса, однако в конце апреля ниже Кочетовского гидроузла зарегистрировано снижение уровня воды на 2 м, что подтверждается положением следов обрастания водорослей на стенках шлюзов. Вместе с тем существует ведомственный регламент объемов суммарной гарантированной водоотдачи из Цимлянского водохранилища [8]. Запасы речной воды в первую очередь должны расходоваться на попуски, необходимые для поддержания судоходных глубин ниже створа Цимлянской плотины. Минимально гарантированный судоходный попуск составляет 340 м³/с. Нехватка воды в последние годы становится все более ощутимой.

Каскад нижнедонских гидроузлов планируется модернизировать таким образом, чтобы удовлетворить потребности судоходства в нижнем течении Дона, а также обеспечить необходимый объем воды, поступающей на орошение и водоснабжение. Для этого в районе хутора Арпачин, в 20 км выше по течению от крупнейшего города юга России — Ростова-на-Дону, вскоре начнется строительство нового Багаевского гидроузла. Проект включает возведение судоходного шлюза, плотины и других инженерных сооружений.

В результате реализации первого этапа строительства на участке, расположенном перед Кочетовским гидроузлом, планируется поднять уровень воды до отметки 2.8 м над ур.м. Это позволит обеспечить гарантированную минимальную глубину 3.4 м между Багаевским и Кочетовским гидроузлами. Русло станет безопасным для грузовых перевозок.

В то же время строительство нового гидроузла может привести к целому ряду нежелательных экологических и социальных последствий. Известно, что динамика уровня подземных вод в речных долинах напрямую связана с режимом речного стока. Вода из Багаевского будет поступать в Усть-Маньчское водохранилище. Произойдет затопление или подтопление прибрежной полосы между Новочеркасской ГРЭС и Кочетовской плотинной до станицы Багаевской, где находятся цен-



Притоки Дона, перекрытые незаконными свалками грунта после углубления судоходного канала.

ные плодородные почвы донской поймы. Могут усугубиться такие негативные явления, как заболачивание, засоление, возможно появление так называемых очагов сосредоточенной фильтрации, которые приведут к выносу грунта, особенно на пониженных участках рельефа. Например, с вводом в эксплуатацию Волго-Донского канала уровень грунтовых вод поднялся вдоль всей его трассы. В зоне вероятного затопления Багаевского гидроузла подземные воды в настоящее время находятся на глубине 3–5 м, а амплитуда сезонных колебаний достигает 1,5 м.

К серьезным экологическим последствиям, связанным с подъемом как уровня Дона почти на 3 м, так и грунтовых вод, можно отнести возможное засоление плодородных черноземов. Кроме того, неподалеку от зоны предполагаемого строительства находятся объекты туристическо-рекреационного комплекса и предприятия сельского хозяйства, в первую очередь виноградники, которым может быть нанесен непоправимый урон.

Интенсивный размыв и абразию берегов Таганрогского залива, Цимлянского водохранилища и судоходного канала, сложенных лессовидными суглинками, остановить уже невозможно. Заиление канала на участке от Цимлянска до Таганрога по-прежнему будет требовать регулярных дноуглубительных работ, затраты на которые станут возрастать из года в год. Необходимо отметить,

что в XXI в. сложилась негативная практика таких работ на Нижнем Дону. По экономическим причинам изъятый грунт не вывозится на официально определенные места свалок. Песчано-глинистые отложения складироваться в мелкие протоки, тем самым перегораживая их. Такую практику трудно будет изменить в случае сооружения Багаевского гидроузла.

Кроме всего прочего, строительство нового гидроузла полностью уничтожит возможность нереста донской сельди. Ее икринки просто не успеют вызреть при скатывании от гидроузла вниз по течению Дона и, попадая в залив, будут погибать или поедаться хищниками. Фактически вся популяция сельди исчезнет в течение 1–2 лет. Но ведь это не просто вкусная рыба, а традиционное блюдо жителей Дона. В честь донской сельди устраиваются грандиозные праздники, весной она в любом виде (соленом, копченом, жареном) всегда на столе, особенно у казаков — это неперемное блюдо на праздник Пасхи уже более 400 лет.

Выводы и рекомендации

В решении сложнейших гидротехнических вопросов требуется профессиональный подход и тщательный учет опыта, накопленного как в нашей стране, так и за рубежом. Ключевую роль в этом

процессе играет обучение кадров. Климатология, гидрология, флювиальная геоморфология, инженерная гидрометеорология — это далеко не полный перечень дисциплин, которые необходимо осваивать при профессиональной подготовке будущих специалистов в сфере мелиорации и ирригации [9, 10]. Проектирование и строительство новых судоходных шлюзов должно осуществляться квалифицированными специалистами с применением современных технологий и строительных материалов.

Скудность водных ресурсов Дона, Северского Донца и других притоков в ближайшие десятилетия сохранится. Целесообразно упорядочить водопотребление и ввести строгий контроль за использованием речной воды всеми отраслями народного хозяйства. Рациональное водопользование должно опираться на экосистемный подход, учитывать состояние растительного и животного мира, а следовательно, осуществляться в интересах будущих поколений.

На основе анализа природных и социально-экономических последствий маловодья в бассейне Дона можно рекомендовать следующее.

Для сохранения и развития судоходства и минимизации ущерба для речных экосистем необходимо предусмотреть закупки современных судов технического флота (земснарядов), строительство новых судов с осадкой до 3 м и грузоподъемностью до 3,5 тыс. т.

В сфере рыбного хозяйства требуется возродить естественное и заводское воспроизводство рыбы с применением новейших технологий аквакультуры [11]. Это приведет к восстановлению маточных стад ценных видов в Азовском море [12, 13].

Необходимо масштабное углубление судоходного канала и восстановление стока Дона, что создаст необходимые условия для нереста рыб и более эффективного использования имеющегося грузового флота.

Сельское хозяйство должно быть нацелено на подъем виноградарства и овощеводства, развитие перерабатывающей промышленности. Необходимо развивать мелиорацию: проводить расчистку заросших магистральных каналов, ликвидировать на малых реках ставки, запруды и т.д.

Прежде чем возводить какие-либо гидросооружения на крупных равнинных реках, необходимо использовать результаты анализа данных мониторинга водного режима и колебаний уровня воды [14, 15]. Так, развитие на Дону сети речных уровнемеров и автоматических гидрометеостанций — от г.Калач-на-Дону до с.Кагальник — позволит избежать повторения ошибок прошлого.

Задача академических институтов состоит в том, чтобы оценить все модели возрождения водного транспорта и эффективных грузоперевозок. Необходима межведомственная комплексная научная экспертиза достоинств и недостатков нового Багаевского гидроузла.

В заключение отмечу, что проектирование нового гидроузла с весны 2017 г. идет полным ходом. Изыскательские работы проводятся частными компаниями, а организации Российской академии наук, работающие как в Москве, так и на юге России, не привлечены к разработке и оценке проектных решений. Такая недальновидность заказчика работ в лице Министерства транспорта РФ может привести к ошибкам, которые станут фатальными для природы и жителей Донского края. ■

Исследования проведены в рамках Государственного задания №01201450487 «Анализ динамики природных систем на основе мегабаз данных за многолетний (XIX–XX вв.) период наблюдений для выявления и прогнозирования экстремальных природных феноменов, опасных для социально-экономического развития густонаселенных территорий юга России» и ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» проект RFMEFI60716X0163.

Литература/References

1. Матишов Г.Г. Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики. Доклад на расширенном заседании Президиума Южного научного центра РАН (г.Ростов-на-Дону, 25 мая 2016 г.). Ростов-на-Дону, 2016. [Matishev G.G. Climate, water resources and reconstruction of hydraulic structures, taking into account the interests of the population, fisheries and agriculture, shipping and energy. Report at the enlarged meeting of the Presidium of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Rostov-on-Don, 25 May 2016). Rostov-on-Don, 2016. (In Russ..)]
2. Матишов Г.Г. Экологические и социально-экономические последствия реконструкции гидротехнических сооружений на Нижнем Дону. Наука Юга России. 2016; 12(4): 41–49. [Matishev G.G. Ecological and socio-economic effects of hydro-technical facilities reconstruction in the Lower Don region. Science in the South of Russia. 2016; 12(4): 41–49. (In Russ., Abstr. in Engl..)]
3. Белов В.А. Сравнительная оценка гидростроительства на примере сооружения судоходных шлюзов в Ростовской области. Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014; 4(17): 64–69. [Belov V.A. Comparative evaluation of hydraulic engineering on the example of navigation locks construction in Rostov Region. Vestnik SGASU. Urban construction and architecture. 2014; 4(17): 64–69. (In Russ., Abstr. in Engl..)]

4. Пузыревский Н.П. Изыскания на р.Северском Донце в 1903 и 1904 гг. и проект устройства водного пути от Харькова и Белгорода до впадения р.Донца. СПб., 1910. [*Puzhyrevskiy N.P.* Research on the Severskiy Donets River in 1903 and 1904 and the project of the construction of a waterway from Kharkov and Belgorod to the confluence of the Donets River. Saint-Petersburg, 1910. (In Russ.)]
5. Матишов Г.Г., Гаргона Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л. Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М., 2006. [*Matishov G.G., Gargona Yu.M., Berdnikov S.V., Dzhenyuk S.L.* Regularities of ecosystem processes in the Sea of Azov. Moscow, 2006. (In Russ.)]
6. Матишов Г.Г. Случаи экстремальной адвекции соленых вод в дельту Дона и льда в Керченский пролив. Доклады Академии наук. 2015; 465(1): 99–103. [*Matishov G.G.* Extreme saline water advection into the Don River delta and ice advectations into Kerch Strait. *Doklady Earth Sciences*. 2015; 465(1): 1154–1158.]
7. Волго-Дон: Технический отчет о строительстве Волго-Донского судоходного канала имени В.И.Ленина, Цимлянского гидроузла и оросительных сооружений, 1949–1952. Ред. акад. С.Я.Жук. 1. Общее описание сооружений. М., 1957. [*Volgo-Don: Technical report on the construction of the Volga-Don Canal named after V.I.Lenin, Tsimlyansk hydroelectric complex and irrigation facilities, 1949-1952. Ed. acad. S.Ja.Zhuk. 1. General description of structures. M., 1957. (In Russ.)*]
8. Основные положения правил использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища на р.Дон. М., 1965. [*The main provisions of the rules for the use of water resources Tsimlyansk reservoir on the Don River. Moscow, 1965. (In Russ.)*]
9. Матишов Г.Г., Клещенок А.В. Кубанский паводковый кризис. Климат, геоморфология, прогноз. Крымск, июль 2012 г. Ростов-на-Дону, 2012. [*Matishov G.G., Kleshchenkov A.V.* The Kuban flood crisis. Climate, geomorphology, forecast. Krymsk, July 2012. Rostov-on-Don, 2012. (In Russ.)]
10. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Швердяев И.В. Обстоятельства затопления Олимпийской деревни в Адлере. Отчет о результатах экспедиции по маршруту Туапсе—Сухуми (01–08.08.2015). Ростов-на-Дону, 2015. [*Matishov G.G., Matishov D.G., Sheverdyayev I.V.* The circumstances of the flooding of the Olympic village in Adler. Report on the results of the expedition on the route Tuapse-Sukhumi (01-08.08.2015). Rostov-on-Don, 2015. (In Russ.)]
11. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Пономарева Е.Н. и др. Опыт выращивания осетровых рыб в условиях замкнутой системы водообеспечения для фермерских хозяйств. Ред. акад. Г.Г.Матишов. Ростов-на-Дону, 2006. [*Matishov G.G., Matishov D.G., Ponomareva E.N. et al.* Sturgeon breeding in a closed water supply for farms. Ed. acad. G.G.Matishov. Rostov-on-Don, 2016. (In Russ.)]
12. Матишов Г.Г., Пономарева Е.Н., Журавлева Н.Г. и др. Практическая аквакультура. Ростов-на-Дону, 2011. [*Matishov G.G., Ponomareva E.N., Zhuravleva N.G. et al.* Practical aquaculture. Rostov-on-Don, 2011. (In Russ.)]
13. Матишов Г.Г., Пономарева Е.Н., Лужняк В.А., Старцев А.В. Результаты ихтиологических исследований устьевого взморья Дона. Ростов-на-Дону, 2014. [*Matishov G.G., Ponomareva E.N., Luzhnyak V.A., Startsev A.V.* Results of ichthyologic studies in the Don delta — sea shore area. Rostov-on-Don, 2014. (In Russ.)]
14. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Бердников С.В. и др. Внутривековые флуктуации климата Азовского моря (по термохалинным данным за 120 лет). Доклады Академии наук. 2008; 422(1): 106–109. [*Matishov G.G., Matishov D.G., Berdnikov S.V. et al.* Secular climate fluctuations in the Sea of Azov region (based on thermohaline data over 120 years). *Doklady Earth Sciences*. 2008; 422(1): 1101–1104.]
15. Матишов Г.Г., Моисеев Д.В., Бердников С.В. и др. Совместные подходы ММБИ, ЮНЦ и Лаборатории климата океана НОАА (США) к организации океанографических и гидробиологических баз данных арктических и южных морей России. Труды Кольского научного центра РАН. Океанология. 2013; 1: 135–152. [*Matishov G.G., Moiseev D.V., Berdnikov S.V. et al.* Joint MMBI, SSC RAS and OCL NOAA approach to oceanographic and hydrobiological database organization for the Arctic and Southern Seas of Russia. *Proceedings of the Kola Science Centre RAS. Oceanology*. 2013; 1: 135–152. (In Russ., Abstr. in Engl.)]

Do quiet Don river need new dams?

G.G.Matishov

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

The analysis of water use in the Lower Don basin is carried out. The implemented plans for the construction of a cascade of the Don hydropower stations, economic and ecosystem consequences for the southern region of our country are considered. Possible options for the future construction of a new hydroelectric complex have been explored and the possible negative changes in natural environments have been assessed. The ways of rational balanced nature management in the south of Russia and options for solving the problems of navigation on the Lower Don in conditions of low water level are proposed.

Keywords: Don river, hydraulic engineering constructions, environmental management, socio-economic impacts, the Lower Don basin.

Создание геопарка ЮНЕСКО в Башкирии

Р.А.Исмагилов^{1,2}, И.М.Фархутдинов¹, А.М.Фархутдинов¹

¹Башкирский государственный университет (Уфа, Россия)

²Институт геологии Уфимского научного центра РАН (Уфа, Россия)

В статье рассмотрены перспективы организации геопарка ЮНЕСКО в Республике Башкортостан — регионе с уникальными геологическими объектами, с богатой историей геологии и живописной природой. Включение геопарка в список ЮНЕСКО будет способствовать экономическому, научному и культурному развитию территории, а также международному сотрудничеству, широкой пропаганде научных достижений и росту национального престижа.

Ключевые слова: геопарк, ЮНЕСКО, памятник природы, Южный Урал, Башкортостан.

Ничто не может быть выше той радости, которую доставляет нам изучение природы. Тайны ее непостижимо глубоки; однако нам, людям, дано все дальше и дальше проникать в них своим взором.

Иоганн Вольфганг Гёте

Геологические знания можно назвать одним из первых двигателей прогресса, о чем свидетельствуют наименования периодов развития первобытного общества — каменный, медный, бронзовый и железный века. В Новом времени полезные ископаемые тоже не раз становились «краугольным камнем» исторических событий. Так, из отечественной истории известно, что разработка уральской руды позволила Петру I в краткие сроки обеспечить свою армию в 10 раз большим количеством орудий по сравнению с противником и одержать победу в Северной войне в 1721 г. Это привело к возникновению Российской империи. В победе СССР в Великой отечественной войне, которую называли «войной моторов», огромную роль сыграли запасы нефти в тылу страны — в Башкирии.

«Велико есть дело достигать во глубину земную разумом»*

Особенность науки о Земле в том, что история объекта исследований насчитывает более 4,5 млрд лет. Шотландский математик и географ Джон Плейфер (1748–1819) в 1803 г. под впечатлением от знаменитого геологического обнажения на мысе Сиккар-Пойнт в Шотландии писал: «Кажется, голова идет кругом, когда заглядываешь так далеко в эту бездну времени... начинаешь сознавать, насколько далеко иной раз может проникнуть разум по сравнению

с тем, на что отваживается воображение»**. Недаром геологию называют наукой мыслителей.

Известно немало примеров, когда интерес к науке у того или иного ученого пробуждала именно геология. Главным увлечением англичанина Родерика Мурчисона (1792–1871) в его 33 года была охота на лис. Однако после знакомства с Гэмфри Дэви (1778–1829), основателем первого в мире Геологического общества в Лондоне, Мурчисон посвятил себя геологии, прославившей его имя. Великий химик Антуан Лавуазье (1743–1794) начал свою научную деятельность с геологических исследований под вдохновляющим влиянием геолога и врача Жана-Этьена Геттара (1715–1786).

Популярность геологии была особенно высока в XIX в. Тогда лекции Абраама Вернера (1749–1817), автора теории непутизма, собирали в академии Фрайберга самую широкую аудиторию. Французский натуралист Жорж Кювье (1769–1832) вспоминал: «Студенты стекались сюда из всех цивилизованных стран. Здесь можно было встретить людей уже немолодых и достигших видного положения, которые старательно изучали немецкий язык, чтобы получить возможность припасть к стопам этого Великого оракула в науках о Земле»***.

Сегодня реальной возможностью возродить интерес общества к геологии может стать создание геопарка, своего рода музея под открытым небом, основные экспонаты которого — горы, геологические разрезы, минералы, палеонтологические остатки, полезные ископаемые, пещеры, ландшафты.

* М.В.Ломоносов о задачах геологии.

** Хеллем А. Великие геологические споры. М., 1985.

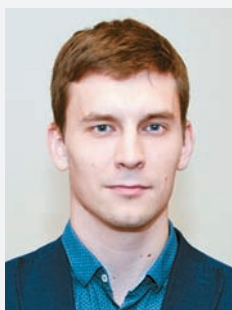
*** Там же. С.13.



Рустем Айратович Исмагилов, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики Башкирского государственного университета, старший научный сотрудник Института геологии Уфимского научного центра РАН. Круг научных интересов охватывает вопросы геотектоники и нефтяной геологии.



Исхак Мансурович Фархутдинов, кандидат геолого-минералогических наук, и.о. заведующего кафедрой геологии и полезных ископаемых Башкирского государственного университета. Специалист в области геотектоники, геоэкологии, медицинской геологии.



Анвар Мансурович Фархутдинов, кандидат геолого-минералогических наук, Ph.D, старший преподаватель той же кафедры. Область научных интересов — гидрогеология, термальные подземные воды, геоинформатика.

Движение по организации геопарков зародилось в 1990-е годы и постепенно охватило всю планету. Первые такие территории появились в Великобритании, Германии, Франции и других странах Европы, далее — в Восточной Азии, затем в Африке, странах Северной и Южной Америки. С 2004 г. ЮНЕСКО создает Всемирную сеть национальных геопарков в рамках Международной геонаучной программы, направленной на взаимодействие естественных наук, образования и культуры. Сегодня в 35-х странах мира насчитывается 127 геопарков ЮНЕСКО. Только в Китае из 138 таких парков в сети ЮНЕСКО — 35*.

В Российской Федерации на данный момент геопарков под эгидой ЮНЕСКО нет. Перспективная территория для организации подобного заповедника — Республика Башкортостан, третью часть которой занимает Южный Урал. Из всего Урала, простирающегося от Арктики до Средней Азии, именно Южный Урал — одна из самых интерес-

ных, с точки зрения геологии, областей. Корифей отечественной геологии, автор энциклопедии «Геология СССР» и первой геологической карты СССР, академик АН СССР Д.В.Наливкин (1889–1982) любил говорить: «Чтобы стать геологом, нужно поработать на Южном Урале» [1].

Здесь на небольшой территории сосредоточены сразу пять крупных тектонических структур, сложенных породами различного возраста: Предуральский предгорный прогиб (девон, карбон, пермь), Башкирский мегантиклинорий (рифей, венд), Зилаирский синклинорий (ордовик, силур, девон), Уралтауский антиклинорий (рифей, палеозой) и Магнитогорский мега-синклинорий (девон).

Из истории развития геологии в Башкирии

Геология в Башкортостане имеет богатейшую историю. Так, башкирский рудознатец Надыр Уразметов одним из первых указал на наличие нефти в Волго-Уральском регионе и в 1750-х годах впервые в Российской империи приступил к ее промышленной добыче и переработке. Белорецкий р-н Башкортостана,

где находятся основные запасы железных руд республики, — один из старейших горнорудных очагов России. Первый чугун здесь получили в 1767 г. Первое высшее горнотехническое заведение в России и второе в мире — Горный университет в Санкт-Петербурге — был построен в 1773 г. (всего на 7 лет позже Фрайбергской академии в Германии) по инициативе и на деньги башкирского рудопромышленника Исмаила Тасимова. Академик Д.И.Соколов (1788–1852), руководивший работами по геологической съемке горных округов Урала, в 1830 г. по этому поводу писал: «По своенравию судьбы, башкирцы были виновниками нашего просвещения в деле горном»**.

В 1937 г. Пермская экскурсия XVII Международного геологического конгресса включала посещение объекта на р.Сиказе под Стерлитамаком, где в известняках обнажается один из лучших в мире разрезов пограничных отложений девона и карбона.

* List of UNESCO global geoparks — список геопарков ЮНЕСКО (www.unesco.org, дата обращения 14.11.2017).

** Соколов Д.И. Историческое и статистическое описание Горного кадетского корпуса. СПб., 1830.

В 2017 г. исполнилось 85 лет со дня открытия башкирской нефти — Ишимбайского месторождения углеводородов в пермских отложениях, одного из первых на территории России. Тогда нефтепромыслы существовали только на юге страны — в Баку (с 1848 г.), в Краснодарском крае (с 1864 г.) и в Грозном (с 1893 г.). На долю первого приходилось 80% нефти. Новый нефтеносный регион стали называть «Вторым Баку». В 1937 г. на западе Башкирии в отложениях карбона открыли Туймазинское месторождение нефти, значительно превышающее Ишимбайское по площади. В 1944 г. в Туймазинском нефтеносном районе нашли месторождение девонской нефти, на тот момент — крупнейшее в СССР. Всего в республике около 200 месторождений, давших стране 1.5 млрд т нефти.

Как отмечалось выше, башкирская нефть помогла осуществить коренной перелом в Великой Отечественной войне. В связи с наступлением Гитлера в 1942 г. поставка нефти из Баку резко сократилась, а в Краснодарском крае и в Грозном нефтяные скважины по решению Государственного комитета обороны ликвидировали. В годы войны каждый третий танк работал на горючем из башкирской нефти. В послевоенное время республика оставалась важнейшим поставщиком нефтепродуктов для восстановления разрушенного хозяйства в стране. В 1955 г. Башкирия вышла на первое место в СССР по добыче «черного золота», достигнув максимума (47.8 млн т) в 1967 г., а с 1970 по 1980 г. добывала по 40 млн т жидкого топлива ежегодно. В результате Башкортостан, вчерашний аграрный регион, стал одним из лидеров промышленности страны. Сейчас годовая нефтедобыча составляет около 10 млн т*.

В XX в. были достигнуты выдающиеся научные успехи в области геологии. Так, Туймазинское месторождение стало первым в Урало-Поволжье, открытие которого основывалось не на внешних признаках нефтеносности, а исключительно на геологических данных. В начале 1950-х годов под руководством Ф.С.Куликова и Н.И.Мешалкина началась геологическая съемка и бурение глубоких скважин в области складчатого Урала в поисках новых нефтеносных районов. Результаты картирования Южного Урала позволили в 1960-х годах установить его аллохтонное (перемещенное) строение и перспективность поисков поднадвиговых месторождений углеводородов на всем протяжении складчатой области — от Мугоджар до полярных областей. Ученые Башкортостана отстаивали передовые мобилистские позиции в то время, когда в геологии еще господствовала фиксистская парадигма. В 1969 г. впервые в СССР здесь установили аллохтонное залегание офиолитов. Во второй половине 1970-х доказали шарьяжно-надвиговую структуру фундаментов древних и молодых плат-

форм. В 1980-е сравнительный анализ тектоники Урала с другими орогенными зонами впервые позволил прийти к выводу об аллохтонном залегании на континентах всех горных поясов мира. По результатам исследований была создана шарьяжно-надвиговая теория, впервые непротиворечиво, с единой точки зрения объяснявшая основные геологические процессы: складчатость, горообразование, осадконакопление, магматизм, метаморфизм, сейсмичность, а также формирование месторождений полезных ископаемых [2, 3].

В 1985 г. Башкирский обком КПСС принял постановление о бурении на Урале 10 глубоких скважин «для подтверждения новых теоретических положений и оценки нефтегазоносности структур в пределах горной и зауральской Башкирии». По существу, это был проект первого в мире геологического парка. Но пробурить успели только одну скважину — на западном склоне хребта Уралтау. В 1987 г. сменилось партийное руководство, и научно-производственную программу свернули.

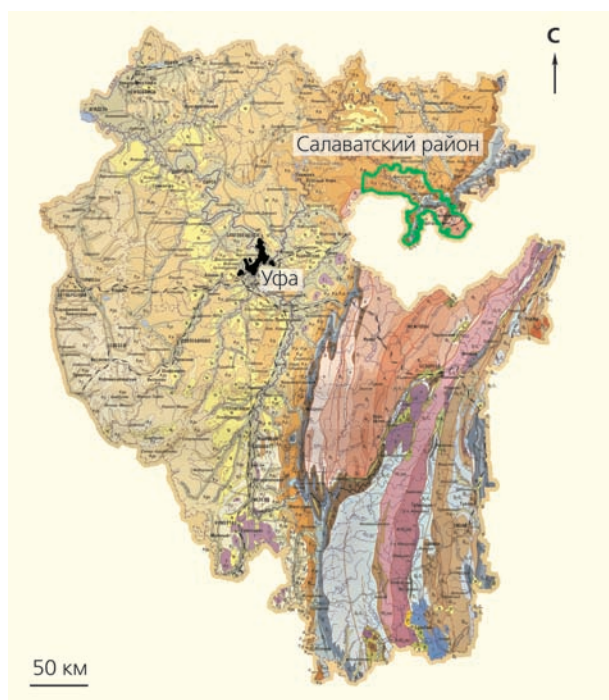
История геологии — это, прежде всего, люди: большой коллектив геологов, геофизиков, буровиков. Отражение вклада каждого из них в развитие отрасли — важная часть просветительских программ геопарка. Следует помнить и трагические страницы истории, когда многие геологи пострадали от массовых репрессий: в 1930-х годах на предприятиях нефтяной промышленности Башкирии арестовали 139 человек, 39 из них расстреляли, а спустя 20 лет все они были реабилитированы.

Уникальные геологические памятники Башкортостана

В пределах Южного Урала расположен целый комплекс интереснейших природных геологических объектов. Сюда относятся стратиграфические разрезы докембрийских и палеозойских отложений, палеонтологические находки. Особое место занимают Шиханы — рифовые массивы, образовавшиеся на дне древнего Пермского моря. Геоморфологические памятники представлены эрозионным и денудационным рельефом, древними речными террасами, карстовыми мостами. К гидрогеологическим объектам относятся пещеры (которых здесь более 900) общей протяженностью 100 км, а также подземные и термальные источники, водопады. Широким разнообразием отличаются тектонические структуры — надвиги, сдвиги, складки, хорошо доступные для осмотра. Большую минералогическую ценность представляет собой яшмовый пояс Южного Урала, который состоит из более 100 проявлений яшм. Изделия из них украшают многие музеи мира. Данный регион исключительно богат месторождениями железа, меди, цинка и др.

Примечательно, что на относительно небольшой площади Республики Башкортостан располо-

* Сегодня республика занимает девятое место в России по добыче нефти и первое — по переработке.



Геологическая карта Республики Башкортостан.

жены горные породы с возрастным диапазоном более 2 млрд лет. Для сравнения, в соседнем Татарстане возрастной диапазон отложений не превышает 250 млн лет.

Всего в Башкирии установлено более 220 уникальных геологических объектов: стратиграфических — 66, гидрогеологических — 31, минералогических — 29, геоморфологических — 23, тектонических — девять, историко-горно-геологических — восемь, один геотермический и один геокриогенный. 86 природных территорий имеют статус особо охраняемых. Из них — по 22 гидрологических и геологических, 19 ботанико-геоморфологических, 16 ботанико-гидрологических, шесть ботанико-спелеологических и две ботанико-геологических [4].

Реализации проекта по созданию геопарка способствует исключительная красота природы Башкортостана с богатейшим разнообразием ландшафтов. На протяжении менее чем 100 км здесь можно попасть из горной темнохвойной тайги в типичные южные степи. Немаловажное значение имеют доброжелательность и гостеприимство жителей республики, политическая и социальная стабильность и положительный опыт работы с экспертами ЮНЕСКО [5].

На сегодняшний день совместными усилиями сотрудников Института безопасности жизнедеятельности РБ, Башкирского государственного университета, Института геологии и Института биологии УНЦ РАН отправлена заявка в исполнительный комитет ЮНЕСКО о создании геопарка на территории Салаватского р-на, расположенного на северо-востоке Башкирии. Это живописная местность площадью 2182 км² и с населением



Выходы каменноугольных отложений у р.Юрюзань.

Здесь и далее фото авторов



Зона смятия во фронте Месягутовского надвига у деревни Ахуново.

около 25 тыс. человек. Экономика представлена сельским хозяйством.

Основная часть территории расположена на водоразделе рек Юрюзань и Ай. На юго-востоке высятся передовые хребты западного склона Урала, на севере — хребет Каратау. Северо-запад района тяготеет к Уфимскому плато.

С геологической точки зрения, большую ценность представляют стратотипический разрез башкирского яруса среднего карбона по р.Лаклы, выходы горных пород — от протерозойских (1 млрд лет) до четвертичных, а также гидрогеологические объекты (термальные проявления на горе Янгантау, источники Кургазак и сернистый Кусларовский), тектонические (зона смятия у деревни Ахуново, Юрюзанский сдвиг и Каратау-



Южный Урал, р.Белая.



Хребет Каратау.

ский надвиг) и геоморфологические (пещеры Кургазак и Лаклинская, каменные ворота на р.Ай).

Особый интерес представляет хребет Каратау — одна из ключевых структур в тектонике Уральской складчатой области. Именно здесь проходили первые работы по геологическому картированию Южного Урала в рамках государственной программы по изучению территории СССР, принятой в 1954 г. Тогда-то и был выделен Каратауский надвиг [6]. Это открытие стало поворотным событием в истории геологии: оно изменило предшествующие представления о вертикально-блоковом строении Урала [1, 7]. Исследования, проведенные в 2010–2013 гг., позволили выделить в пределах Салаватского р-на поднадвиговую зону, перспективную для поисков углеводородов [8, 9]. Создание геопарка будет способствовать продолжению исследований в этом чрезвычайно важном направлении.

Высокую научно-практическую значимость имеет изучение феномена Янгантау. Впервые эти уникальные геотермальные источники в 1770 г. описал П.С.Паллас: «Из открытых трещин (расселин) поднимается беспрестанно тонкий, против солнца дрожащий пар, к которому рукой прикоснуться невозможно, брошенная же туда кора или сухие щепки в одну минуту пламенем загорались,

в плохую погоду и в темные ночи кажется он тонким красным пламенем или огненным шаром в несколько аршин вышиной»*.

Сейчас существуют две основные гипотезы происхождения тепловой аномалии Янгантау. Первая объясняет образование геотермального источника трением шарьяжных пластин, вторая — подземным окислением и горением битуминозных сланцев. Комплексное исследование, включающее анализ температурных данных со скважин и химического состава воды, проведение геохимического опробования местности на основе современных аналитических методов и выполнение объемной 3D-модели с помощью геостатистических программ, даст возможность уточнить генезис этого термального явления и представить прогноз его эксплуатации.

* * *

Итак, геопарк — территория, где наглядно представлены геологическая история Земли, процессы формирования местных ландшафтов, образование пород и месторождений полезных ископаемых, сохранившиеся останки доисторических живот-

* Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российской империи. Часть вторая. Книга первая. СПб., 1786.

ных. Башкортостан, расположенный на стыке Европы и Азии, отличается исключительным разнообразием природных условий и ресурсов и имеет все предпосылки для создания геопарка. Уникальные геологические объекты республики могут служить представительной площадкой для научных экскурсий, фундаментальных исследований, популяризации естественнонаучных знаний, международного сотрудничества. Башкирская АССР была одним из первых регионов России, где начиналась разработка месторождений нефти и газа. Геологам Башкортостана принадлежит приоритет целого

ряда научных открытий мирового значения. История геологии — это судьбы людей, ученых и производственников, память о которых, в том числе незаслуженно забытых, — неотъемлемая часть культурно-просветительской работы.

Создание в Башкортостане геопарка со статусом ЮНЕСКО будет важным вкладом в образовательное, культурное и экономическое развитие республики. Организация такой территории подразумевает нравственное, бережное отношение к природе, объединение людей разных стран и национальностей, неравнодушных к своей планете. ■

Литература / Reference

1. Фархутдинов И.М., Исмагилов Р.А., Фархутдинов А.М., Нигматуллин А.Ф. Геологическое образование в Республике Башкортостан. Вестник Башкирского университета. 2016; 21(2): 333–339. [Farkhutdinov I.M., Ismagilov R.A., Farkhutdinov A.M., Nigmatullin A.F. Geological education in the republic of Bashkortostan. Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2016; 21(2): 333–339. (In Russ.)]
2. Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. М., 1974. [Kamaletdinov M.A. Cover structures of the Ural. Moscow, 1974. (In Russ.)]
3. Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Постников Д.В. Шарьяжные и надвиговые структуры фундаментов платформ. М., 1987. [Kamaletdinov M.A., Kazantsev Yu.V., Kazantseva T.T., Postnikov D.V. Overthrust-folding and over-thrust structures of platform basement. Moscow, 1987. (In Russ.)]
4. Реестр особо охраняемых природных территорий республиканского значения. Уфа, 2016. [The registry of specially protected natural territories of Republican value. Ufa, 2016. (In Russ.)]
5. Белан Л.Н., Богдан Е.А. Природно-рекреационный потенциал Республики Башкортостан: современное положение и перспективы использования // Стратегия устойчивого развития регионов России. 2012; (10): 73–77. [Belan L.N., Bogdan E.A. Natural recreational potential of the Republic of Bashkortostan: current situation and prospects of use. Strategy of sustainable development of Russian regions. 2012; (10): 73–77. (In Russ.)]
6. Камалетдинов М.А. Геологическое строение северного склона хребта Кара-Тау: отчет о НИР. Объединение «Башнефть», Стерлитамакская ГПК треста Башвостокнефтегазразведка; рук. М.А. Камалетдинов. Стерлитамак, 1955. [Kamaletdinov M.A. The geological structure of the Northern slope of the Kara-Tau: report on research. Bashneft Association, Sterlitamak GPK of the Bashvostokneftegazrazvedka trust; chief. M.A. Kamaletdinov. Sterlitamak, 1955. (In Russ.)]
7. Камалетдинов М.А. Ученые и время. Уфа, 2007. [Kamaletdinov M.A. The scientists and time. Ufa, 2007. (In Russ.)]
8. Камалетдинов М.А., Исмагилов Р.А. Перспективные пути развития нефтегазовой геологии в Башкортостане. Георесурсы. 2012; (8): 10–12. [Kamaletdinov M.A., Ismagilov R.R. Perspective ways of development of oil and gas Geology in Bashkortostan. Georesources. 2012; (8): 10–12. (In Russ.)]
9. Исмагилов Р.А., Фархутдинов И.М., Фархутдинов А.М., Хайрулина Л.А. Тектоника и перспективы нефтегазоносности зоны сочленения Юрюзано-Сылвенской депрессии и Уфимского амфитеатра. Георесурсы. 2015; 3(62): 43–48. [Tectonics and oil and gas potential of the junction zone of the Juruzano-Sylvensk depression and the Ufa amphitheater. Georesources. 2015; 3(62): 43–48. (In Russ.)]

Organisation of the UNESCO geopark in the Republic of Bashkortostan

R.A. Ismagilov^{1,2}, I.M. Farkhutdinov¹, A.M. Farkhutdinov¹

¹Bashkir State University (Ufa, Russia)

²Institute of Geology, Ufa Science Center, RAS (Ufa, Russia)

The perspectives of organization of the UNESCO geopark in the Republic of Bashkortostan — a region with unique geological objects, rich history of geology and picturesque nature, are considered in the article. Inclusion of the geopark in the UNESCO list will give an additional impetus to the economic, scientific and cultural development of the territory, will promote international cooperation, wide dissemination of knowledge and scientific achievements, as well as the growth of national prestige.

Keywords: geopark, UNESCO, natural monument, Southern Urals, Bashkortostan.

«Результат химической борьбы блестящий, посевы защищаются, настроение бодрое»*:

Борис Уваров и борьба с саранчой на Ставрополье в 1911–1914 годах

А.А.Федотова¹, А.В.Куприянов²

¹Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники имени С.И.Вавилова РАН (Санкт-Петербург, Россия)

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Санкт-Петербург, Россия)

Б.П.Уваров (1886–1970) приобрел мировую известность после переезда в Лондон (1920) как ортоптеролог и организатор борьбы с саранчой в колониях Британской империи. В статье рассматриваются первые шаги Уварова на поприще прикладной энтомологии в российский период его деятельности — участие в противосаранчовой кампании на Ставрополье в 1911–1914 гг., в ходе которой он сформировался как организатор мероприятий по борьбе с саранчой. 1900–1910-е — время апробации и распространения химических методов борьбы, вытеснявших менее эффективные механические. Новые технологии требовали полной реорганизации работ, с опорой на квалифицированный наемный труд и участие специалистов. Показана решающая роль Ф.Н.Лебедева (1858–1927), специалиста Департамента земледелия по борьбе с вредителями, в организации кампании, описаны технологии химической борьбы начала XX в., организация противосаранчовых команд и специфика работы в условиях политической системы и экономических отношений того времени.

Ключевые слова: история технологий, история сельского хозяйства, борьба с саранчой, инсектициды, Ставрополье, Российская империя, 1910-е годы, Борис Петрович Уваров, Федор Николаевич Лебедев.

В англоязычной литературе по истории прикладной энтомологии редко упоминаются российские специалисты и их достижения конца XIX — начала XX в. Очевидно, что причины этого связаны не с отсталостью Российской империи, а с языковым барьером: известно, что современники высоко оценивали успехи российских энтомологов (см. например, монографию «История прикладной энтомологии» Л.О.Говарда, главы Энтомологического бюро Агронического департамента США в 1894–1927 гг. [1, с.295–308]).

* Цитата из телеграммы Ф.Н.Лебедева от 02.06.1911 из с.Прасковья в Департамент земледелия. Российский государственный исторический архив (РГИА). Ф.398. Оп.71. Д.25750. Л.105–106.



Анастасия Алексеевна Федотова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник сектора истории технических наук и инженерной деятельности в Санкт-Петербургском филиале Института истории естествознания и техники имени С.И.Вавилова РАН. Специалист по истории прикладной биологии и экологической истории России XIX в. — первой половины XX в.



Алексей Валерьевич Куприянов, кандидат биологических наук, доцент департамента социологии в Санкт-Петербургской школе социальных и гуманитарных наук Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (Санкт-Петербург). Область научных интересов — история биологии и история университетов XVII в. — первой половины XX в.

Между тем ранняя история организации служб защиты растений в Российской империи важна не столько для поддержания мифов о национальном приоритете, сколько для анализа развития технологий борьбы с вредителями сельского хозяйства в мире.

Британский энтомолог русского происхождения Борис Петрович Уваров (1886–1970) заслужил репутацию как человек, научивший весь мир бороться с саранчой. Его достижения в фундаментальной ортоптерологии¹, в которой он оставил след прежде всего как создатель теории фаз саранчи и автор десятков названий таксонов, и организации противосаранчовых кампаний в колониях Британской империи были отмечены как научным сообществом, так и короной. Он был избран членом Лондонского королевского общества (1950), президентом Лондонского энтомологического общества (1959–1961), пожалован званием кавалера ордена Святого Михаила и Святого Георгия (1943). Со дня смерти Уварова прошло уже почти полвека, но до сих пор его имя с почтением произносят ортоптерологи разных стран².

Карьера Бориса Уварова как специалиста в области прикладной энтомологии началась, однако, не в колониях Британской империи, а в сухих степях Туркестана, Ставрополя и Закавказья. Он не только родился и получил образование в России, но и проработал здесь первые 10 лет, с июня 1910 г. до весны 1920 г. В этой статье мы попытаемся показать значение первых формирующих лет, сделав акцент на ставропольском периоде его деятельности (1911–1914). В эти годы ему довелось впервые столкнуться с массовым размножением саранчи, принять участие в первых в его жизни «саранчовых» кампаниях, приобрести ценные практические навыки, проявить свои организаторские способности и сформулировать ориентиры, которые позднее имели решающее значение для организации противосаранчовых служб в других регионах мира и в гораздо больших масштабах.

Уваров до Ставрополя

Борис Уваров родился 22 октября (3 ноября)³ 1886 г. в семье мелкого служащего Государственного банка в г. Уральске (ныне Казахстан). В 1906 г. он поступил в Санкт-Петербургский университет, где специализировался в области энтомологии⁴. В студенческие годы Уваров работал с коллекциями Зоологического музея Академии наук и Русского энтомологического общества,



Б.П.Уваров в его первый год в университете (1906). ЦГИА. Ф.14. Оп.3. Д.50126. Л.16 об.

в том числе под руководством А.П.Семенова-Тян-Шанского (1866–1942) — крупного энтомолога, биогеографа и систематика. Сочинение, представленное Борисом Петровичем факультету, было посвящено прямокрылым Уральской области (впоследствии опубликовано: [6]).

В 1909 г. Уваров, будучи на последнем курсе университета, обзавелся семьей, в которой спустя год родился сын Евгений⁵. Испытывая финансовые трудности, молодой ученый, вероятно, не мог позволить себе строить научную карьеру в области «чистой» зоологии. Возможно, в связи с этим, еще студентом он обратил внимание на менее престижную, но быстро развивающуюся сферу прикладной энтомологии, которая к этому времени успела оформиться как относительно самостоятельная область профессиональной занятости (см. например [1, 7]). В последние дни мая 1910 г., еще до завершения бюрократических процедур с получением диплома, Уваров с семьей уехал в Мургабское удельное имение в Байрам-Али (ныне Туркменистан), где кроме хлопковых плантаций и садов имелась небольшая энтомологическая станция⁶.

¹ От латинского названия отряда прямокрылых — Orthoptera, к которому относится семейство саранчовых (Acrididae).

² Оценку трудов Б.П.Уварова см., к примеру: [2, 3, 4].

³ Далее все даты, касающиеся событий в дореволюционной России, приводятся по старому стилю.

⁴ Детали ранней биографии Уварова см.: [5].

⁵ Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга (ЦГИА). Ф.14. Оп.3. Д.50126. Л.32–33.

⁶ РГИА. Ф.515. Оп.45. Д.983.

Основными задачами Уварова в Байрам-Али были изучение жизненных циклов вредителей местных сельскохозяйственных культур (в первую очередь хлопчатника) и разработка способов уничтожения этих вредителей. От работы на Мургабской станции осталась полемическая статья Уварова, в которой он критиковал наблюдения своего предшественника по станции Н.Симонова [8]. Общая атмосфера в удельном имении, условия жизни и жалование не вполне удовлетворяли Бориса Петровича, и уже осенью 1910 г. он начал подыскивать другое место¹. К весне 1911 г. он был назначен младшим специалистом по прикладной энтомологии при Департаменте земледелия² (далее — ДЗ) и командирован в Ставропольскую губернию для изучения саранчовых³.

Борьба с саранчой на Ставрополье до приезда Уварова

К моменту приезда Бориса Петровича в Ставропольскую губернию уже пятый год⁴ с переменным успехом шла борьба с очередной вспышкой саранчи. Поначалу применялись «механические» способы — законодательно закрепленные во всей империи, но малоэффективные. Принудительно собранные на работы местные жители (в основном крестьяне) под руководством представителей властей (чинов полиции, управлений государственных имуществ, губернаторских канцелярий или представителей земств, а также сельских старост) сгоняли недавно вышедшую из яиц, еще не

¹ В письме Семенову-Тян-Шанскому от 23 ноября 1910 г. Уваров, рассуждая о своих планах, писал, что «даже за такое короткое время занятий прикладной энтомологией» он «успел к ней привязаться, почувствовать глубокий интерес» и не хотел бы «бросать ее, меняя на другое занятие» (Санкт-Петербургский филиал Архива Российской Академии наук, СПФ АРАН. Ф.722. Оп.2. Д.1062. Л.5). Пока нам удалось найти сведения только об одной попытке Уварова перейти в область фундаментальной зоологии в российский период его жизни. В конце 1917 — начале 1918 года он обсуждал с Семеновым-Тян-Шанским возможность занять место старшего зоолога в Зоологическом музее Академии наук; впрочем, и тогда он не был уверен в возможности перемены службы: жалование в музее не позволило бы обеспечивать семью на прежнем уровне (Там же. Л.57–58, 60–61).

² Структура в сельскохозяйственном ведомстве правительства Российской империи, ведавшая в числе прочего агрономической (включая энтомологическую) помощью населению. Штаты ДЗ по прикладной энтомологии и борьбе с вредителями сельского хозяйства в конце XIX — начале XX в. стабильно росли.

³ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.26242. Л.186–187.

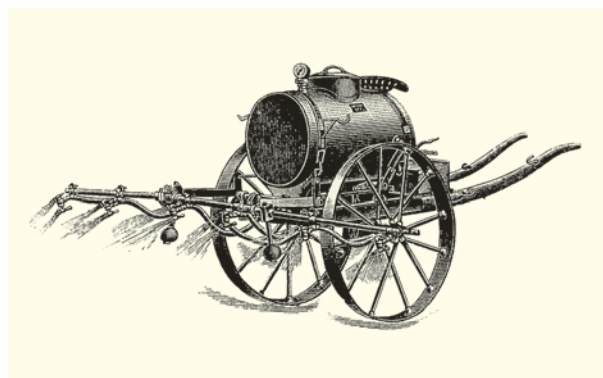
⁴ В отчетах Б.П.Уварова и Ф.Н.Лебедева (о котором пойдет речь ниже) обычно говорится, что вспышка началась в 1907 г., но имеются документы, указывающие на появление саранчовых в некоторых местностях губернии, а также на организацию работ против них еще в 1906 г. (РГИА. Ф.1291. Оп.131. Д.19–1907. Л.1).

окрылившуюся саранчу в канавы, где ее нужно было закапывать. Другой метод заключался в том, что пешую саранчу сгоняли в кучи, которые потом пытались сжечь, обкладывая насекомых соломой, обливая нефтью и прочими горючими материалами, которые, надо заметить, были дороги в засушливых безлесных районах. В некоторых случаях саранчу пытались давить с помощью скота: непосредственно копытами либо деревянными катками, в которые впрягали тягловых животных. Против стай окрылившейся саранчи никаких действенных мер не существовало.

К осени 1909 г. ставропольской администрации стало окончательно ясно, что механические методы истребления не приносят положительных результатов. Площади пораженных саранчой земель только росли, несмотря на то что на борьбу тратились значительные силы и средства. Помимо этого, поскольку на «саранчовых» работах часто использовался либо принудительный, либо низкооплачиваемый труд, местные власти опасались роста протестных настроений. В то же время из соседних регионов доходили сведения об успешном применении химического метода — опрыскивания инсектицидами на основе солей мышьяка, прежде всего швейнфуртской зелени⁵. Отметим, что к тому времени российские энтомологи успели не только познакомиться с химическим методом, но и издать целый ряд руководств и обзоров, адресованных сельским хозяевам (см. к примеру: [10, 11, 12]). Кроме того, швейнфуртская зелень и опрыскиватели разных систем применялись многими садоводами, а через ДЗ можно было заказать материалы и аппараты по оптовым ценам и без пошлины⁶.

⁵ Швейнфуртская (парижская) зелень, смешанный ацетат-арсенит меди (II) — $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$, в начале XIX в. использовалась как краситель, в том числе пищевой. Первые опыты применения ее как пестицида имели место в США в 1867 г. [9].

⁶ О закупках пестицидов через ДЗ в соответствии со ст. 2009 (Собр. Узак. и расп. Правит. 1903 г. №135) см.: РГИА. Ф.398. Оп.69. Д.23550; Ф.70. Д.25361, 25362, 25364 и др.



Конный опрыскиватель К.Платца [12, с.52].

Впервые использовать инсектициды ставропольские власти попытались еще в 1907 г. Канцелярия Б.М.Янушевича (губернатора Ставрополя в 1906–1916 гг.) вступила в переписку с земством Бессарабской губернии, которая также страдала от нашествия саранчи. Из Бессарабии ответили, что они успешно используют не только механические, но и химические методы. На основании этого благоприятного отзыва Ставрополь заказал конный опрыскиватель фирмы «Верморель» и швейнфуртскую зелень. Однако один пункт отзыва смутил ставропольских чиновников, ответственных за организацию противосаранчовых мер. По заключению одного из бессарабских агрономов, применение химического способа было возможно лишь там, где саранчовые кучбышки заложены на землях, «удобных для распашки и засева травой или хлебом, всходы которых отравляются путем опрыскивания». Ставропольская же губерния имела дело с кладками азиатской саранчи (*Locusta migratoria*) в плавнях и густых «камышках»¹, недоступных для распашки². По этой причине химический метод заочно признали неприменимым для Ставрополя, а заказ на опрыскиватель и швейнфуртскую зелень отменили.

В последующие два года из соседних регионов, а также от некоторых сельских хозяев Ставропольской губернии поступали все новые сообщения об удачных опытах применения инсектицидов³. Осенью 1909 г., после завершения очередной безуспешной кампании⁴, Янушевич вновь принял решение опробовать химический метод, но на сей раз проведя предварительную подготовку. Для этого губернатор обратился в ДЗ с просьбой рекомендовать метод более эффективный, чем механический, прислать специалиста по борьбе с вредными насекомыми, а также по возможности предоставить субсидию из казны: осенние разведки показали, что зараженные саранчой площади значительно увеличились по сравнению с прошлым сезоном, и местных средств на борьбу было бы недостаточно⁵.

¹ Как и в обыденной речи, в отчетах энтомолога и агронома камышом нередко называют тростник южный (*Phragmites australis*).

² РГИА. Ф.398. Оп.70. Д.25363. Л.76–77.

³ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.25751. Л.3–101; Ф.1291. Оп.131. Д.81. Л.17–18; 27–28.

⁴ Уваров в отчете, резюмировавшем ход борьбы с саранчой на Ставрополе за время вспышки 1907–1912 гг., писал о результатах кампаний 1908 и 1909 гг.: «истребительные работы [велись] механическим способом с несомненно отчаянной энергией, затрачено почти 20 тыс. руб., не считая наполовину бесплатного труда сотен рабочих... и в конечном итоге, несмотря на «тысячи пудов» истребленной саранчи площадь залежей ежегодно увеличивалась» [13, с.13]. Здесь «залежи» — это места кладок саранчи.

⁵ РГИА. Ф.398. Оп.70. Д.25363. Л.76–77.



Азиатская саранча и мароккская кобылка.

Фото А.В.Лачининского

В эти годы ДЗ активно продвигал химические способы борьбы с вредителями и весьма позитивно отреагировал на инициативу Янушевича. Департамент объяснил, что истребление саранчи с помощью швейнфуртской зелени — вполне успешный метод, получивший признание со стороны как ученых, так и сельских хозяев, и что на работы этим инсектицидом будет вполне достаточно тех средств, которыми располагает губерния. ДЗ нашел возможным командировать на Ставрополье одного из самых опытных своих специалистов по борьбе с вредными насекомыми — Федора Николаевича Лебедева⁶, заказал для Ставрополя инсектицид в соответствии с разведанными осеню площадями заражения (615 десятин, т.е. приблизительно 672 га) и проинструктировал губернскую администрацию где, как и какие именно опрыскиватели следует заказать.

Лебедев разработал план борьбы с саранчовыми химическим способом в соответствии с данными осенней разведки, однако по прибытии на место весной он столкнулся с более устрашающей картиной: азиатская саранча и мароккская кобылка (*Doclostaurus maroccanus*) отродились на площадях, превышавших осенние оценки в три-четыре раза. В авральном порядке ставропольская ад-

⁶ Ф.Н.Лебедев (1858–1927) — в начале 1910-х годов специалист ДЗ по борьбе с вредителями сельского хозяйства, автор ряда руководств по применению химических способов борьбы с массовыми вредителями.

министрация почти чудом изыскала средства для организации работ на значительно большей площади. В разных губерниях империи были закуплены еще 150 пудов швейнфуртской зелени. Организаторские способности Лебедева, помноженные на содействие губернской администрации, и страх населения потерять хлеб позволили привлечь к работам добровольцев, а также мобилизовать садовые опрыскиватели у частных лиц¹.

Хотя из-за ошибок в осенних разведках и последовавшей за этим нехватки ресурсов саранча и мароккская кобылка были истреблены далеко не полностью, химическая противосаранчовая кампания 1910 г. имела ошеломляющий успех и у населения, и у администрации². Осенью 1910 г. ставропольская губернская администрация произвела разведки кладок саранчи и пригласила Лебедева на совещание для составления плана работ и сметы на следующий год. Планы были ориентированы исключительно на химический метод³. Вскоре после совещания Янушевич попросил ДЗ командировать Лебедева на новый сезон 1911 г. на Ставрополье, причем не отвлекать его другими поручениями до конца кампании⁴. Кроме того, Ставропольская администрация составила ходатайство о немедленном создании энтомологической станции⁵, но в 1911 г. ДЗ смог только командировать специалиста-энтомолога. Этим специалистом и стал Б.П.Уваров⁶.

Уваров приезжает на Ставрополье

Первоначально Борис Петрович был командирован на Ставрополье как младший специалист по прикладной энтомологии ДЗ на весенние и летние месяцы 1911 г. для изучения саранчовых⁷. Из обнаруженных на данный момент документов не вполне ясно, каково было положение Уварова в «иерархии» противосаранчовых работ. Вероятнее всего, он занимал сравнительно независимую позицию консультанта, дававшего «энтомологические» рекомендации руководителям «саранчовых» отрядов и участков. Главной его задачей, по видимому, были естественно-исторические исследования и сбор материала⁸. Мы предполагаем, что положение Уварова далеко не всегда гарантировало, что его указания будут исполнены. Так, отчет Лебедева содержит живое описание ситуации,

когда руководитель участка повел работы вопреки рекомендациям Уварова⁹. Результатом стал огромный перерасход ресурсов, а «прорыва» саранчи на культурную растительность удалось избежать лишь благодаря вмешательству самого Лебедева и последующей почти круглосуточной работе отрядов.

Противосаранчовая кампания весны — начала лета 1911 г., полностью ориентированная на химический метод и проведенная под руководством Лебедева, несмотря на ряд накладок из-за задержек финансирования, оказалась весьма успешной. Почти все посевы были спасены. Однако об окончательном успехе было говорить еще рано. Саранчовые, налетевшие во второй половине лета из соседних регионов (в первую очередь из Астраханской губернии и Терской обл.), не только причинили существенный вред урожаю 1911 г., но и отложили кубышки на больших площадях. Это требовало организации очередной кампании на следующий год. Последнее было плохо для земледельцев и губернских финансов, но хорошо для карьеры Уварова как прикладного энтомолога — идея о создании губернской энтомологической службы, высказанная осенью 1910 г., в результате нового налета саранчи во второй половине лета 1911 г. получила еще более основательную поддержку. К началу 1912 г. Ставрополье обзавелось собственным губернским энтомологическим бюро, а Борис Уваров стал его заведующим¹⁰. Бюро финансировалось за счет местных средств и щедрых дотаций от ДЗ, что соответствовало общей политике сельскохозяйственного ведомства в 1910-х годах. Следует отметить, что в сезон 1912 г. повторилась ситуация 1911 г.: в начале лета отродившаяся в Ставропольской губернии саранча была уничтожена до ее окрыления, но во второй половине лета из соседних регионов вновь прилетели стаи крылатой, причинив значительный вред.

Организация противосаранчовых кампаний

Создание энтомологического бюро на Ставрополье не означало, что все организационные вопросы были решены. Основной проблемой оставалось финансирование, которое зависело от довольно сложной системы местного управления. Территория Ставропольской губернии распределялась между казенными землями (они, как правило, сдавались земледельцам в аренду); надельными землями крестьян; землями, находящимися в частной собственности (у крестьян и у помещиков); землями кочевых «инородцев». Для проведения противосаранчовых мероприятий на всех этих категориях земель требовались различные юридические процедуры и отдельные источники

¹ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.25751. Л.3–101. См. также [13].

² Там же.

³ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.25750. Л.46–49.

⁴ В 1910 г. Лебедев, кроме «саранчовых» работ в Ставрополье, руководил показательными работами по истреблению сусликов еще в трех губерниях [14] (РГИА. Ф.398. Оп.70. Д.25363).

⁵ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.25750. Л.46–49.

⁶ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.26020.

⁷ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.26242. Л.186–187.

⁸ СПФ АРАН. Ф.722. Оп.2. Д.1062. Л.8–12.

⁹ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.25751. Л.94–98.

¹⁰ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.26020.

финансирования, формировавшиеся из налогов с соответствующих групп населения и земель. Основные кладки саранчи находились на землях кочевых народов: именно им принадлежало большинство сухих степных пастбищ, а также приречных плавней — мест массовых кладок мароккской кобылки и перелетной саранчи — двух наиболее опасных видов саранчовых в этом регионе.

Согласно действующему законодательству, работы по уничтожению вредителей сельского хозяйства должны были вестись на средства владельцев земли. Соответственно, уничтожение саранчи на землях кочевых народов должно было финансироваться из налогов, собираемых с их обитателей. Однако кочевые скотоводы, в отличие от оседлых земледельцев, не были заинтересованы в истреблении саранчи, не причинявшей им значительного беспокойства. Ситуация усложнялась тем, что в начале 1910-х годов в Ставропольской губернии начали вводить земское самоуправление, что означало существенную реорганизацию порядка использования средств, получаемых губернией от местных налогоплательщиков.

Ставропольский губернатор потратил немало сил, чтобы добиться от столичных министерств (в первую очередь от МВД и МФ) ссуд и дотаций из казны, а в некоторых случаях — даже разрешения тратить собственные деньги губернии на одну из самых острых нужд местных земледельцев¹. Помимо этого, убедившись в невозможности получить более или менее существенные (и тем более регулярные) государственные дотации на борьбу с саранчой, Ставропольская губерния весной 1912 г. ходатайствовала перед МВД о введении специального налога, который обеспечил бы «делу борьбы с вредителями сельского хозяйства» в губернии «широкую и постоянную постановку»².

Кроме проблем с финансированием имелись и другие сложности. Как и в первые два года химической борьбы (1910–1911), для проведения работ не хватало квалифицированной рабочей силы всех уровней, начиная от поденных рабочих и заканчивая руководителями партий. Закупки оборудования и химикатов производились за границей, и их необходимо было проводить через ДЗ; в противном случае ввозные пошлины увеличивали стоимость товаров в два-три раза. Только на доставку заказов из Европы в глухие уголки Ставрополья уходило в лучшем случае три-четыре недели; изготовление крупных партий аппаратов требовало дополнительного времени. Это означало, что средства на закупки для весенней кампании необходимо было иметь уже в середине зимы.

Как бы там ни было, опрыскивание инсектицидами давало хорошие результаты (погибало около 90%, а иногда и до 100% насекомых), а в тех местностях, где противосаранчовые отряды наемных

рабочих действовали под началом компетентного руководителя (к 1912 г. исключений из этого правила в Ставропольской губернии уже не было), посевы действительно удавалось уберечь. Более того, применение нового, «химического», метода оказывалось дешевле традиционного, «механического». В чем заключался этот новый метод и как были организованы работы?

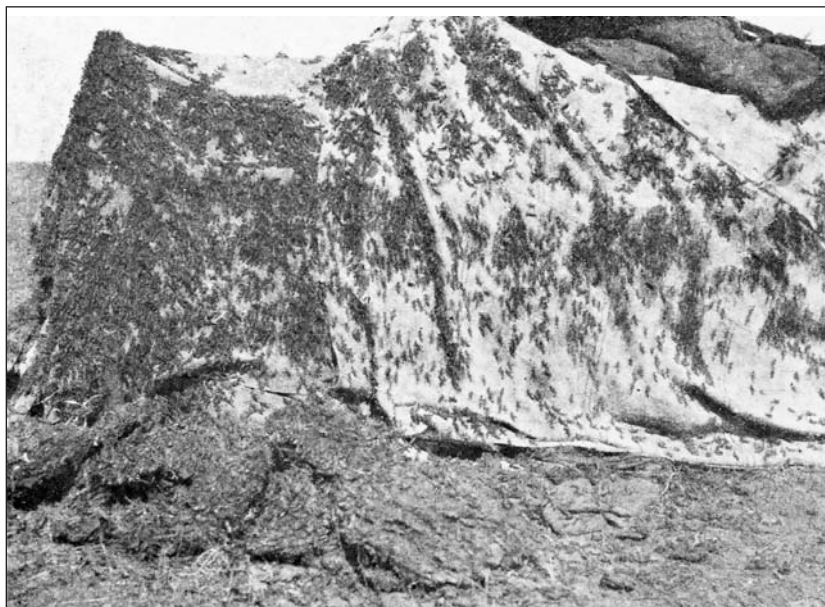
Российские энтомологи экспериментировали с химическим методом истребления саранчи с конца 1890-х годов, однако до 1910-х годов он, за редкими исключениями, не был введен в широкую практику. Вероятно, задержку нужно объяснить тем, что использование препаратов мышьяка было связано с рядом сложностей. Во-первых, напомним, что химическая кампания требовала тщательного планирования, подготовки и отпуска значительных сумм уже зимой, чтобы закупать за границей большие партии дорогостоящих препаратов и опрыскивателей. Во-вторых, нужно было обучать поденных рабочих и нанимать квалифицированный персонал — руководителей партий, слесарей, механиков, «разведчиков» и т.д. В-третьих, в наследство от первых попыток решения саранчовой проблемы на государственном уровне, которые предпринимались в XIX в., достались законодательно закрепленные «механические» методы борьбы силами местных жителей, собранных по наряду. В-четвертых, наиболее часто использовавшийся в России инсектицид — швейнфуртская зелень — не была оптимальным выбором для «саранчовых» работ³. Этот малорастворимый в воде и малотоксичный для растений препарат пришел в противосаранчовые работы из садоводства, где его сравнительная безвредность для плодовых деревьев имела перевес над неудобством в использовании, учитывая ограниченные площади садовых хозяйств и высокую ценность плодовых деревьев. Отряды из наспех обученных людей обрабатывали большие площади, как правило, дикой растительности. При таких вводных низкая токсичность инсектицида теряла свое значение, а плохая растворимость превращалась в большой недостаток. Малейшее несоблюдение технологии (например, недостаточно активное перемешивание взвеси) означало резкое падение качества работ. Неудачу многих ранних опытов опрыскивания больших площадей этим инсектицидом нужно объяснять именно тем, что руководителем работ выступал человек, не имевший достаточной подготовки и поэтому не знавший мелких, но важных деталей работы со швейнфуртской зеленью.

К счастью для Уварова, его первый «саранчовый» сезон прошел в обществе Лебедева, опыт и талант которого трудно переоценить. Даже

¹ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.26947.

² РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.25751. Л.111–111об.

³ Уваров несколько раз писал о недостатках швейнфуртской зелени по сравнению с некоторыми другими инсектицидами, например мышьяковисто-кислым натром (NaAsO) [15].



Пешая мароккская кобылка, идущая через палатку [13, табл. V-1].

письменные инструкции и отчеты Лебедева содержат дотошное и толковое описание всей организации работ до самых мелких деталей: где должен стоять лагерь, как распределить обязанности между рабочими (и в том числе как использовать не самых добросовестных), как готовить инсектицид (вместе с техникой безопасности), как оптимально организовать доставку воды, как уменьшить непроизводительный расход материалов, с какой скоростью и под каким углом к ветру должен двигаться отряд с ручными опрыскивателями или конный опрыскиватель, как именно надо перемешивать инсектицид в емкости во время опрыскивания и т.д.¹ Личное же общение с таким профессионалом в кампанию 1911 г. позволи-

¹ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.25751.



Линия рабочих с ручными пульверизаторами, борьба с азиатской саранчой. Несколько рабочих наклонились, чтобы встряхнуть инсектицид [13, табл. I-2].

ло недавнему студенту столичного университета, начинающему систематику и фаунисту, впервые столкнувшемуся с нашествием саранчи, уже в следующем 1912 г. самостоятельно провести успешные противосаранчовые работы на огромных площадях.

Организация мобильных отрядов отчасти напоминала военную. Во главе губернской службы стоял энтомолог (в 1912–1914 гг. в Ставропольской губернии это был Уваров). Его помощники и инструкторы (временные или постоянные сотрудники Ставропольского энтомологического бюро) руководили работами в районах, на которые еще на стадии планирования (зимой и в начале весны, на основании разведок) разбивалась «зараженная» часть губернии. В распоря-

жение каждого районного руководителя прикомандировывалось необходимое число противосаранчовых отрядов. В двух пунктах в центре района устраивались склады материалов и мастерские для ремонта. Районный руководитель непрерывно объезжал свой район и перебрасывал отряды по мере надобности на новые участки.

«Саранчовый» отряд / мобильная партия обычно состояла из одного-двух конных опрыскивателей или 10 (реже до 20) ранцевых с соответствующим количеством рабочих и водовозной командой. В качестве руководителей отрядов Уваров целенаправленно приглашал студентов, специализирующихся по прикладной энтомологии и агрономии². Этот прием также не был изобретением Уварова — еще в 1910 и 1911 гг. Лебедев привозил с собой в Ставропольскую губернию моло-

дежь из агрономических вузов и училищ. В 1911 г. он привез даже двух «барышень» — слушательниц Стебутовских сельскохозяйственных курсов. Девушкам достались самые проблемные участки, и они блестяще справились со своими обязанностями, чем, конечно, повергли в изумление всю округу³.

² Среди студентов-практикантов Уварова были, например, Н.Н.Богданов-Катьков, будущий создатель и руководитель Института прикладной зоологии и фитопатологии, и Б.Н.Золотаревский, позднее возглавивший противосаранчовые службы французских колоний в Африке.

³ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.25751. Л.59–60.

Уже к весне 1912 г. Уваров договорился с Н.М.Кулагиным, профессором зоологии Московского городского народного университета имени А.Л.Шанявского, о привлечении к работе студентов, из которых получались не только мотивированные сотрудники в текущем сезоне, но и подготовленные специалисты в будущем. Летом 1913 г. только от Кулагина у Уварова работали семь слушателей университета. Многие из них были столь увлечены делом, что в свободное время собирали данные или экспериментировали с методикой. Результаты таких работ публиковались в научных отчетах и бюллетенях (см. например: [16, 17]). Как сказано в предисловии к одной из таких статей, «работы слушателей университета показали, что они являются достаточно подготовленными к деятельности в области прикладной энтомологии. Доказательство этого — приглашение двух слушателей, гг. Пухова и Винокурова, на самостоятельные должности по борьбе с насекомыми: первого в Оренбургскую губернию, второго — в Ставропольскую» [16, с.173].

Почти военная организация узнаваема не только в мобильных «саранчовых» отрядах 1910-х годов, работавших под руководством Уварова на Ставрополье (и коллег Уварова в других регионах Российской империи). Клод Пелокен, описывая противосаранчовые кампании 1930–1940-х годов в британских (во главе с Уваровым) и французских (во главе с уваровским учеником по Ставрополью Б.Н.Золотаревским) колониях в Африке, также отмечает эту особенность [18]. Едва ли можно считать случайностью то, что в одном из биографических очерков Уваров назван «полководцем противосаранчовых армий» [19].

В 1912–1913 гг. схема внутри губернии в целом работала успешно, разумеется, со своими проблемами и накладками: финансирование задерживалось, рабочих рук не всегда хватало, конструкция опрыскивателей не была идеальной, они ломались, для их починки нужны были квалифицированные механики, которые не всегда имелись в наличии, и т.д. Возникали проблемные ситуации с концентрацией инсектицида: слишком низкая не давала уверенности, что вся саранча погибнет; слишком высокая — увеличивала стоимость работ и повышала риски отравления посевов и рабочих. В некоторых случаях местные и столичные власти как на Ставрополье, так и в других регионах получали кляузы на «саранчовые» партии — о якобы неправильном найме рабочих, низких концентрациях инсектицида, за-



Наполнение ручных пульверизаторов, борьба с мароккской кобылкой. Среди работников можно заметить двух женщин — найм женщин и подростков, которые соглашались работать за меньшую плату, был обычным делом [13, табл. III-2].

купке фальсифицированного препарата и т.д. К примеру, 12 июня 1913 г. директор ДЗ отправил телеграмму в Ставропольскую губернию с требованиями ответить на претензии по поводу якобы низких концентраций инсектицида и неправильного найма рабочих в окрестностях с.Прасковья¹. Такие инциденты случались не только у Уварова. Так, Санкт-Петербургская газета «Свет» 13 апреля 1910 г. сообщила о закупке якобы фальсифицированных 650 пудов швейнфуртской зелени для противосаранчовых работ в Туркестане (сообщение оказалось ложным). Однако все это можно отнести к рабочим накладкам, вполне разрешимым в условиях того времени.

В конце лета 1913 г. Борис Уваров имел все основания докладывать на I Съезде деятелей прикладной энтомологии в Киеве об успехах противосаранчовых кампаний последних трех лет на Ставрополье и предлагать дальнейшие шаги для распространения своей схемы на соседние регионы [20–22]. К 1914 г. вспышка саранчи на Северном Кавказе практически угадала [23], а в самом начале 1915 г. Борис Уваров получил должность энтомолога при Канцелярии наместника Е.И.В. на Кавказе и переехал в Тифлис².

* * *

Назначение в Ставрополь обернулось для Уварова как суровой школой, так и его первым успехом. Этот успех, впрочем, отнюдь не был предопределен, и в нем, как и вообще в обращении Уварова к проблемам борьбы с саранчой, было много исторически-случайного. Его переход в ведомство ДЗ и переезд на Ставрополье был связан не столько с желанием правительства направить на борьбу с саранчой опытного специалиста, сколько с тем,

¹ РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.26947. Л.118.

² РГИА. Ф.398. Оп.71. Д.26020. Л.18.

что сам Уваров пытался найти позицию в сфере прикладной энтомологии, более приемлемую для него как с финансовой точки зрения, так и в плане эмоционального климата. Его первое место службы в ведомстве Министерства Императорского двора разительно отличалось от привычной ему академической среды. Успехи Уварова в ставропольской командировке 1911 г. были обусловлены не только его собственными талантами и трудолюбием, но и крайне благоприятным стечением обстоятельств. Увлеченность сотрудников ДЗ, ставропольского губернатора Янушевича и его подчиненных новым химическим методом борьбы с вредителями привела к тому, что противосаранчовые работы получали самую эффективную поддержку администрации как по линии губернатора, так и по линии министерских представителей на местах. Энергичному Янушевичу не только удалось привлечь в регион одного из лучших специалистов по организации борьбы с массовыми сельскохозяйственными вредителями Лебедева, но и обеспечить постоянную поддержку своих ходатайств перед Министерством внутренних дел, Министерством

финансов и Советом министров. Работа в первое лето бок о бок с Лебедевым, опытейшим организатором «саранчовых» работ, позволила Уварову быстро приобрести необходимые навыки и уже в следующем, 1912 г., возглавить кампанию вполне самостоятельно. Опыт общения с Лебедевым был важен в первую очередь потому, что стабилизация работы сложной социотехнической системы, какковую представляла собой противосаранчовая кампания в масштабах губернии, подразумевала значительный объем «неявных» знаний о мельчайших практических деталях. В такой ситуации именно личный контакт с носителем неявных знаний, которые, при всей дотошности Лебедева, не поддавались полной экспликации в отчетах и опубликованных работах, имел решающее значение. Даже неблагоприятные обстоятельства, казалось, шли Уварову на пользу. Повторяющиеся налеты саранчи из соседних регионов оказались одним из решающих аргументов в пользу создания Ставропольского энтомологического бюро, обеспечившего молодого специалиста первой стабильной и довольно авторитетной должностью. ■

Работа А.А.Федотовой поддержана Программой фундаментальных исследований Президиума РАН (проект 0002-2015-0029).

Авторы признательны А.В.Лачининскому (Университет Вайоминга, США) за фотографии и ценные консультации.

Литература / References

1. Howard L.O. A History of Applied Entomology. Washington, 1930.
2. Wigglesworth V.B. Boris Petrovitch Uvarov. 1889–1970. Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. 1971; 17: 713–740.
3. Waloff N., Popov G.B. Sir Boris Uvarov (1889–1970): The father of Acridology. Annual Review of Entomology. 1990; 35: 1–24.
4. Сэр Борис П. Уваров. Природа. 2001; 3: 61–77. [Sir Boris P. Uvarov. Priroda. 2001; 3: 61–77. (In Russ..)]
5. Fedotova A.A., Koupryanov A.V. Archival research reveals the true date of birth of the father of locust phase theory, Sir Boris Uvarov, F.R.S. Euroasian Entomological Journal. 2016; 15(4): 319–325.
6. Уваров Б.П. Материалы по фауне Orthoptera Уральской области. Труды Русского энтомологического общества. 1910; 39: 359–390. [Uvarov B.P. Materials on the Orthoptera fauna of the Ural region]. Proceedings of the Russian Entomological Society. 1910; 39: 359–390. (In Russ..)]
7. Loskutova M.V., Fedotova A.A. The Rise of Applied Entomology in the Russian Empire: The Governmental, Public, and Academic Response to Insect Pest Outbreaks in the 1840s-1894. Phillips D., Kingsland S. (eds) New Perspectives on the History of Life Sciences and Agriculture. Heidelberg; New York; Dordrecht; London, 2015: 139–162.
8. Уваров Б.П. К вопросу о вредителях хлопчатника в Закаспийской области. Русское энтомологическое обозрение. 1911; 11: 28–37. [Uvarov B.P. On the problem of pests on cotton in the Transcaspiian region. Russian entomological review. 1911; 11: 28–37. (In Russ..)]
9. Davis F.R. Banned. A history of pesticides and the science of toxicology. New Heaven; L., 2014.
10. Соколов Н.Н. Опыты применения швейнфуртской зелени при борьбе с саранчой в Семипалатинской области. СПб., 1901. [Sokolov N.N. Experiments with the use of Paris green for the locusts control in the Semipalatinsk region. St.Petersburg, 1901. (In Russ..)]
11. Россиков К.Н. Наставление к приготовлению инсектицида швейнфуртской зелени для уничтожения саранчовых насекомых. СПб., 1902. [Rossikov K.N. Manual for the preparation of Paris green insecticide for the locust extermination. St.Petersburg, 1902. (In Russ..)]
12. Стельмахович Е.Л. Инсектисиды, фунгисиды, гусеничный клей и опрыскиватели (для борьбы с вредными в сельском хозяйстве насекомыми). СПб., 1906. [Stel'makhovich E.L. Insecticides, fungicides, caterpillar glue, and sprayers (for agriculture pest insects control). St.Petersburg, 1906. (In Russ..)]

13. Уваров Б.П. Борьба с саранчовыми в Ставропольской губ. в 1907–1912 гг. СПб., 1913. [*Uvarov B.P. Struggle against locusts in the Stavropol province in 1907–1912. St.Petersburg, 1913. (In Russ.; Abstr. in German.)*]
14. Лебедев Ф.Н. Борьба с сусликами при помощи сернистого углерода в Самарской, Ставропольской, Астраханской и Саратовской губ. в 1909–1911 гг. СПб., 1912. [*Lebedev F.N. Fighting ground squirrels with carbon sulphide in Samara, Stavropol, Astrakhan and Saratov provinces in 1909–1911. St.Petersburg, 1912. (In Russ.)*]
15. Уваров Б.П. Очерки по борьбе с саранчовыми насекомыми. Ч. 3. Химический метод. Сельское хозяйство и лесоводство. 1915; 247 (Март): 377–414. [*Uvarov B.P. Essays on the locust control. Part 3. Chemical method. Agriculture and forestry. 1915; 247 (March): 377–414. (In Russ.)*]
16. Родионов З.С. Отчет о работах по борьбе с саранчовыми в Ставропольской губ. (за 1913 г.). Научный бюллетень. 1914; 1: 173–185. [*Rodionov Z.S. Report on the locusts control works in the Stavropol province in 1913. Nauchnyi byulleten'. 1914; 1: 173–185. (In Russ.)*]
17. Винокуров Г.М. Из биологических наблюдений над перелетной саранчой. Отчет о деятельности Ставропольского энтомологического бюро за 1914 г. Пр., 1916: 84–101. [*Vinokurov G.M. Some biological observations on migratory locusts. Report on the activities of the Stavropol Entomological Bureau for 1913. Petrograd, 1916: 84–101. (In Russ.)*]
18. Püloquin C. Locust swarms and the spatial techno-politics of the French Resistance in World War II. *Geoforum*. 2013; 49(October): 103–113.
19. Крыжановский О.Л. Сэр Борис П. Уваров. Полководец противосаранчовых армий. *Природа*. 2001; 3: 61–66. [*Kryzhanovskii O.L. Sir Boris P. Uvarov. Commander of the anti-locust armies. Priroda. 2001; 3: 61–66. (In Russ.)*]
20. Уваров Б.П. Современное положение саранчового вопроса и меры к его разрешению в связи с общей организацией борьбы с саранчовыми на Северном Кавказе. Труды 1-го съезда деятелей по прикладной энтомологии в Киеве в 1913 г. Киев, 1915: 140–149. [*Uvarov B.P. The current situation of the locust problem and measures to resolve it in connection with the general organization of the locusts control services in the North Caucasus. Proceedings of the first congress on applied entomology in Kiev in 1913. Kiev, 1915: 140–149. (In Russ.)*]
21. Уваров Б.П. Организация и деятельность Ставропольского энтомологического бюро. Труды 1-го съезда деятелей по прикладной энтомологии в Киеве в 1913 г.: Киев, 1915: 178–183. [*Uvarov B.P. Organization and activities of the Stavropol Entomological Bureau. Proceedings of the first congress on applied entomology in Kiev in 1913. Kiev, 1915: 178–183. (In Russ.)*]
22. Уваров Б.П. Отчет о деятельности Ставропольского энтомологического бюро за 1913 г. СПб., 1914. [*Uvarov B.P. Report on the activities of the Stavropol Entomological Bureau for 1913. St.Petersburg, 1914. (In Russ.)*]
23. Уваров Б.П. Отчет о деятельности Ставропольского энтомологического бюро за 1914 г. Пр., 1916. [*Uvarov B.P. Report on the activities of the Stavropol Entomological Bureau for 1914. Petrograd, 1916. (In Russ.)*]

“Results of the chemical campaign are astonishing, the crops are safe, and we’re in a cheerful mood”: Boris Uvarov and anti-locust campaign in Stavropol Krai, 1911–1914

A.A.Fedotova¹, A.V.Kouprianov²

¹*Saint Petersburg Branch of the S.I.Vavilov Institute for the History of Science and Technology, RAS (Saint Petersburg, Russia)*

²*National Research University “Higher School of Economics” (Saint Petersburg, Russia)*

Sir Boris Uvarov (1886–1970) became widely known after his move to London (1920) as an orthopterologist and organizer of locust control in the colonies of the British Empire. The present paper is focused on his early steps in the field of applied entomology: his first anti-locust campaign in Stavropol Krai (1911–1914), which seemed to be useful for his skills of a locust fighter. In 1900–1910s, chemical warfare on insect pests was spreading in Russia replacing old-fashioned “mechanical” methods. Novel technologies required a deep reorganization of anti-locust service, including hiring skilled workers and scientific experts. The role of Fyodor Lebedev (an expert in pest management at the Department of Agriculture, 1858–1927) in the early stages of the campaign was decisive. The technologies of chemical warfare and organization of anti-locust squads as well as specifics of organizing an anti-locust campaign under contemporary political and economical conditions are described.

Keywords: history of technology, history of agriculture, locust control, insecticides, Stavropol Krai, Russian Empire, 1910s, Sir Boris Uvarov, Fyodor Lebedev.

Лекторий Палеонтологические объекты на станциях Московского метро

доктор геолого-минералогических наук С.В.Наугольных
Геологический институт РАН (Москва, Россия)

Станции Московского метрополитена позволяют совершить увлекательную и познавательную экскурсию по геологическому прошлому. В силурийских уфалейских мраморах (ими облицованы станции «Сокольники», «Чистые пруды» и переход со станции «Киевская»-кольцевая на станцию «Киевская» Арбатско-Покровской линии) можно увидеть строматолиты, колонии кораллов и раковины наутилоидей. В каменноугольном мраморе коелга (станции «Третьяковская», «ВДНХ», переход между вестибюлями станции «Китай-город») легко отыскать остатки криноидей, а на станции «Третьяковская» есть настоящий коелгинский раритет — раковина головоногого моллюска гониатита. В нижнеюрских мраморизованных известняках салиети (станции «Добрынинская», «Электrozаводская», переход со станции «Курская»-радиальная на станцию «Курская»-кольцевая, а также облицовка колонн станции «Киевская» Филевской линии) можно найти раковины аммонитов и наутилусов, башенковидные раковины гастропод плевротомарий, разнообразные губки, а также отдельные членики и фрагменты стеблей криноидей. Верхнеюрские мраморизованные известняки Крыма на станциях «Комсомольская»-радиальная, «Библиотека имени Ленина» и «Красносельская» удивляют разнообразием фауны тропического кораллового рифа: шестилучевыми кораллами, брахиоподами, двустворками и известковыми водорослями. Многочисленные и разнообразные раковины юрских аммонитов и ростры белемнитов украшают станцию «Парк победы».

Ключевые слова: карбон, юра, палеонтология, Москва, метрополитен, морская фауна.

Спускаясь в Московское метро с целью совершить путешествие во времени, не ожидайте, что сможете увидеть все страницы геологической летописи Земли. Как в реальных обнажениях геологу во время маршрута открывается лишь один или в лучшем случае несколько эпизодов земной истории, так и на станциях метро можно соприкоснуться только с некоторыми интервалами геохронологической шкалы. Самые древние из них отделены от нас миллиардами лет, а самые молодые буквально примыкают к геологической современности. За стенами станций и тоннелей метрополитена в толщах известняков карбона и в перекрывающих их черных юрских глинах тоже таятся многочисленные и разнообразные палеонтологические чудеса. Но увидеть их можно лишь в оврагах по берегам реки Москвы (в Сабурове и Филях) или в подмосковных карьерах (например, у Воскресенска и Серпухова).

Древнейшие породы, использованные в облицовке станций Московского метрополитена, относятся к глубокому докембрию — архею и раннему протерозою. Возраст этих пород составляет несколько миллиардов лет, представлены они гранитами, гнейсами и кварцитами, привезенными с Кольского п-ова и из Карелии. Но палеонтолога они привлекают лишь эстетически, поскольку в них нельзя найти окаменелости. Почему? Гранит — магматическая горная порода, и органиче-

ских остатков в ней не может быть по определению. Гнейс — порода метаморфическая, по своему минеральному составу близка гранитам, но за счет уплотнения и перекристаллизации она приобрела уплощенную текстуру, субпараллельную отдельность и ложную рассланцованность, вызванную вторичной переориентировкой кристаллов слюды. Правда, геологи различают и так называемые парагнейсы, образованные за счет метаморфизации не магматических, а осадочных горных пород, но процессы преобразования вещества в них обычно заходят так глубоко, что первоначальная структура преобразованной породы уже не сохраняется.

Другое дело кварциты. В облицовке Московского метро использованы красивые розовато-бежевые шокшинские кварциты из Карелии. Их возраст весьма почтенен — около 1.8 млрд лет. Органическая жизнь в те времена уже существовала, но была представлена преимущественно одноклеточными и нитчатыми организмами, ископаемые остатки которых в песчаниках встречаются крайне редко.

Следующая страница геологической летописи, с которой можно познакомиться в Московском метро, это силурийский период. Мы, как на фантастической машине времени, перепрыгиваем поздний протерозой и два первых периода палеозойской эры — кембрийский и ордовикский.

Без всякого сомнения, каждый наблюдательный человек, бывавший в Московском метро, об-

рашал внимание на полосчатые серые мраморы с красивым контрастным рисунком, который образован причудливо изгибающимися белыми и серыми полосами, демонстрирующими богатейшую палитру тонов от молочно-белого до почти угольно-черного. Это уфалейский мрамор, привезенный с Урала, из знаменитого мраморного месторождения у г.Уфалей в Челябинской обл.

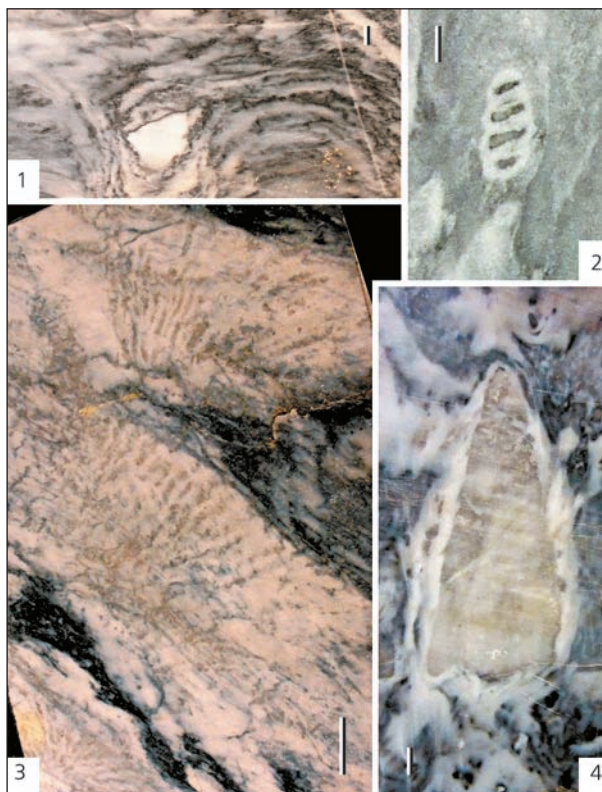
В морях силурийского периода жизнь была обильна и разнообразна. К тому времени на Земле уже появились все типы животных, включая хордовых! На дне причудливые заросли образовывали водоросли, рядом с ними жили одиночные и колониальные губки, кораллы, брахиоподы, цистоидеи (или, иначе, «морские пузыри»), а среди всего этого великолепия морской жизни ползали большие и маленькие трилобиты.

Уфалейский мрамор — это метаморфизованный известняк, и может показаться, что при такой глубокой степени изменения породы вряд ли что-то могло сохраниться от обитателей силурийского моря. Я и сам был весьма скептически настроен к поискам окаменелостей в уфалейском мраморе пока на одной из мраморных колонн станции «Сокольники» (одной из самых моих любимых) не обнаружил нечто занятное.

На отполированной поверхности мрамора были великолепно видны поперечные сечения двух расположенных рядом колоний кораллов, в которых жили когда-то (более 420 млн лет назад!) образовавшие их полипы. Мне выпала редкая удача — взглянуть на часть рифа палеозойской эры. Сейчас посмотреть на эти кораллы может любой желающий. Приезжайте на станцию, встаньте лицом в направлении центра, и на одной из колонн слева (не хочу лишать вас удовольствия сделать личное открытие — найти, на какой именно), обнаружите окаменелые колонии силурийских кораллов.

Еще одно удивительное открытие ждало меня на станции «Чистые пруды». Для путешественника по геологическим страницам Московского метро этот маршрут очень удобен: полюбовавшись на кораллы и строматолиты в «Сокольниках», без пересадок отправляемся на «Чистые пруды». Однажды, привычно присматриваясь к причудливым изгибам серых полос уфалейского мрамора в облицовке колонн этой станции, я вдруг заметил нечто необычное — довольно крупный объект вытянутой конической формы. Та часть объекта, которая располагалась ближе к заостренному концу, была разделена поперечными перегородками на камеры.

Здесь надо сделать небольшое отступление и перенестись с «Чистых прудов» в недавно открытый на ВВЦ/ВДНХ «Москвариум». Мы сходили туда всей семьей, и мои домочадцы были немало удивлены, когда после просмотра бесчисленных подводных чудес я вдруг с взволнованным криком: «Наутилус!» прижался носом к очередному аквариуму.



Окаменелости из уфалейского мрамора силурийского возраста. 1 — столбчатые строматолиты («Сокольники»); 2 — тангентальное сечение раковины головоногого моллюска наутилоида, хорошо видны четыре соседние воздушные камеры, разделенные перегородками («Сокольники»); 3 — массивные колонии табулятных кораллов («Сокольники»); 4 — продольное сечение раковины головоногого моллюска наутилоида, хорошо видны четыре соседние воздушные камеры, разделенные перегородками («Чистые пруды»). Из-за специфики фотосъемки в метрополитене, масштабные линейки (1 см) даны с небольшими допусками в плане возможных искажений, однако размерный класс снятых объектов во всех случаях показан верно.

Здесь и далее фото и рисунок автора

О наутилусах знает любой неравнодушный к природе человек, поэтому напомним только, что это представители головоногих моллюсков, причем той их группы, которую вполне заслуженно относят к «живым ископаемым». Раковина наутилуса, как и его далеких предков, разделена поперечными перегородками на камеры. Моллюск с помощью трубчатого сифона нагнетает в них газ и так изменяет плавучесть раковины, что может медленно перемещаться вверх или вниз в толще вод. Двигаться в горизонтальном направлении моллюску позволяет мускульная воронка, выполняющая функцию реактивного двигателя.

У современного наутилуса раковина свернута в спираль, а вот в раннем палеозое представители подкласса наутилоидей, к которому относится наутилус, обладали раковинами самой разной фор-

мы: прямыми, коническими, изогнутыми, роговидными, вздутыми в приустьевой части, закрученными в спираль полностью либо в той или иной степени. Очевидно, прямую раковину моллюска-наутилоида мне и посчастливилось найти в облицовке из уфалейского мрамора на «Чистых прудах». Однако нельзя сказать, что природа «чистопрудненского объекта» так уж очевидна. Все-таки степень метаморфизации уфалейского мрамора довольно высока, и критически настроенный палеонтолог вполне имеет право высказать известные сомнения. Увы, мнения палеонтологов частенько расходятся и при изучении гораздо лучше сохранившихся окаменелостей.

И еще об одной интересной особенности уфалейских мраморов стоит упомянуть. Время от времени в них встречаются странные желваковидные образования, имеющие форму столбиков кониче-

ских или овальных очертаний. Сложены эти столбики точно таким же полосчатым мрамором, правда часто имеющим более насыщенный темный или даже почти черный цвет, что указывает на большое количество органического углерода.

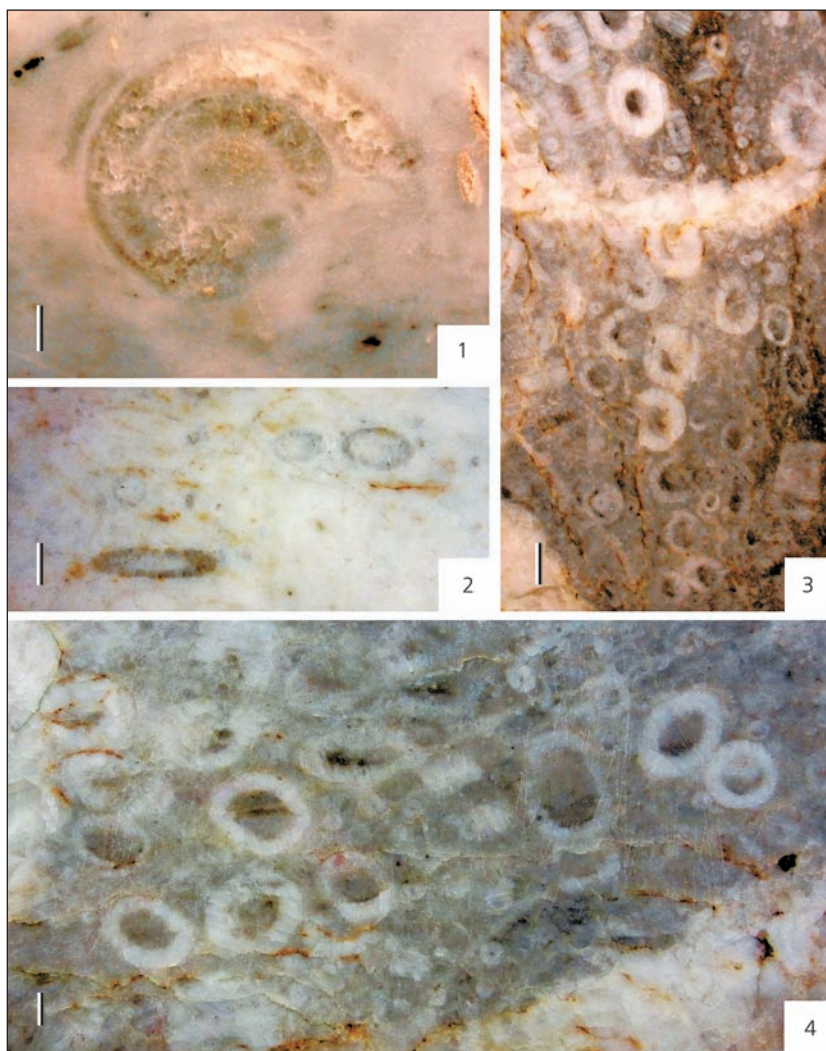
По моему твердому убеждению, эти образования — строматолиты, то есть продукты жизнедеятельности бентосных сообществ так называемых цианобионтов, особой группы прокариот; их когда-то называли синезелеными водорослями. Строматолитовые постройки особенно характерны для верхнепротерозойских (рифейских и вендских) отложений, но встречаются они и в более молодых осадочных породах (преимущественно карбонатных) и даже образуются в настоящее время в теплых тропических морях (например, у берегов Австралии, в заливе Шарк-Бэй, или в Атлантике, у Багамских о-вов).

Строматолиты нередко называют рифами докембрийской Земли. Карбонатное осадконакопление в основном характерно для низких широт, для теплого тропического климата. Поэтому и уфалейское море с его колониальными кораллами, головоногими моллюсками и строматолитами тоже скорее всего было теплым и обладало при этом нормальной морской соленостью. Только в таких условиях живет большинство головоногих моллюсков и развиваются колониальные кораллы.

Метро способно перенести нас из силурийского периода в каменноугольный, во вторую половину палеозойской эры.

Ассоциации, связанные со словами «каменноугольный период», у палеонтолога вполне однозначны. Это и пышные леса, состоявшие из гигантских древовидных плауновидных, папоротников и каламитов — отдаленных родственников хвощей; и пролетающие над ними стрекозы с полуметровыми крыльями; и богатые жизнью теплые тропические моря, оставившие в Подмосковье многометровые толщи известняков и доломитов.

Пройти среди подводных зарослей каменноугольных криноидей (морских лилий) вполне можно, не выходя из метро. Напомню, что морские лилии — это отнюдь не растения, а животные, относящиеся к типу иг-



Окаменелости из мрамора коелга каменноугольного возраста. 1 — сечение раковины головоногого моллюска гониатита, возможно, принадлежавшего роду *Prolecanites* или близкородственного ему («Третьяковская»); 2–4 — сечения стеблей криноидей («Китай-город»).

локожих. Приезжайте на станцию «Китай-город» и прогуляйтесь по мосту, соединяющему два ее соседних вестибюля. Слева и справа на поверхности мрамора, которым облицованы стены, увидите поперечные сечения несметного количества стеблей морских лилий. Размер этих стеблей удивляет. Судя по поперечным сечениям, их длина составляла несколько метров! В таких подводных зарослях мог бы заблудиться и аквалангист.

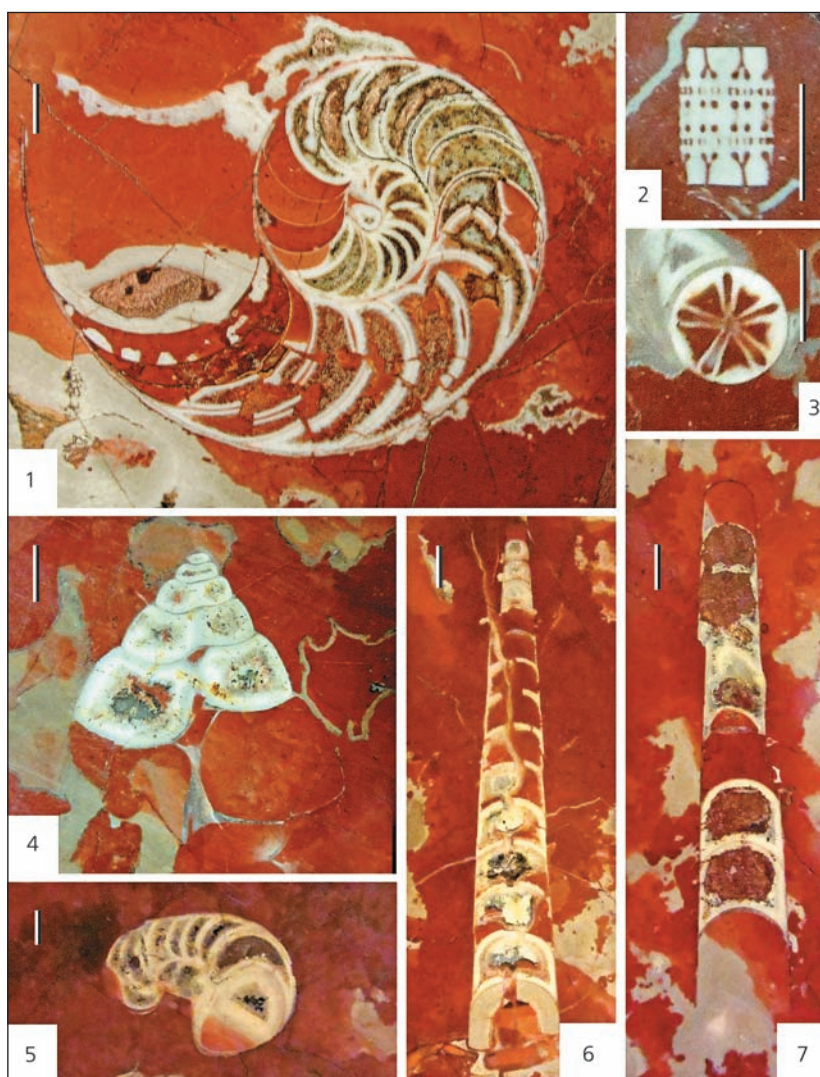
Криноидный мрамор, а точнее мраморизованный известняк, которым облицованы некоторые станции Московского метрополитена (например, «ВДНХ» и «Третьяковская»), называется коелга, привезен он с Урала, где в каменноугольном периоде тоже располагалось море, соединявшееся с подмосковным широким проливом.

Кроме криноидей в этом море обитали и многие другие беспозвоночные. На станции «Третьяковская», если зайти в вестибюль, спустившись с эскалатора, справа на одной из колонн можно обнаружить эффектный срез раковины гониатита, головоногого моллюска, родственного уже известному нам наутилусу, но относящегося к обширному подклассу аммоноидей. Лопастная линия аммоноидей, т.е. линия, образованная соединением поперечной перегородки и стенки раковины, была причудливо изогнутой и имела сложное строение. Эволюция наружнораковинных головоногих моллюсков шла в направлении усложнения формы перегородок: от простых или слабоизогнутых у наутилоидей к волнистым и слаболопастным у позднепалеозойских гониатитов, а далее — к зубчатым у цератитов (характерных для морей триасового периода) и наконец до сложноизогнутых аммонитовых лопастных линий, типичных для аммонитид, филлоцератид и литоцератид (процветавших в морях мезозоя, особенно в юрском и меловом периодах).

Ископаемые остатки морских беспозвоночных мезозоя представлены в Московском метро очень широко, причем они так хорошо сохранились и настолько красочны и эффектны, что им можно посвятить объемный художественный фотоальбом.

Лично для меня палеонтологическая визитная карточка Московского метро — это окаменелости из юрских мраморизованных известняков Грузии и Крыма. Изучая палеонтологию метро, пройти мимо них совершенно невозможно. Но начну по порядку.

Грузинские мраморизованные известняки происходят из нескольких близких месторождений — Салиети, Молити и др., их можно условно объединить под названием салиетинская группа месторождений. Известняки, добываемые там, относятся к нижней юре, т.е. им около 185 млн лет.

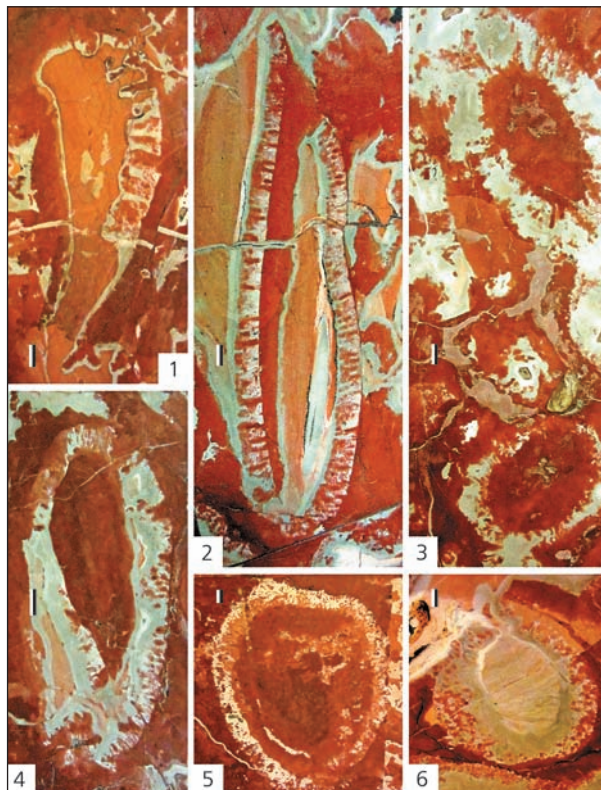


Окаменелости из мрамора салиети раннеюрского возраста. 1 — сечение раковины головоногого моллюска наутилоида («Добрынинская»); 2 — продольное сечение через членок стебля криноидеи («Комсомольская»-кольцевая, выход к Ярославскому вокзалу); 3 — поперечное сечение через членок стебля криноидеи («Киевская» Филевской линии); 4 — сечение раковины гастроподы, возможно, принадлежавшей роду *Pleurotomaria* или близкородственному ему («Академическая»); 5 — тангентальное сечение раковины головоногого моллюска наутилоида («Краснопресненская»); 6–7 — сечения раковин прямораковинных наутилоидей («Краснопресненская»).



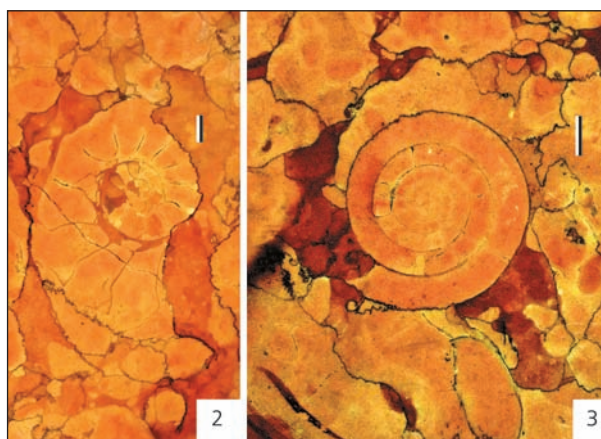
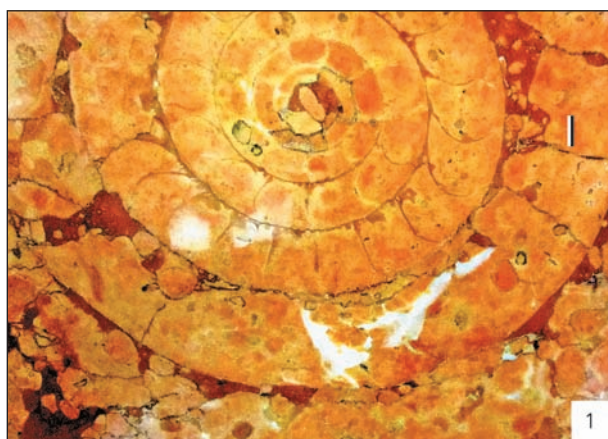
Жизнь в юрском море. В середине сверху — аммонит, под ним — наутилус, справа от них — губки, под губками справа внизу среди водорослей ползет гастропода, слева внизу — многочисленные брахиоподы из отряда теребратулид; слева сверху — морские лилии (криноидеи).

Мраморизованные известняки салиети очень широко использовались при отделке станций Московского метро и многих зданий сталинских пятилеток. Узнаются грузинские мрамора по характерному темно-малиновому цвету, иногда с сургучно-вишневым оттенком, с серовато-бежевыми прожилками и пятнами разной формы и размера. Образовалась эта горная порода из

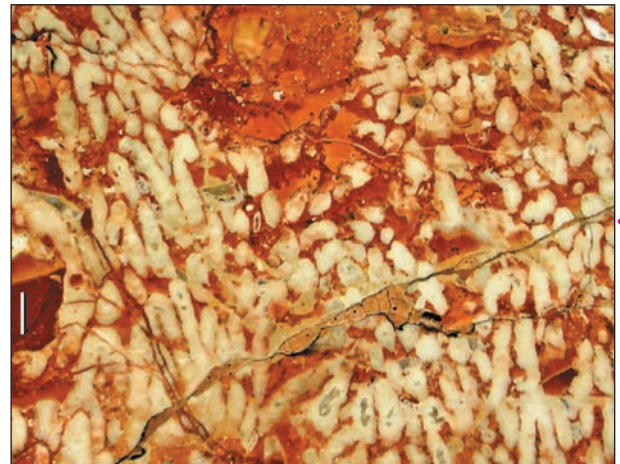
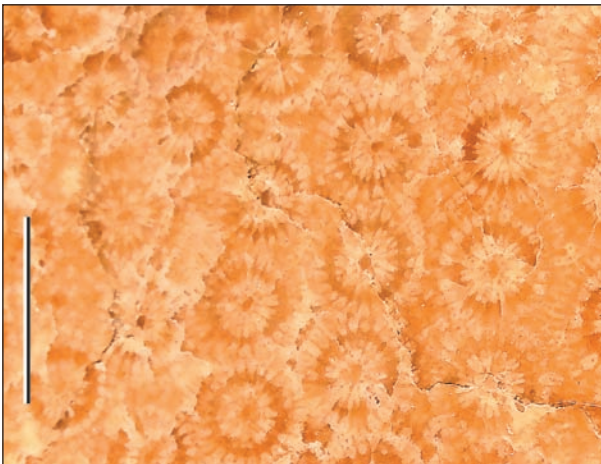


Окаменелости из мрамора салиети раннеюрского возраста. Сечения губок: 1 — «Белорусская»; 2 — «Университет»; 3 — «Комсомольская»-кольцевая, выход к Ярославскому вокзалу; 4 — «Павелецкая», переход с кольцевой на радиальную станцию; 5-6 — «Краснопресненская».

красноцветного известкового ила, накопившегося на дне теплого юрского моря. На то, что оно было теплым, указывают находки колониальных шестилучевых кораллов. Поскольку у большинства кораллов есть симбиотические фотосинтезирующие водоросли, логично предположить, что это море было не только теплым, но и неглубоким. Правда, колониальные кораллы в салиетин-



Окаменелости из мрамора rosso верона позднеюрского возраста: 1-3 — сечения раковин аммонитов («Парк Победы»).



Массивная колония шестилучевых кораллов *Styliina* (Горный Крым, сборы автора 2011 г.) и кустистая колония шестилучевых кораллов (справа) из крымских мраморизованных известняков позднеюрского возраста («Красносельская»).

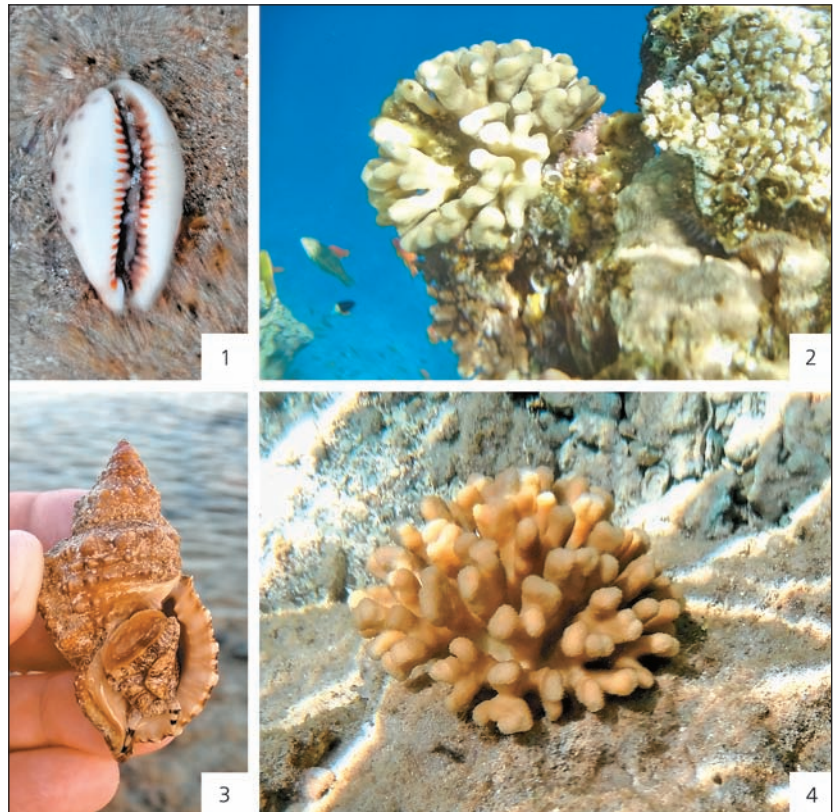
ских мраморизованных известняках встречаются довольно редко.

Каким мне представляется это раннеюрское море? Над красноватым илистым дном в толще хрустально прозрачной аквамариновой воды видны движущиеся тени, образованные бликами проникающих почти до самого дна солнечных лучей и проплывающими над дном какими-то округлыми телами. Если присмотреться внимательно, то обнаружится, что плавают в толще воды наши старые знакомые — наутилоидеи, причем как размером, так и формой раковин они уже очень близки (если не идентичны) современному наутилусу. Но в салиетинских мраморах встречаются и наутилоиды с прямыми раковинами. Именно такую раковину очень хорошей сохранности можно обнаружить на станции метро «Краснопресненская». Обычно считается, что прямо-раковинные наутилоидеи были характерны для морей раннего палеозоя, когда их раковины достигали огромных размеров, несколько метров в длину. Изредка такие гиганты встречаются и в нижнекаменноугольных отложениях Подмосковья, а также Тульской и Калужской областях. В мезозое мы, очевидно, встречаем последних реликтовых представителей этой когда-то процветавшей группы.

На дне салиетинского моря, как мне представляется, не было

обычной сутолоки тропического мелководья. Напротив, морским бентосным организмам здесь жилось просторно и комфортно, они явно не испытывали недостатка в месте для проживания.

Губки, встречавшиеся тут и там на дне, достигали весьма внушительных размеров — несколько



Современные родственники (Акабский залив Красного моря, Шарм-эш-Шейх, коралловый риф у курорта Рехана) обитателей крымских рифов юрского периода: 1 — раковина гастроподы *Surgea*; 2, 4 — кустистые колонии шестилучевых кораллов; 3 — раковина гастроподы с живым моллюском внутри.

десятков сантиметров в длину и более 10 см в диаметре. Их изящные кубки легко отыскать в салиетинских мраморах на станциях «Университет», «Таганская», «Ленинский проспект» и «Арбатская». Не менее часто встречаются в нижеюрских грузинских мраморах отдельные членики стеблей криноидей, иногда образующие массовые скопления. Такие скопления можно наблюдать на переходе между станциями «Курская»-кольцевая и «Курская»-радиальная, а также в облицовке колонн на станции «Киевская»-радиальная Филевской линии. Если проявите упорство, то сможете отыскать даже чашку морской лилии с руками, находку редкую и неординарную.

На дне в морском иле ползали брюхоногие моллюски плевротомарии с красивыми коническими раковинами. Плевротомарии умудрились сохраниться до современности. Это тоже классический представитель «живых ископаемых». Рядом с ними процеживали воду для добычи органической взвеси организмы-фильтраторы: двустворчатые моллюски и брахиоподы теребратулиды.

В салиетинских мраморах можно найти и красивые раковины аммонитов, но настоящий «аммонитовый рай» находится на станции «Парк Победы», облицованной итальянским мрамором россаверона. Именно здесь находится самый крупный аммонит Московского метрополитена, диаметр которого превышает 60 см. Вместе с аммонитами на «Парке Победы» можно найти ростры белемнитов хорошей сохранности, а также раковины уже знакомых нам наutilusов.

Крымским мраморизованным известнякам Московского метро вполне можно посвятить даже не

отдельную статью, а целую книгу. В этом легко убедится любой, кто посетит станции «Комсомольская»-радиальная, «Красносельская», «Библиотека имени Ленина» или «Арбатская». Здесь можно обнаружить феерическое великолепие тропического кораллового рифа! Те, кто любит погружаться на дно Акабского залива Красного моря в Шарм-эш-Шейхе, здесь, на станциях Московского метро, увидят всех своих старых знакомых: массивные и кустистые колонии шестилучевых кораллов, разнообразные раковины двустворчатых и брюхоногих моллюсков, причудливые постройки известковых кораллиновых водорослей. А отдыхая на пляжах Крыма или совершая туристический переход по крымским яйлам, можно собрать коллекцию шестилучевых юрских кораллов из мраморизованных известняков для своей коллекции.

В Московском метро есть и свои палеонтологические секреты. На станции метро «Красные ворота» придется поломать голову, где и как именно архитекторы использовали раковины наших современниц: пресноводных двустворок перловиц и беззубок. Приглядитесь к инкрустированным в стены декоративных арок крошкам и мелким камешкам речного гравия: среди них то тут, то там мелькнет кусочек перламутра двустворчатого моллюска.

Вот и подошел к концу краткий обзор палеонтологических чудес Московского метрополитена. Хочу выразить надежду, что теперь читатели будут входить в метро с легким душевным трепетом, ведь это не просто общественный транспорт, но и открытый для всех геолого-палеонтологический музей. ■

Paleontological objects at the stations of the Moscow metro

S.V.Naugolnykh

Geological Institute, RAS (Moscow, Russia)

A fascinating and informative excursion to the geological past of our planet can be organized at the Moscow Metro stations. The stromatolites, colonies of corals, and the straight shells of cephalopods, i.e. nautiloids, could be observed in the Ufaley marbles, which are used as a facing stone at stations "Sokolniki", "Chistye Prudy", and on the change route from the "Kievskaya"-circle to "Kievskaya"-radial stations. It is quite easy to find the crinoid (sea lilies) segments in the marble of Koelga at the station "Tretyakovskaya" and on the change route between platforms of the "Kitay-Gorod" station. There is a real paleontological rarity at the "Tretyakovskaya" station. It is a coiled shell of the goniatite, an ancient representative of the cephalopod mollusks. Shells of ammonites and nautiloids, gastropods and bivalves, various sponges and stalks of crinoids can be found in the Saliety marble-like limestone of Early Jurassic Age at the metro stations "Dobryninskaya", "Elektrozavodskaya", at the change route from "Kurskaya"-radial to "Kurskaya"-circle stations, and in the faces of columns at the "Kievskaya" station on the Fili line. Upper Jurassic Crimea marble-like limestone at the stations "Komsomolskaya"-radial, "Библиотека имени Ленина", and "Красносельская" will impress you by high diversity of tropical reef fauna, e.g. hexacorals, brachiopods, bivalves, and calcareous algae. Numerous and various shells of ammonites and belemnites are waiting for you at the station "Park Pobedy".

Keywords: Carboniferous, Jurassic, paleontology, Moscow, metropolitan, marine fauna.

Эффект корневых выделений культурных растений на рост сорных видов

О.С.Демина¹, кандидат биологических наук Ю.С.Ларикова¹,
доктор биологических наук М.Н.Кондратьев¹

¹Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А.Тимирязева (Москва, Россия).

Статья посвящена изучению влияния корневых выделений культурных растений на рост сорных видов. Описываются основные требования к проведению экспериментальных исследований в аллелопатии растений. Также дается оценка различных методов получения водных растворов корневых выделений растений для биотестирования и других анализов. В результате экспериментов выяснилось, что некоторые полевые культуры подавляют развитие других растений, в частности — сорных видов, при этом аллелопатическая активность корневых выделений растений зависит от возраста как растений-доноров, так и реципиентов, что соответствует теоретическим данным.

Ключевые слова: аллелопатия, корневые выделения, полевые культуры, сорные растения, биотестирование, совместные посевы.

Каждое растение, выделяя различные продукты обмена, создает вокруг себя специфическую среду, которая для соседних организмов может оказывать токсичной, благоприятной или нейтральной [1]. Биогенные выделения имеют исключительно важное значение в химическом взаимодействии различных организмов (от микробов до высших растений), называемом аллелопатией (от греч. *αλληλων* — взаимно и *παθος* — страдание), и на различных уровнях их существования. Биологам давно известно, что аллелопатия лежит в основе эволюции видов, возникновения, развития и смены растительных группировок, а также играет важную роль в почвообразовательном процессе и даже в некоторых биосферных явлениях [2, 3]. Экспериментальное изучение аллелопатических взаимоотношений полевых культур важно как для понимания причин негативных явлений (почвоутомление, аутоинтоксикация), так и для выявления потенциально полезных для человека свойств культурных и дикорастущих видов.

Выделения живых высших растений принято делить на активные и пассивные, а их отмершие ткани (корневые волоски, кора, опавшие листья, растительные остатки и пр.) относить к посмертным [2, 4]. Наиболее интересны активные выделения (аллелохимикалии) высших растений, в частности — корневые экссудаты, которые, попадая в окружающую среду, могут влиять на произрастающих по соседству представителей и своего, и других видов. Например, корни многих древес-

ных пород (дуба, клена, ясеня и т.д.) выделяют токсины, подавляющие развитие как собственно подроста, так и однолетних трав, а распространение корневой системы ореха черного (*Juglans nigra*) и эвкалипта (*Eucalyptus*) можно проследить по отсутствию травянистого покрова. Свойство корневых экссудатов некоторых растений подавлять рост конкурентов особенно ярко выражено у инвазивных видов, стремительно захватывающих новые территории [5].

Очень сложные и многообразные взаимоотношения складываются у растения с обитателями ризосферы (участка почвы, прилегающего к корням): почвенные микроорганизмы могут снабжать его питательными веществами, защищать от паразитов, разрушать токсические вещества и т.д. [6]. Особенно это выражено у древесных пород, имеющих микоризу (греч. *μυκης* — гриб и *ριζα* — корень), и у некоторых растений семейства бобовых (*Fabaceae*), на корнях которых образуются клубеньки с азотфиксирующими бактериями рода *Rhizobium*. Установлено, что на формирование симбиоза с клубеньковыми бактериями, способными связывать атмосферный азот и обеспечивать растение азотным питанием, влияют фенольные соединения экссудата корня, которые активируют гены, необходимые для запуска последовательных стадий взаимодействия растения-хозяина с микросимбионтом. Способность преобразовывать труднодоступные элементы в усвояемую для растений форму обнаружена у выделительной системы корня кукурузы, гороха, люпина, сахарной свеклы и других культурных и диких видов [7].

В растительных и микробных выделениях выявлены практически все известные в химии естественные органические соединения. Среди них отмечены вещества вторичного происхождения (терпеноиды, стероиды, органические кислоты, фенольные соединения, кумарины, алкалоиды, танины, дубильные вещества, витамины, фитонциды), соединения, образующиеся в процессе метаболизма, гидролиза, автолиза растительного и микробного происхождения (белки, аминокислоты, полипептиды, пурины, нуклеотиды), продукты минерализации и гумификации (жирные кислоты с длинной цепью, нафтохиноны, антрахиноны, сложные хиноны, коричная кислота и ее производные) [8]. Эти соединения воздействуют на физиологические функции растений на всех структурных уровнях организации и на всех этапах онтогенеза [1]. На молекулярном уровне это может проявляться, например, в накоплении в клетке активного кислорода под действием катехина и других фенолов и хинонов. На клеточном и тканевом уровнях — это и блокирование ферментов запасных веществ, и влияние на митоз (кумарины, транс-коричная кислота, скополетин), и изменение величины устьичной щели листа (хлорогеновая кислота).

Изучение аллелопатической активности растительных выделений усложняется тем, что на количестве и качестве химических веществ, образуемых растением, сказываются и генетические особенности растений, и условия окружающей среды [9]. Состав и концентрация аллелохимикалий в тканях растения различаются в зависимости от возраста, локализации в органах и видовой принадлежности [10], при этом в зависимости от климатических и эдафических (почвенных) условий произрастания аллелопатический потенциал растения будет меняться.

Аллелопатия в сельском хозяйстве

В сельскохозяйственных фитоценозах культурные растения взаимодействуют не только между собой (при совместном выращивании на одной площади), но и с сорными видами, при этом аллелопатический потенциал растений в поле или саду зависит от применяемой агротехники. В довольно устойчивых природных ценозах активность диких видов значительно выше, чем у давно введенных в культуру сородичей. Тем не менее способность подавлять прорастание семян и развитие проростков выявлена при биотестировании аллелохимикалий и у многих культурных видов, например сорго двуцветного (*Sorghum bicolor*), пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*), подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus*), ржи посевной (*Secale cereale*) и др. [11, 12].

Особое внимание ученые уделяют поиску вторичных метаболитов культурных растений, ингибирующих рост сорных видов. Американские ис-

следователи, работающие в рамках программы USDA-ARS (Службы сельскохозяйственных исследований при Министерстве сельского хозяйства США), выявили из 16 тыс. сортов риса 412 сортов, которые угнетают рост распространенного сорняка рисовых плантаций гетерантеры илистой (*Heteranthera limosa*) и 145 сортов — аммании шарлаховой (*Ammania coccinea*). В Египте установили, что 40 из 1000 сортов риса ингибируют рост ежовника обыкновенного (*Echinochloa crus-galli*) и сыти разнородной (*Cyperus difformis*).

Оказалось, что некоторые сельскохозяйственные растения, обладающие аллелопатической активностью, могут подавлять рост сорняков, устойчивых даже к химическим гербицидам [11, 13]. В связи с этим в последние годы возрос интерес к выявлению различных сортов с подобными свойствами и поиску альтернативного способа борьбы с сорняками [11, 14]. Выяснилось, что аллелохимикалии могут ингибировать прорастание семян, менять барьерные функции клеточных мембран, нарушать процессы поглощения питательных веществ и воды, влиять на баланс гормонов, на экспрессию генов и синтез белков, на фотосинтез и дыхание [5, 15]. Открытие природных аллелопатических соединений позволит снизить использование синтетических гербицидов или даже заменить их на средства естественного происхождения (вегетативной массы растений, обладающих аллелопатическими свойствами, или водных вытяжек из них) для контроля сорных растений в агросистемах. Кроме того аллелохимикалии послужили моделями для синтеза новых гербицидов: например, цинметилин, применяемый на плантациях многих зерновых культур, был разработан на основе 1,4-цинеола, компонента эфирных масел различных ароматических видов растений, а мезотрион, предназначенный для контроля сорняков в посевах кукурузы, — аналог лептоспермона миртовых растений, в частности красавоты-чичолика лимонного (*Callistemon citrinus*) [16].

Мы уже упоминали об одном из проявлений аллелопатии — почвоугнетении. К нему могут привести разные причины — истощение запасов питательных элементов, изменения физического состояния и структуры почвы при непрерывном выращивании монокультуры на одной площади, но в большей степени — формирование неблагоприятных химических условий в зоне корней [3]. Негативное действие при этом может проявляться на росте растений как своего вида (аутоинтоксикация), так и других культур. В восточных странах выявлена аутоинтоксикация при монокультуре чая (*Camellia sinensis*), томата (*Solanum lycopersicum*), спаржи (*Asparagus officinalis*), мангольда (*Beta vulgaris*), казуарины (*Casuarina equisetifolia*) [17]. Минимизация вреда хозяйственной деятельности от таких проявлений аллелопатии — важная задача, стоящая перед исследователями и агрономами.

Особенности изучения аллелопатии

В экспериментах по выявлению аллелопатических свойств растений необходимо обращать внимание на следующие факторы: способ и продолжительность выделения аллелохимикалий в окружающую среду; ответную реакцию целевого вида (реципиента) на действие одного (или нескольких) соединений, выделяемых растением-донором; устойчивость и активность продуктов их деградации; прямое или косвенное действие аллелохимикалий на целевое растение (они могут влиять на биотические и абиотические факторы среды обитания) [18]. Кроме того необходимо помнить, что лабораторные биотесты не доказывают наличия аллелопатии в естественных условиях, а только допускают ее возможность.

Выявление аллелопатических взаимодействий начинается, как правило, с простых, недорогих, быстрых и надежных (хорошо воспроизводимых) биотестов, при этом для их проведения важно, чтобы целевые растения были достаточно чувствительны, а статистически значимые результаты — применимы к широкому спектру видов-мишеней [19]. Существует уже множество биотестов, и для каждого из них разрабатываются конкретные требования: подбираются доноры аллелохимических агентов и соответствующие виды растений, на которые направлена фитотоксическая активность, определяются состав сред, стадии развития тестируемых объектов, параметры, по которым оценивается аллелопатический потенциал, и т.д.

При проведении биотестов необходимо соблюдать определенные условия. Во-первых, важно избегать взаимодействия исследуемых соединений с компонентами среды и не допускать заражения микробами, которые могут, с одной стороны, вызвать деградацию испытуемых веществ, с другой, проявить активность собственных компонентов и т.д. Для соблюдения этих условий мы использовали в экспериментах исключительно стерильные субстраты, протравленные семена, дистиллированную воду.

Во-вторых, для биотестов желательно использовать в качестве доноров виды с высоким

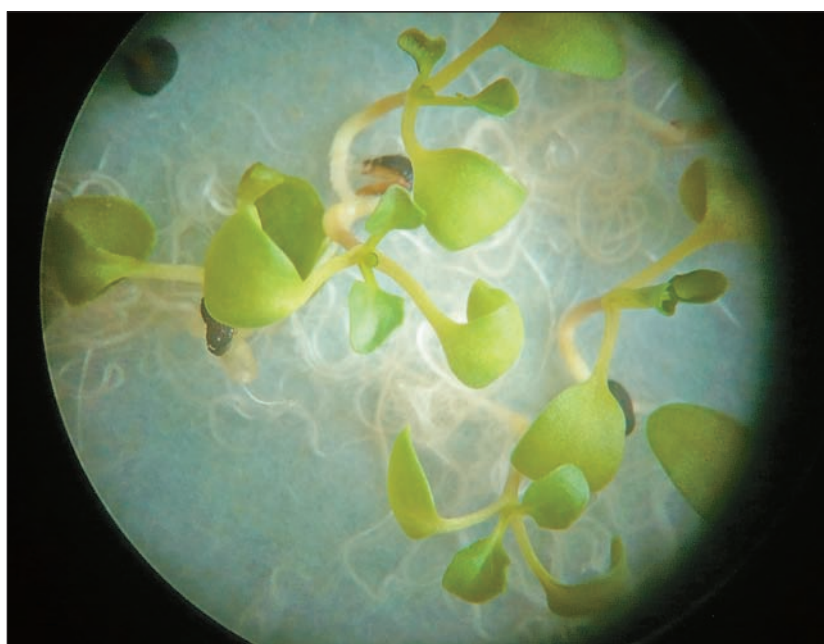
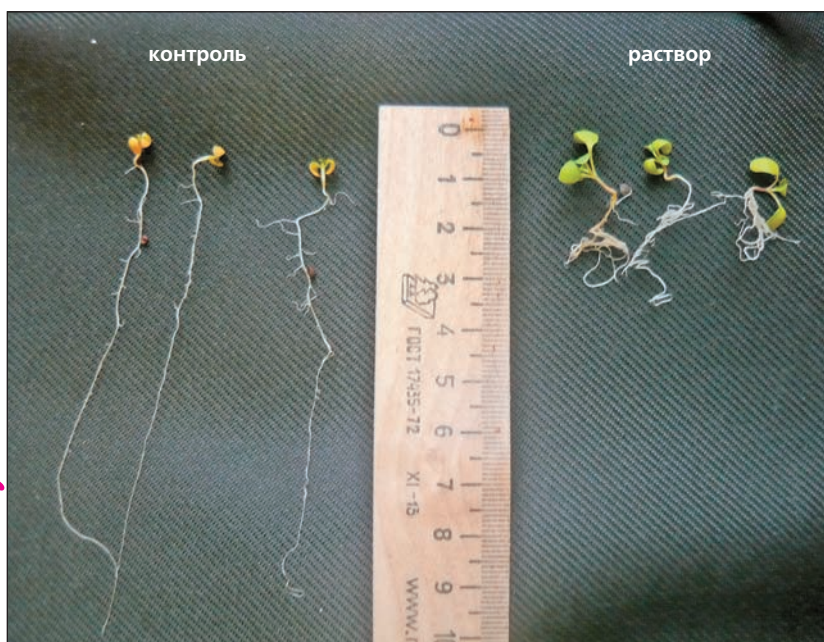
уровнем аллелопатического потенциала, поэтому для исследований мы выбрали такие заведомо активные культуры, как люпин белый (*Lupinus albus*) сорта «дега», люпин узколистный (*L. angustifolius*) сортов «радужный» и «кристалл» и рожь посевная сортов «татьяна» и «московская 12».

Для получения образцов корневых выделений растения-доноры выращивали в специально подготовленных, наполненных кварцевым песком воронках [20]. Через 14 дней роста растений в контролируемых условиях избыток воды, вытекающий из воронок при поливе и содержащий корневые выделения, отбирали для дальнейших исследований.

Очевидно, что в совместных посевах концентрация аллелопатических соединений в корневых выделениях зависит от густоты всех растений (и доноров, и реципиентов), поэтому в экспериментах мы проверяли влияние аллелохимикалий



Растения люпина в стеклянных воронках для отбора раствора корневых выделений.



Проростки ярутки полевой, выращенные на воде (контроль) и на растворе корневых выделений люпина белого. Видно, что аллелохимикалии люпина ингибировали рост корня ярутки, который не только вдвое короче по сравнению с контролем, но скручен (см. фото внизу), и стимулировали развитие надземной части сорняка.

при различных соотношениях тех и других растений. Для этого полученные водные растворы, содержащие корневые выделения растений-доноров, упаривали на ротационном вакуумном испарителе до определенного объема.

В-третьих, при биотестировании важно наличие различных видов-реципиентов с неодинаковой чувствительностью, т.е. использование как традиционных тест-растений, так и представи-

телей дикой флоры. В ряде опытов мы оценивали влияние корневых выделений люпина и ржи на проростки сорных растений: ярутки полевой (*Thlaspi arvense*) и щирицы запрокинутой (*Amaranthus retroflexus*). Морфологические показатели целевых растений оценивались через семь дней эксперимента.

У растений ярутки, выращенных на растворе корневых выделений люпина белого, аллелохимикалии вызвали угнетение роста корневой системы на 51% по сравнению с контролем, при этом у тестируемых растений наблюдалось характерная особенность роста корешка — «спиральное» закручивание. Рост и развитие надземной части, наоборот, в присутствии корневых выделений стимулировались. В опытах с растворами, полученными при выращивании люпина узколистного, также замедлялся рост корешка как у ярутки (21%), так и у щирицы (36%). Аналогичные результаты были получены в опытах с водными растворами корневых выделений ржи сорта «татьяна»: у проростков щирицы при измерении на седьмой день развития корешки оказались короче на 35% по сравнению с контролем, а гипокотиль крупнее.

В экспериментах, в которых подсолнечник и люпин выращивали в течение 14 дней в чашках Петри совместно с проростками ярутки полевой, сравнивали морфологические показатели обоих видов. Десятикратное увеличение доли проростков люпина привело к удлинению основного корня ярутки, при этом на количестве боковых корешков влияние корневых выделений люпина, по-видимому, не сказалось. Присутствие растений ярутки в разных соотношениях никак не отразилось на росте корней люпина. При совместном проращивании подсолнечника с яруткой в соотношении 3:10 привело к слабому ингибированию ее корней, но даже небольшое увеличение доли подсолнечника (5:10) вызвало обратный эффект — корни ярутки стали длиннее по сравнению с вариантом, в котором соотношение этих растений было 1:10. Интересно, что в присутствии под-

солнечника корневая система испытуемых растений скручивалась в спираль также, как и при биотестировании водных растворов.

Подводя итог, можно с уверенностью сказать, что растворы корневых выделений двух видов люпина (узколистного и белого) и ржи обладают аллелопатическим действием на рост других растений. Кроме того проростки сорных растений (ярутки и щирицы) при их совместном выращивании с люпином и подсолнечником оказались чувствительны к наличию в среде их корневых выделений. Сравнение результатов биотестирования растворов и совместных посевов разных видов растений показало, что эффект от аллелохимикалий может быть различным как по количеству, так и по качеству.

К сожалению пока молекулярные механизмы аллелопатии изучены недостаточно, несмотря на важность этого явления в формировании естественных и сельскохозяйственных фитоценозов. Правда, сравнительно недавно группа немецких и французских ученых попыталась выяснить, как действуют циклические гидроксамовые кислоты, выделяемые некоторыми видами травянистых растений и обладающие аллелопатическим действием [21]. Оказалось, что они подавляют работу эволюционно консервативного класса ферментов гистоновых деацетилаз, что непосредственно влияет на механизм модификации хроматина в клетках целевого растения и приводит в конечном итоге к нарушению его роста. ■



Морфологические особенности роста корней ярутки в присутствии подсолнечника (вверху) и люпина узколистного. В первом случае аллелохимикалии вызвали скручивание корня в спираль, во втором — увеличение количества корневых волосков.

Литература / Reference

1. Кондратьев М.Н. Взаимосвязи и взаимоотношения в растительных сообществах: учебное пособие для подготовки магистров по направлению 35.03.04 «Агрономия». Ред. М.Н.Кондратьев, Г.А.Карпова, Ю.С.Ларилова. М., 2014. [Kondratiev M.N. Interrelations in Plant Communities: a textbook. Kondratiev M.N., Karпова G.A., Larikova Y.S. (eds). Moscow, 2014. (In Russ.)]
2. Экспериментальная аллелопатия. Ред. А.М.Гродзинский. Киев, 1987. [Experimental Allelopathy. Ggrodzynskiy A.M. (ed.). Kiev, 1987. (In Russ.)]
3. Косолап Н.П. Аллелопатия — причина многих последствий. Зерно. 2008; 9: 46–51. [Kosolap N.P. Allelopathy is the reason of many effects. Zerno. 2008; 9: 46–51. (In Russ.)]

- Научные сообщения
4. *Chick T.A., Kielbaso J.J.* Allelopathy as an inhibition factor in ornamental tree growth: Implications from the Literature. *J. Arboric.* 1998; 24(5): 274–279. (275)
 5. *Bais H.P., Vepachedu R., Gilroy S. et al.* Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science.* 2003; 301 (5638): 1377–1380. Doi:10.1126/science.1083245.
 6. *Uren N.C.* Types, amounts and possible functions of compounds released into the rhizosphere by soil-grown plants. *The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil–Plant Interface.* Pinton R., Varanini Z., Nannipieri P. (eds). N.Y.; Basel, 2000; 19–40.
 7. *Khorassani R., Hettwer U., Ratzinger A. et al.* Citramalic acid and salicylic acid in sugar beet root exudates solubilize soil phosphorus. *BMC Plant Biology.* 2011; 11: 121. Doi:10.1186/1471-2229-11-121.
 8. *Па́йс Э.Л.* Аллелопатия. М., 1978. [*Rice E.L.* Allelopathy. Moscow, 1978.]
 9. *Karst J., Gaster J., Wiley E., Landbøusser S.M.* Stress differentially causes roots of tree seedlings to exude carbon. *Tree Physiol.* 2017; 37(2): 154–164. Doi:10.1093/treephys/tpw090.
 10. *Qasem J.R., Foy C.L.* Weed allelopathy, its ecological impacts and future prospects: a review. *J. Crop Prod.* 2001; 4: 43–92. Doi:10.1300/J144v04n02_02.
 11. *Duke S.O.* Proving allelopathy in crop–weed interactions. *Weed Science.* 2015; 63(1): 121–132. Doi:10.1614/WS-D-13-00130.1.
 12. *Inderjit S.* Soil: Environmental effects on allelochemical activity. *Agron. J.* 2001; 93(1): 79–84. Doi:10.2134/agronj2001.93179x.
 13. *Belz R.G.* Allelopathy in crop/weed interactions — an update. *Pest. Manag. Sci.* 2007; 63: 308–326. Doi:10.1002/ps.1320.
 14. *Niknesban P., Karimmojeni H., Moghanibasbi M. et al.* Allelopathic potential of sunflower on weed management in safflower and wheat. *AJCS.* 2011; 5(11): 1434–1440.
 15. *Weir T.L., Park S.-W., Vivanco J.M.* Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2004; 7(4): 472–479. Doi:10.1016/j.pbi.2004.05.007.
 16. *Bhowmik P., Inderjit.* Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. *Crop Protection.* 2003; 22(4): 661–671. Doi:10.1016/S0261-2194(02)00242-9.
 17. *Ben-Hammouda M., Kremer R.J., Minor H.C. et al.* A chemical basis for differential allelopathic potential of sorghum hybrids on wheat. *J. Chem. Ecol.* 1995; 21(6): 775–786.
 18. *Rovira A.* Plant root exudates. *Bot. Rev.* 1969; 35(1): 35–57. Doi:10.1007/BF02859887.
 19. *Рябушкина Н.А.* Биотесты для скрининга аллелопатического потенциала диких и культурных видов растений. Биотехнология. Теория и практика. 2005; 5: 5–15. [*Ryabushkina N.A.* The biotests using for wild and crop plant's allelopathic potential screening. *Biotechnology. Theory and practice.* 2005; 5: 5–15. (In Russ.)]
 20. *Лобков В.Т., Коношина С.Н.* Аллелопатические свойства почвы как фактор плодородия. Сельскохозяйственная биология. 2004; 3: 67–71. [*Lobkov V.T., Konoshina S.N.* Allelopathic effects of the soil as a soil fertility factor. *Agricultural biology.* 2004; 3: 67–71. (In Russ.)]
 21. *Venturelli S., Belz R.G., Kämper A. et al.* Plants release precursors of histone deacetylase inhibitors to suppress growth of competitors. *The Plant Cell.* 2015; 27(11): 3175–3189. Doi:10.1105/tpc.15.00585.

Effect of crops root exudate on the weed growth

O.S.Demina¹, U.S.Larikova¹, M.N.Kondratiev¹

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

The article is devoted to allelopathy as a common biological phenomenon by which one plant produces biochemicals (allelochemicals) that influence the growth, survival, development, and reproduction of other plants. The basic requirements for laboratory experimental research in plants allelopathy are described. The results of the study show that some field crops have potential in the suppression of weed growth due to root excretions. Thus the effects of root exudates depend on the donor- and recipient-plant age, as evidenced by other scientists' experience.

Keywords: allelopathy, root exudates, bioassay, allelochemicals.

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2017 ГОДА

По физике — Р.Вайсс, Б.Бэриш, К.Торн

Нобелевская премия по физике в 2017 г., как и ожидалось, была присуждена «за решающий вклад в создание детектора LIGO и наблюдение гравитационных волн». Награду получили трое американских ученых — Райнер Вайсс, Барри Бэриш и Кип Торн, но реально в экспериментах принимали участие тысячи специалистов. Есть весомые основания отметить и вклад в общий успех отечественных физиков.

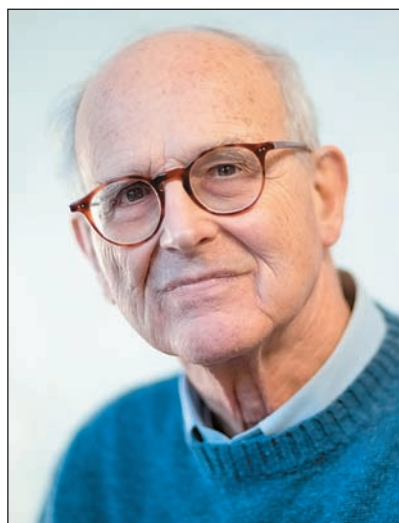
Ключевые слова: Нобелевская премия, гравитационные волны, оптический источник, многоканальная астрономия.

*Сегодня праздник у гравитации,
Громко кричим «Ура!».
Нынче не то, что вчера.
Вышли уже из абстракции
Волны гравитационные,
Отныне вполне законные.*

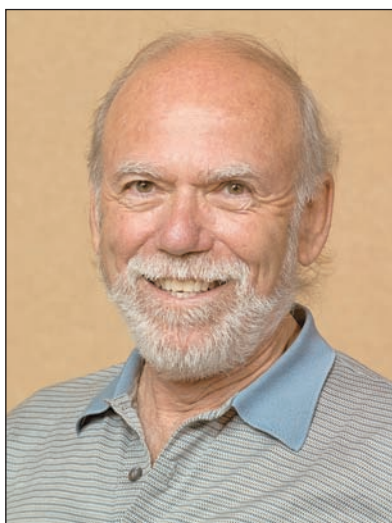
Наталья Ковба

Среди открытий, конкурирующих за высшую научную награду, в этом году был явный фаворит, и ожидания оправдались: Нобелевская премия по физике присуждена трем американским ученым: Райнеру Вайссу, Барри Бэришу и Кипу Торну — «за решающий вклад в создание детектора LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) и наблюдение гравитационных волн». Вайсса и Торна по праву можно назвать «отцами-основателями» проекта LIGO, а Бэриш был его научным руководителем в 1994–2005 гг., во время строительства и начала работы детектора, и организатором коллаборации LIGO (1997).

Хотя Райнер Вайсс (Rainer Weiss) и родился в Германии (в Берлине, 29 сентября 1932 г.), его образование и научная карьера целиком связаны с Соединенными Штатами. В 1955 г. он окончил Массачусетский технологический институт (МТИ), там же в 1962 г. защитил диссертацию. После непродолжительной отлучки (в Университет Тафтса в 1960–1962 г., затем в 1962–1964 гг. — в Принстонский университет, сотрудничество с которым по вопросам космологии продолжалось много лет) Вайсс вернулся в альма-матер, где и работает до сих пор (с 2001 г. — в качестве почетного профессора), участвуя в коллаборации LIGO со стороны МТИ.



Райнер Вайсс.



Барри Бэриш.



Кип Торн.

Область научных интересов лауреата весьма велика — это и экспериментальная атомная физика, и лазерная физика, и гравитационная, миллиметровая и субмиллиметровая астрономия (Вайсс — один из пионеров в измерении реликтового излучения Вселенной). Собственно, проект LIGO и был учрежден Вайссом — совместно с Кипом Торном и Рональдом Древером (профессор Калифорнийского технологического института Древер скончался в начале 2017 г.) — еще в начале 1980-х годов. Вайсс — член Американских физического и астрономического обществ, Американской академии искусств и наук, Американской ассоциации содействия развитию науки, Нью-Йоркской академии наук, лауреат множества премий, присуждаемых МТИ, НАСА, Американским физическим обществом и др.

Барри Бэриш (Barry C. Barish) родился 27 января 1936 г. в американском городе Омаха. Окончил в 1957 г. Калифорнийский университет (Беркли), в 1962 г. получил там докторскую степень, а с 1963 г. по настоящее время работает в Калифорнийском технологическом институте (Калтехе), будучи с 2005 г. почетным профессором. Входит в коллаборацию LIGO со стороны Калтеха — второго организатора проекта. Специалист по физике элементарных частиц, на заре своей научной карьеры он участвовал в нейтринных экспериментах Фермилаб по выявлению кварковой субструктуры нуклонов, которые были среди пионеров в обнаружении нейтральных токов, а затем инициировал новые работы по астрофизике частиц в Италии, на детекторе в Гран-Сассо (эксперимент MACRO), возглавлял группу по разработке будущего Международного линейного коллайдера (проект рассматривается сейчас правительством Японии). С 1994 г. стал главным исследователем проекта LIGO (с 1997 г. — директором), приложив массу усилий для завершения проектирования, получения финансирования и строительства детектора. Член Американской академии искусств и наук, Национальной академии наук, Американской ассоциации содействия развитию науки, Американского физического общества (в 2011 г. был его президентом) и др.

Кип Торн (Kip S. Thorne), уроженец американского города Логан (дата рождения 1 июня 1940 г.), окончил Калтех в 1962 г., а в 1965 г. защитился в Принстонском университете. После двухлетней постдокторантской работы вернулся в Калтех и больше его не покидал (став профессором теоретической физики уже в 1970 г.). Его научные интересы сфокусировались на физике гравитации и астрофизике, с акцентом на релятивистских звездах, черных дырах и гравитационных волнах. В конце 1960-х — начале 1970-х годов заложил основы теории пульсации релятивистских звезд и гравитационных волн, которые те излучают, а в течение 1970–1980-х годов развил математический формализм для астрофизического анализа излучения гравитационных волн, работая вместе

с Владимиром Борисовичем Брагинским, Рональдом Древером и Райнером Вайссом над развитием новых технических идей и планов для их регистрации. Член Американской академии искусств и наук, Национальной академии наук, Национального философского общества, иностранный член РАН (с 1999 г.), награжден многими премиями и медалями, в том числе Американского физического общества, Германского астрономического общества, швейцарского Общества Альберта Эйнштейна, ЮНЕСКО и др. Торн хорошо известен также как популяризатор науки — был он и автором журнала «Природа» (статьи 1977, 1984, 1988, 1991 гг., а в семи номерах 1994 г. даже публиковался перевод его книги «Черные дыры и искривление времени: дерзкое наследие Эйнштейна»).

Писать эту статью не совсем просто, поскольку читатели «Природы» оперативно получили информацию как о феномене гравитационных волн, самом их открытии и его истории*, так и о принципах квантовых измерений и сложнейшей их технической стороне**. Только что на страницах журнала обсуждалась вся совокупность данных о слиянии черных дыр, имеющих пока на основе четырех зарегистрированных гравитационно-волновых событий***. Премия присуждена трем ученым, но реально сейчас в эксперименте принимают участие более 4 тыс. человек. Поэтому, чтобы не повторяться, сосредоточимся на вкладе отечественной науки, чему есть особое основание: мне самому удалось поучаствовать как в предсказании 30 лет назад типа источника гравитационных волн, который будет открыт первым, так и в открытии 17 августа 2017 г. сопутствующего электромагнитного излучения. Но прежде чем рассказывать о последних событиях, мы должны вспомнить тех, кто идейно и практически содействовал прямому детектированию гравитационных волн, дебютировавшему в 2015 г. [1].

Начать нужно с того, что сама идея наблюдать гравитационные волны (ГВ) с помощью света и конкретно лазерного излучения в интерферометре Майкельсона была высказана советскими физиками Михаилом Евгеньевичем Герцштейном и Владиславом Ивановичем Пустовойтом в 1962 г. [2]. Конечно, эта работа была инициирована заявлением пионера экспериментальной гравитационно-волновой физики — Джорджем Вебером, первым сообщившим о регистрации гравитационных волн на своем детекторе в Мэриленде (что впоследствии не нашло подтверждения). Значение эксперимента Вебера проглядывает даже в предпосланной статье [1] аннотации, которую стоит процитировать: «Показано, что чувствительность элек-

* Руденко В.Н. След космической катастрофы: первая регистрация гравитационных волн. Природа. 2016; 4: 15–24.

** Халили Ф.Я. Лазерная интерферометрия: за занавесом триумфа. Природа. 2016; 6: 54–61.

*** Черепанчук А.М., Чернин А.Д. Список Гинзбурга: гравитационные волны, черные дыры, темная энергия. Природа. 2017; 10: 4–20.



Авторы идеи гравитационно-волнового лазерного интерферометра советские физики М.Е.Герценштейн (1926–2010) и В.И.Пустовойт (р.1936) и один из ключевых создателей интерферометра LIGO — В.Б.Брагинский (1931–2016).

трехмеханических опытов по обнаружению гравитационных волн при помощи пьезокристаллов на 10 порядков хуже, чем по оценкам Вебера. В области малых частот возможно обнаружение гравитационных волн по смещению полос оптического интерферометра; оценена чувствительность метода». Собственно, сама статья и была в значительной степени посвящена полемике с Вебером — в ней сравнивались два принципиально различных подхода к регистрации ГВ. В одном на гравитационные волны должны были реагировать некие нерелятивистские тела (рабочим телом в установке Вебера был металлический цилиндр, сжатие которого измерялось пьезокристаллами), в другом — релятивистские объекты, например свет. Замечательно, что в этом соревновании разных подходов — твердотельного детектора и интерферометра — победил в итоге модернизированный интерферометр Майкельсона, который прямо упоминается в статье [2]. Итак, преуспевший метод обнаружения гравитационных волн основан на идее наших соотечественников — Герценштейна и Пустовойта.

Примерно в те же годы раскрылся удивительный талант одного из лучших физиков-экспериментаторов — Владимира Борисовича Брагинского, который уже отметился среди тех, на кого ссылались авторы [2]. Позже именно Брагинский установил так называемый квантовый предел чувствительности приемников ГВ [3], связанный с соотношением неопределенностей Гейзенберга, которое не позволяет сколь угодно точно измерить положение тела при конечном его импульсе. И он сам, и руководимая им команда физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова приняли участие в создании первого «боевого» гравитационно-волнового интерферометра LIGO. Это второй

крупный вклад советских/российских ученых — уже в техническую реализацию детектора ГВ. Можно смело сказать, что без идей Брагинского нынешние нобелевские лауреаты могли бы и не дожить до открытия ГВ на установке LIGO.

К счастью, Владимир Борисович застал открытие гравитационных волн (и был среди авторов пионерной статьи [1]), но до присуждения Нобелевской премии ни Брагинский, ни Герценштейн не дожили. А здравствующего ныне Пустовойта Нобелевский комитет, к сожалению, в число лауреатов не включил. Вообще, если можно обойти русского ученого, комитет это с удовольствием сделает. Конечно, Владислав Иванович был тогда аспирантом, начинающим ученым. Но среди нобелевских лауреатов полно бывших аспирантов, а среди отмеченных работ — исследований, выполненных в аспирантуре (ближайший пример по теме — Алан Халс, аспирант Джозефа Тейлора: оба получили премию в 1993 г. за открытие двойного радиопульсара). Увы, подобный российский прецедент ограничивается лишь премией за открытие излучения Вавилова—Черенкова (Павел Алексеевич Черенков сделал его, будучи аспирантом Сергея Ивановича Вавилова).

Об открытии гравитационных волн мир узнал в год столетия их предсказания Альбертом Эйнштейном, датированного 1916 г. Мы же в Государственном астрономическом институте имени П.К.Штернберга МГУ получили информацию на полгода раньше — 16 сентября 2015 г., так как наша Глобальная сеть МАСТЕР (Мобильная Астрономическая Система Телескопов-Роботов)* была при-

* О рождении проекта МАСТЕР см.: *Литвинов В.М.* Гамма-всплески, русская деревня и первый робот-телескоп в России. Природа. 2006; 10: 26–32.

глашена в кооперацию для электромагнитной поддержки эксперимента LIGO/VIRGO в числе 70 установок со всего мира. Наша сеть телескопов превзошла все другие оптические телескопы по площади обзора гравитационно-волнового квадрата ошибок первого события LIGO GW150914, покрыв более его половины (около тысячи квадратных градусов), и подтвердила свой статус самой быстрой распределенной по земному шару оптической поисковой системы в мире.

В последние полгода моя лаборатория космического мониторинга МГУ в содружестве с семью университетами и обсерваториями мира приняла самое живое участие в эксперименте LIGO. Эти полгода — время беспрецедентных в истории астрономии обзоров и обработки в реальном времени изображений, полученных в Южном и Северном полушариях на сети оптических телескопов МАСТЕР*. Благодаря уникальному распределению по поверхности Земли и параметрам телескопов МАСТЕР снова совершил самый обширный, быстрый и глубокий обзор квадратов ошибок LIGO, опередив все другие оптические системы, включая PanSTARR (проект Пентагона и НАСА), iPTF (программа Калтеха и Принстонского университета) и т.д.

Глобальная сеть МАСТЕР обнаружила попутно семь оптических вспышек, заведомо не связанных с гравитационными волнами. Это не удивительно. Честно говоря, я как теоретик и не ждал от источника ГВ никакого оптического излучения, о чем написал в первой нашей телеграмме. Но как наблюдатель я, конечно, не имел права отступить, и наш обзор стал самым значительным среди всех обсерваторий мира, участвовавших в программе оптической поддержки LIGO.

День первой регистрации ГВ в 2015 г. был для меня дважды счастливым, потому что тогда не просто были открыты гравитационные волны, но их источником оказались именно две черные дыры, слившиеся на наших глазах! Все дело в том, что как раз мы (профессор В.М.Липунов и его бывшие аспиранты К.А.Постнов и М.Е.Прохоров) предсказали (посчитали на Машине сценариев, придуманной Липуновым и В.Г.Корниловым в 1983 г.) в 1997 г. то, что первое событие, регистрируемое на гравитационно-волновых детекторах, будет слиянием черных дыр. Об этом я напомнил в первом сообщении о начале оптической инспекции МАСТЕРом вероятной области неба, в которой и находился источник ГВ.

История такова. В 1997 г. мы опубликовали (чтобы никто не прошел мимо, в трех статьях) важнейшее предсказание теории эволюции двойных звезд — первыми на интерферометрах типа LIGO должны наблюдаться сталкивающиеся черные дыры. В самых общих предположениях об эволюции двойных звезд мы посчитали с помо-

щью специального кода Машины сценариев предполагаемую частоту слияния нейтронных звезд (1987) и черных дыр (1997). Главная идея нашей Машины сценариев состояла в создании компьютерной модели Вселенной, где постоянно рождались искусственные двойные системы, жизнь которых развивалась согласно нашим, быть может, не очень точным (а точная модель никем не создана до сих пор), теоретическим представлениям об эволюции двойных звезд. Начальные параметры систем выбирались абсолютно случайно, методом Монте-Карло. Играя на этой компьютерной рулетке, мы прежде всего пытались найти такие параметры эволюции, которые самым оптимальным образом объясняли бы наблюдаемые в реальности стадии эволюции двойных систем. Так, в создаваемой искусственной Вселенной должны на определенном этапе обязательно присутствовать объекты типа Cyg X-1 (черная дыра с голубым сверхгигантом), а двойных радиопульсаров с черными дырами было мало (их не открыли до сих пор).

Идея расчета, который никто не смог правильно повторить за 30 лет, была простая, но технически очень сложно выполняемая (надо сказать, что Машина сценариев эволюции двойных звезд на десятилетие обогнала западные исследования в этой области). Мы «отпустили» все параметры эволюции — скорость отдачи при коллапсе, параметр общей оболочки, функцию распределения двойных по отношению масс и т.д. И получилось, что, как бы мы ни меняли параметры сценария эволюции двойных звезд, первыми сигналами на гравитационно-волновом детекторе LIGO станут гравитационные волны, порожденные сливающимися черными дырами! Имеет смысл дать русский перевод названия одной из упомянутых статей ([4]): «Первые детектируемые события LIGO: слияния черных дыр». На рис.1 представлен график из другой ([5]), который мы в шутку назвали головой динозавра. Видно, что при всех возможных значениях параметров (один из них, $k_{\text{вн}}$ — доля массы звезды, уходящая в черную дыру, приведен на графике по горизонтальной оси) частота слияния черных дыр или черных дыр с нейтронными звездами оказывается выше, чем частота столкновения чистых двойных нейтронных звезд, под которые и строились гравитационно-волновые антенны в США и Италии.

Парадокс состоял в том, что черные дыры сливаются (сталкиваются) гораздо реже, чем нейтронные звезды. Но за счет того, что масса черных дыр примерно в 10 раз больше, горизонт детектора оказывается намного выше. На это впервые обратили внимание советские астрофизики А.В.Тутуков и Л.Р.Юнгельсон, о чем я тогда не знал, но догадался независимо. В Копенгагене, на очередной конференции, Кип Торн, всегда интересовавшийся нашей Машинной сценариев, спросил меня: «А как там черные дыры?». И тут я внезапно понял, что черные дыры важны для ГВ-антенн.

* <http://observ.pereplet.ru/>

К тому времени у нас была самая продвинутая модель эволюции черных дыр в двойных системах (мы развивали космологическую модель гамма-всплесков как сливающихся нейтронных звезд или нейтронных звезд с черными дырами), и просто надо было приложить ее к будущим ГВ-детекторам. Я сразу же написал в Москву своим соавторам Постнову и Прохорову с просьбой срочно посчитать частоту событий черных дыр — так появилась «Голова динозавра». Мы видим черные дыры дальше! А это дает почти кубическую зависимость — и слияние черных дыр должно быть обнаружено первым. Я всегда, рассказывая об этом в популярных лекциях, добавлял, что может появиться первая двойная Нобелевская премия — за открытие гравитационных волн и черных дыр.

Наши расчеты положительно оценил нобелевский лауреат, знаменитый физик Ганс Бете: в одной из последних своих работ он писал: «Мы отмечаем качественный популяционный синтез Липунова и др. (1997). В частности, получен важный результат, что введенная авторами анизотропия коллапса (скорость отдачи при образовании черной дыры) увеличивает частоту слияний черных дыр в двойных системах. В то же время Цварт и Юнгельсон (1998) нашли, что черные дыры вообще не сливаются» [6]. Популяционным синтезом Бете занялся в конце жизни, пытаясь простыми аналитическими методами предсказать частоту слияний нейтронных звезд и черных дыр. А мы этот проект начали на 15 лет раньше, построив огромную Машину сценариев, которая и позволила произвести эти расчеты. В 2015 г. выяснилось, насколько они были правильные — они прекрасно подтвердились открытием 14 сентября. Таким образом, предсказание (расчет) частоты событий при планируемой чувствительности гравитационно-волновых детекторов — тоже в отечественной копилке.

Новая Нобелевская премия необычна по многим обстоятельствам. Первое, что бросается в глаза, — решимость Нобелевского комитета, проявленная в рекордно быстром признании заслуг ученых. Случай, невиданный в практике присуждения премий: прошло чуть более двух лет с момента самого открытия ГВ, к которому сначала многие отнеслись скептически (сохранялась некая неопределенность с погрешностью эксперимента). Конечно, уверенности придали еще три события слияния черных дыр, зарегистрированные за прошедшие два года. Но немалую роль здесь сыграло и открытие оптического излучения от столкновения нейтронных звезд 17 августа 2017 г. Знаю это по общению с «релятивистами». Некоторые сетовали, что, мол, от обнаруженных событий нет никакого другого подтверждения, кроме самих гравитационных волн! Недаром Торн, побывавший в гостях у Глобальной сети МАСТЕР в 2016 г., написал на доске пожелание, чтобы наши телескопы открыли оптический

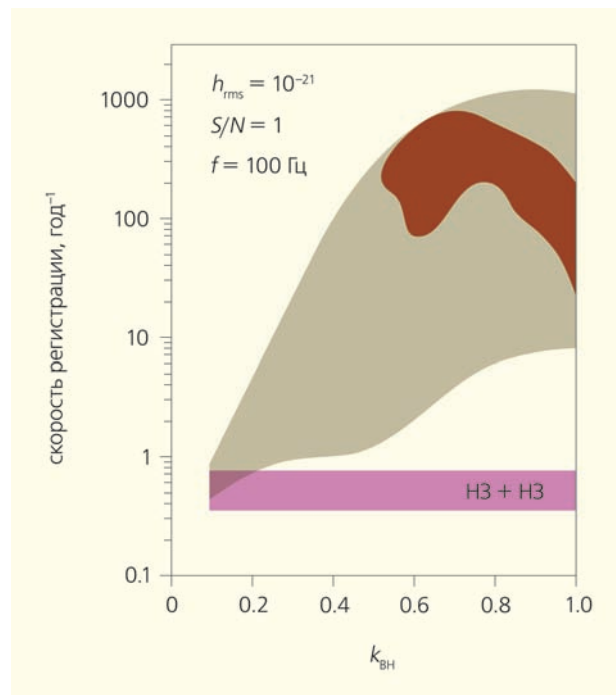


Рис.1. Ожидаемая скорость регистрации всплесков ГВ от слияния нейтронных звезд (НЗ) и черных дыр в зависимости от неизвестного пока параметра $k_{ВН}$. В зачерненную область, напоминающую голову динозавра, попадают предсказания частоты событий слияния черных дыр на интерферометре типа LIGO при оптимальных параметрах сценария эволюции двойных звезд. Серая область, отвечающая всевозможным параметрам и сценариям, достаточно велика, но всюду дает более высокую вероятность, чем для столкновения двух нейтронных звезд (полоса НЗ + НЗ).

двойник гравитационных волн. И МАСТЕРу это удалось: 17 августа 2017 г. наш прибор оказался среди нескольких телескопов, установленных в Южной Америке, которые независимо обнаружили первое оптическое изображение источника ГВ (вернее того, что от него — источника — осталось).

Примерно в полдень по всемирному времени (если быть точным, в 12:41:04.44) два детектора LIGO и детектор Virgo в Италии впервые зафиксировали гравитационно-волновой импульс от двух сталкивающихся нейтронных звезд, расположенных на расстоянии 120 млн св.лет. Через 2 с гамма-обсерватория НАСА Fermi (и впоследствии аппарат ЕКА Integral) зарегистрировала короткий импульс гамма-излучения — гамма-всплеск. Через 10 ч 15 мин российский телескоп-робот Глобальной сети МАСТЕР, расположенный в обсерватории Феликса Агуилара (Аргентина), первым начал съемку квадрата ошибок источника ГВ и получил сверхширокопольными камерами первое изображение галактики после произошедшего в ней столкновения нейтронных звезд. А еще через полтора часа (в 23 ч 59 мин) он натолкнулся на галактику NGC 4993, в которой нашел новый



Автор у доски с пожеланием для Глобальной сети МАСТЕР: «Желаю открытия оптического излучения от LIGO-источников!», которое оставил Кип Торн, посетивший нашу лабораторию в ГАИШ МГУ в 2016 г.

объект 17.5-й звездной величины (что по принятой шкале отвечает килоновой) — MASTER OT J130948.10-232253.3 (рис.2). В это время в Москве была глубокая ночь, и сначала об открытии объекта SSS17a в NGC 4993 в GCN заявила группа метрового телескопа Swore, установленного в Чили. Замечательно, что обнаруженный источник ни по поведению, ни по яркости, ни по спектру не был похож на любую из исследованных сверхновых. Полученные вскоре оптические спектры подтвердили: оболочка килоновой разлетается со скоростью 100 тыс. км/с (это треть скорости света!), что соответствует второй космической скорости на поверхности нейтронных звезд.

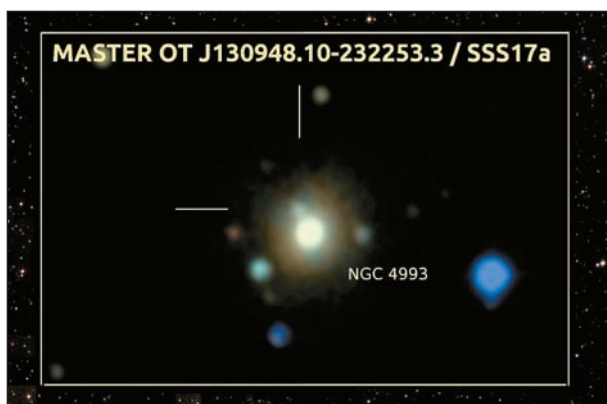


Рис.2. Килоновая GW 170817, обнаруженная телескопом-роботом МАСТЕР. Изображение получено в результате сложения и вычитания кадров, снятых в фильтрах B, V, R, I на телескопах МАСТЕРа. Поле зрения 2×2 квадратных градуса. Предел кадра 19.5. Диаметр 400 мм, светосила — 1:2.5.

Таким образом, 17.08.2017 астрономы и физики практически одновременно впервые наблюдали столкновение двух нейтронных звезд и его последствия в галактике NGC 4993 не только в гравитационно-волновом канале, но и в нескольких диапазонах электромагнитного излучения — гамма-, рентгеновском, ультрафиолетовом, оптическом и инфракрасном. В этом отношении столкновения нейтронных звезд информативнее, и значит, интереснее, чем слияние черных дыр, гравитационные волны от которого были зарегистрированы первыми (в таком событии излучения электромагнитных волн не происходит). Поэтому совершим небольшой экскурс в историю изучения нейтронных звезд, где тоже очевиден весомый вклад советских ученых.

Нейтронные звезды — первый класс астрономических объектов, существование которых было предсказано теоретически и подтверждено наблюдениями. Идею о том, что в природе должны существовать гигантские атомные ядра с массой больше солнечной и размером 10 км, Лев Давидович Ландау высказал еще в 1932 г., до открытия нейтронов британцем Джеймсом Чедвиком. Через два года, в 1934 г., американские астрофизики Вальтер Бааде и Фриц Цвикки дали им название — нейтронные звезды — и высказали предположение, что они рождаются в результате катастрофического коллапса (гравитационного сжатия), который, в свою очередь, сопровождается вспышкой сверхновой звезды. Ученые прямо указали на Крабовидную туманность, которая образовалась в результате вспышки сверхновой (наблюдавшейся китайскими астрономами в 1054 г.). Именно здесь, в Крабовидной туманности, через 35 лет был обнаружен самый молодой радиопульсар — быстро вращающаяся нейтронная звезда.

В 1966 г. Яков Борисович Зельдович и Игорь Дмитриевич Новиков нашли физический процесс, который мог бы сделать эти микроскопические по масштабам звезд объекты с радиусом порядка 10 км яркими источниками электромагнитного излучения. Этот механизм — падение окружающего вещества на нейтронную звезду — был вскоре предложен Иосифом Самуиловичем Шкловским как объяснение природы самого яркого рентгеновского источника Sco X-1. Почти в то же время Николай Семенович Кардашев и итальянский астрофизик Франко Пачини нашли еще один источник энергии замагниченной нейтронной звезды — запасенную во время коллапса ее вращательную

энергию. Так нейтронные звезды, родившиеся на кончике пера, стали научной гипотезой, прямо подтвержденной после открытия радиопульсаров (англичанином Энтони Хьюишем, Нобелевская премия 1974 г.) и рентгеновских пульсаров (американским физиком итальянского происхождения Риккардо Джаккони, Нобелевская премия 2002 г.).

После уже упоминавшегося открытия двойного радиопульсара австралийскими радиоастрономами Халсом и Тэйлором стало ясно, что во Вселенной идет процесс столкновения нейтронных звезд, поскольку время слияния этой двойной было меньше ее возраста.

Процесс столкновения двух нейтронных звезд — этих сверхтяжелых атомных ядер — напоминает столкновение элементарных частиц в коллайдерах, но выделяющаяся энергия в этом случае несравненно выше. Фактически столкновение нейтронных звезд наряду со слиянием черных дыр представляет собой самый мощный процесс во Вселенной, сопровождающийся гравитационно-волновым импульсом. Именно поэтому Торн, главный идеолог проекта LIGO, начал продвигать идею ГВ-детектора еще в 80-е годы.

Естественно, возник вопрос: как часто такие процессы идут во Вселенной? Говоря языком физики элементарных частиц, надо было рассчитать сечение самых мощных космических реакций.

Первые попытки оценить темп слияния нейтронных звезд в нашей Галактике, исходя из общих представлений об эволюции двойных систем вплоть до образования в них релятивистских звезд, оказались довольно приблизительными из-за большого числа трудно оцениваемых вероятностных коэффициентов. Полученные значения не вдохновляли: всего 10^{-4} – 10^{-6} слияний в год.

И здесь помогла наша Машина сценариев. Это случилось благодаря невиданной концентрации астрофизической мысли вокруг нашего выдающегося соотечественника Якова Борисовича Зельдовича. Да и сам будущий вдохновитель проекта Кип Степанович Торн (так его называли в группе Зельдовича) идею эту почерпнул на семинарах Якова Борисовича (сейчас — Общественный семинар астрофизиков имени Я.Б.Зельдовича), к которому он регулярно приезжал с 60-х годов. Здесь же Торн познакомился с Владимиром Борисовичем Брагинским, руководимая которым группа физиков физического факультета МГУ внесла, как уже упоминалось, неоценимый вклад в успех гравитационно-волнового эксперимента. Узнал Торн в один из своих визитов и о нашей новой разработке (мы усовершенствовали Машину сценариев) и попросил посчитать вероятность столкновения двойных нейтронных звезд.

Так появился первый расчет вероятности столкновения нейтронных звезд в нашей Галактике. Оказалось, что подобная коллизия должна случаться каждые 10 тыс. лет [7]. Следовательно, чтобы получить Нобелевскую премию за открытие гравитаци-

онных волн, надо выбрать дальность приема антенной, захватывающую область с 10 тыс. галактик, — ее радиус был оценен в 20 Мпк (60 млн св. лет). Тогда хотя бы раз в год удастся зарегистрировать ГВ. Но лучше, конечно, получить хотя бы несколько событий в год, для чего надо увеличить горизонт интерферометра до 40 Мпк.

Схожую оценку аналитическими методами позже получили американцы Д.Хиллс и Р.Веббинк [8] и советские астрофизики А.В.Тутуков и Л.Р.Юнгельсон [9]. Отметим, что в ряде зарубежных работ утверждалось, что темп слияний в 10–100 раз ниже.

На рис.3 показан весьма красноречивый график — зависимость частоты столкновения нейтронных звезд от радиуса горизонта чувствительности антенны. Легко видеть, что открытие столкнувшихся нейтронных звезд на расстоянии ~40 Мпк прекрасно согласуется с расчетами 1987 г.! А на рис.4 вероятность события показана в пространственных координатах: сценарии эволюции двойных звезд разыгрывались на карте галактического неба, построенной нами до расстояний в 50 Мпк еще в 1995 г. на основе модели локальной Вселенной и самого точного каталога галактик Тулли [10]. Только что открытое первое слияние нейтронных звезд попадает во вполне ожидаемое место. Интересно и другое совпадение. Полная скорость слияния на всем небе на этой карте равна трем событиям в год. А ведь LIGO обнаружила первое слияние, проработав всего треть года, — отличный прогноз!

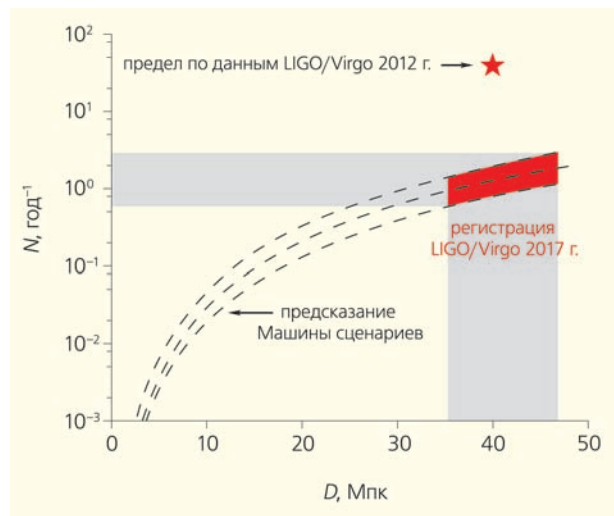


Рис.3. Темп слияния нейтронных звезд N в зависимости от горизонта чувствительности D . Три штриховыми линиями показаны расчеты Машины сценариев. Красная звездочка показывает оценку нижнего предела 2012 г., не противоречившую нашим предсказаниям. Вертикальная серая полоса — расстояние до галактики NGC 4993 с соответствующей на сегодняшний день ошибкой 41 ± 5.8 Мпк, горизонтальная — предсказание Машины сценариев (несколько событий в год) [12].

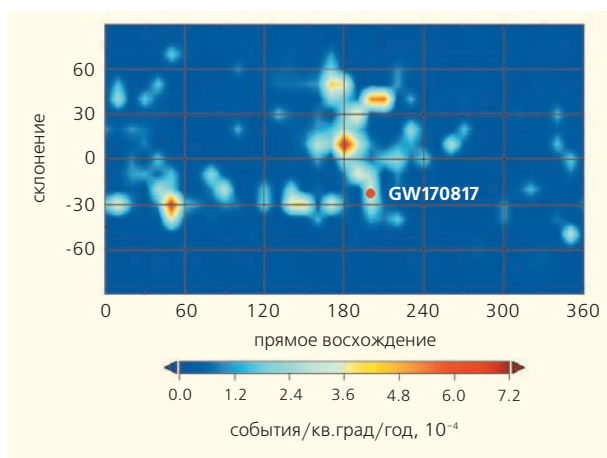


Рис.4. Ожидаемая частота столкновений нейтронных звезд на карте галактического неба, построенной нами в 1995 г. на основе модели локальной Вселенной с использованием самого точного каталога галактик Тулли до расстояний в 50 Мпк. Красный кружок показывает событие GW170817 в галактике NGC 4993 — первое зарегистрированное слияние нейтронных звезд.

Итак, день 17 августа 2017 г. может по-настоящему считаться днем рождения новой науки — гравитационно-волновой астрономии*. Удалось сделать самое главное: локализовать место ГВ-события с астрономической точностью — лучше одной угловой секунды! В прошлом веке астрономия гамма-всплесков никак не могла появиться на свет почти 30 лет. Именно столько времени понадобилось физикам и астрономам, чтобы найти оптические двойники гамма-всплескам. В случае же гравитационных волн эта метаморфоза заняла всего два года, а если говорить о самом открытии — всего полдня. Почему так важна точная локализация? Потому что с момента установления точного места происшествия к новому явлению наконец может быть применен весь тысячелетний опыт старейшей из наук — астрономии (или, по крайней мере, опыт последнего столетия — самого бурного и революционного). Локализация позволила установить галактику, в которой произошла мощнейшая катастрофа. Ею оказалась галактика типа S0 под номером NGC 4993. Что это за галактика?

Замечательный российский астрофизик Игорь Дмитриевич Караченцев с соавторами посвятил немало времени исследованию этих немногих нетипичных галактик. С виду (особенно плашмя, как мы и видим NGC 4993) они напоминают спиральные галактики, правда с очень слабыми спиральями. Спирали формируются молодыми звездами, а здесь их практически нет! Получается, короткий

гамма-всплеск родился в галактике, где нет массивных звезд. Но сами нейтронные звезды, столкновение которых там наблюдалось, — продукт эволюции именно массивных звезд. Только последние жили миллиарды лет назад, и, следовательно, можно примерно установить биографию этой парочки.

Получается следующая картина: примерно 10 млрд лет назад, когда шло первичное бурное звездообразование, в галактике NGC 4993 возникла система из двух голубых звезд-сверхгигантов. Понадобилось не больше 100 млн лет, чтобы в системе прогремели два взрыва сверхновых, сопровождавшихся образованием нейтронных звезд, как это и предположили Бааде и Цвикки. Чудом система не распалась. Такие чудеса точно происходят в нашей Галактике раз в 10 тыс. лет, и как раз в результате столь редкого события образуется двойная нейтронная звезда — одна (а иногда и обе) становятся вначале радиопульсарами и довольно быстро, за 10 млн лет, замедляются и гаснут. Потом долгие миллиарды лет они сближаются. И только совсем недавно, примерно 100 млн лет назад, когда по Земле еще бегали динозавры, произошло катастрофическое слияние, сопровождавшееся мощным импульсом гравитационных волн, гамма-излучением, явлением килоновой, рентгеновским послесвечением и радиосвечением. Вот такой фейерверк позволяет всем отраслям астрономии нацеливаться на событие 17 августа прошлого года и на базе всего накопленного опыта сказать свое веское слово — не зря же 16 октября, в день пресс-конференции научного фонда США, когда было снято эмбарго, мы увидели сотни научных статей, посвященных этому феномену. Среди них появилась и одна публикация в Nature, в числе авторов которой вы найдете участников проекта МАСТЕР [11].

Она посвящена первому в истории определению постоянной Хаббла с помощью стакивающихся нейтронных звезд. Дело в том, что если получить ГВ-сигнал от сталкивающихся объектов, то автоматически находится расстояние до них. Почему? С одной стороны, амплитуда гравитационной волны в любой момент времени определяется массой вступивших в «реакцию» слияния звезд и расстоянием до них. С другой стороны, частота гравитационной волны — это удвоенная частота орбитального вращения, которая определяется только массами звезд (третий закон Кеплера) и расстояниями между ними. Из этих двух условий можно найти и массы, и удаление от Земли данного слияния. Таким образом, регистрируя ГВ от двойной системы, можно тут же определить расстояние до нее.

Но, если слияние сопровождается оптической вспышкой и известно, в какой галактике она происходит, можно измерить красное смещение и найти скорость удаления галактики от нас, а ис-

* Случайное совпадение состоит в том, что в паспорте автора этой статьи, в графе дата рождения, стоит 17 августа 1952 г. Спасибо LIGO/Virgo за подарок к юбилею.

пользуя закон Хаббла, — и расстояние. Итак, мы имеем два независимых уравнения для расстояния и постоянной Хаббла. Понятно, что из двух уравнений можно рассчитать последнюю.

Конечно, первое измерение оказалось не очень точным, но по мере работы интерферометров LIGO/Virgo и, соответственно, регистрации новых и новых событий слияния, мы будем иметь один из самых точных методов определения постоянной

Хаббла, важнейшей характеристики нашего мира. И это лишь одно из многих научных следствий нового открытия, удостоенного Нобелевской премии 2017 г.

© доктор физико-математических наук **В.М.Липунов**,
заведующий лабораторией космического мониторинга
Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова
(Москва, Россия)

Литература / References

1. *Abbott B.P., Abbott R., Abbott T.D. et al.* Observation of gravitational waves from binary black hole merger. *Phys. Rev. Lett.* 2016; 116: 061102. (Doi: 00319007/16/116(6)/061102).
2. *Герцештейн М.Е., Пустановойт В.И.* К вопросу об обнаружении гравитационных волн малых частот. *ЖЭТФ.* 1962; 43: 605–607. [*Gertsenshtein M.E., Pustovoit V.I.* On the detection of low frequency gravitational waves. *ЖЭТФ.* 1963; 16: 433–435.]
3. *Брагинский В.Б.* Классические и квантовые ограничения при обнаружении слабых воздействий на макроскопический осциллятор. *ЖЭТФ.* 1967; 53: 1434–1441. [*Braginskii V.B.* Classical and quantum restrictions on the detection of weak disturbances of a macroscopic oscillator. *ЖЭТФ.* 1968. 26: 831–834.]
4. *Lipunov V.M., Postnov K.A., Prokhorov M.E.* First LIGO events: binary black holes mergings. *New Astronomy.* 1997; 2(1): 43–52.
5. *Lipunov V.M., Postnov K.A., Prokhorov M.E.* Formation and coalescence of relativistic binary stars: the effect of kink velocity. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* 1997; 288(1): 245–259.
6. *Bethe H.A., Brown G.E.* Contribution of high-mass black holes to mergers of compact binaries. *Astrophys. J.* 1999; 517: 318–327.
7. *Lipunov V.M., Postnov K.A., Prokhorov M.E.* The sources of gravitational waves with continuous and discrete spectra. *Astronomy and Astrophysics.* 1987; 176: L1–L4.
8. *Hills D.L., Bender, P.L. Webbink R.F.* Gravitational radiation from the Galaxy. *Astrophys. J.* 1990; 360: 75–94.
9. *Tutukov A.V., Yungelson L.R.* Merging of binary white dwarfs neutron stars and black holes under the influence of gravitational wave radiation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* 1994; 268: 871–879.
10. *Lipunov V.M., Nazin S.N., Panchenko I.E. et al.* The gravitational wave sky. *Astronomy and Astrophysics.* 1995; 298: 677.
11. *Abbott B.P., Abbott R., Abbott T.D. et al.* A gravitational-wave standard siren measurement of the Hubble constant. *Nature.* 2017; 551(7678): 85–88.
12. *Lipunov V.M., Pruzhinskaya M.* Scenario Machine: fast radio bursts, short gamma-ray burst, dark energy and Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory silence. *MNRAS.* 2014; 440: 1193–1199.

2017 Nobel Prize Laureates in Physics: Rainer Weiss, Barry C.Barish, Kip S.Thorne

V.M.Lipunov
Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

As expected the Nobel Prize in Physics of 2017 has been awarded “for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves”. Three American scientists — Rainer Weiss, Barry C.Barish, Kip S.Thorne— have become the laureates but really thousands of specialists are taking part in the experiments. There is a valuable reason to mention the contribution of Russian physicists.

Keywords: Nobel Prize, gravitaional waves, optical source, multi-messenger astronomy.

По химии — Ж.Дюбоше, Й.Франк, Р.Хендерсон

Нобелевская премия по химии в 2017 г. присуждена за создание нового метода, возникшего на стыке органической химии, физики и молекулярной биологии, — криогенной электронной микроскопии (крио-ЭМ). Кристо-ЭМ позволяет восстанавливать трехмерную структуру биологических макромолекул — вирусов, белков и т.д. с атомным разрешением. Причем структуру белков возможно найти в определенной конформации, что очень важно для понимания динамических процессов, например при репликации РНК или определении воздействия антибиотиков. Проследить, как рождался этот мощный инструмент, необходимый в современной молекулярной биологии и медицине, позволяют научные биографии лауреатов.

Ключевые слова: Нобелевская премия, криоэлектронная микроскопия, структура биологических макромолекул, белков, вирусов.

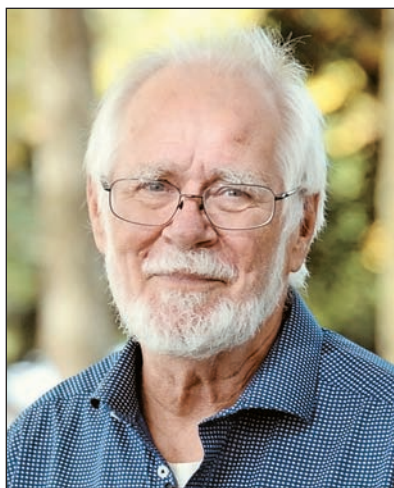
Этой осенью Нобелевский комитет присудил премию по химии в равных долях трем ученым, представителям США, Швейцарии и Великобритании — Йоахиму Франку, Жаку Дюбоше и Ричарду Хендерсону — за развитие криоэлектронной микроскопии. Криоэлектронная микроскопия (крио-ЭМ) — один из методов просвечивающей электронной микроскопии, в которой образец, представляющий собой белок, вирус или макромолекулу, фиксируют замораживанием в естественной среде без контрастирования, а в дальнейшем и изучают при криогенных температурах. Вообще, данное направление исследований отнести к химии можно лишь с большой натяжкой. Это скорее классический пример стыка наук — молекулярной биологии, физики и химии. Да и, собственно, сами лауреаты по образованию скорее физики, чем химики или биологи. И то, как они пришли к ряду мелких и крупных открытий и в конечном итоге, наверное, к самой высокой научной награде, дает надежный рецепт подобного успеха — последовательный ежедневный кропотливый труд с пониманием конечной цели вне зависимости от базового образования. Лауреаты — ученые приблизительно одного возраста, им

более 70 лет, причем все родились в Западной Европе во время Второй мировой войны. Их научные биографии чем-то похожи, чем-то различаются, но все трое всю жизнь были привержены одному направлению — использованию и развитию электронной микроскопии в исследовании биологических субстанций: белков, вирусов, макромолекул. Их публикации позволяют проследить развитие методов электронной микроскопии в изучении этих труднейших объектов.

Йоахим Франк (Joachim Frank) родился в Германии 12 сентября 1940 г. в районе Вейденау, в г.Зигеле (земля Северный Рейн — Вестфалия), на родине Питера Пауля Рубенса. Научный путь Франка достаточно подробно описал еще 10 лет назад Каспар Моссман в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* [1]. Любовь к химическим экспериментам, а позднее к технике проявилась у Йоахима с мальчишеского возраста. Сам ученый вспоминал: «в 12–13 лет я купил части для сборки маленького детекторного радиоприемника, а потом научился разбирать и собирать более сложные радиоустройства». В 1963 г. он получил степень бакалавра по специальности «физика» в одном из самых старых университетов



Йоахим Франк.



Жак Дюбоше.



Ричард Хендерсон.

Германии — Фрайбургском, основанном в 1457 г. Дипломная работа по исследованию электронной эмиссии золота вблизи температуры плавления была выполнена в Мюнхенском университете Людвига и Максимилиана. Работы в области электронной дифракции с использованием вакуумной техники, по-видимому, и помогли в выборе метода исследований — электронной микроскопии.

Первый шаг к Нобелевской премии был сделан сразу после получения магистерской степени в 1967 г.: Йоахим переключился на электронную микроскопию макромолекул, поступив в аспирантуру Технического университета Мюнхена. Экспериментальную работу он выполнял в Институте биохимии Общества Макса Планка. Она заключалась в анализе электронно-микроскопических изображений биологических макромолекул с использованием методов оптической дифракции и различных методов при цифровой обработке этих изображений. Отступая от последовательного изложения, необходимо заметить, что без обработки изображений с помощью суперкомпьютера сейчас не обходится ни одна работа по реконструкции структуры белков методами крио-ЭМ. Франк фактически положил начало методам компьютерной обработки. Наблюдая в оптическом дифрактометре двумерные спектры Фурье от изображений пленок аморфного углерода, Йоахим обнаружил, что дрейф изображения в электронном микроскопе приводит к появлению специфических особенностей — образованию на спектрах полос в определенных направлениях, а не обычных концентрических окружностей, называемых кольцами Тонга. Это открытие привело к важному решению задачи точного совмещения разных изображений макромолекулы в одинаковой проекции и позволило усреднить изображения и улучшить их пространственное разрешение. Франк вывел и опубликовал уравнения, лежащие в основе формирования полос на двумерных спектрах Фурье, для разных типов движения изображений [2]. Это была его первая публикация. Необходимо заметить, что Йоахим Франк единственный автор статьи, — научный руководитель, Вальтер Хоппе, отказался от соавторства, аргументируя, что работа полностью принадлежит Йоахиму. Основы метода усреднения изображений используются для расшифровки структуры макромолекул и сейчас.

В 1970 г. Франк защитил диссертацию под названием «Изучение электронно-микроскопических изображений с использованием разностных эффектов и методов реконструкции». После защиты Йоахим получил престижный Харкнессовский грант, субсидирующий двухлетнюю работу в любой лаборатории США, которая готова его принять. Первым местом работы стала Лаборатории реактивного движения в Пасадене (Калифорния) — научно-исследовательская лаборатория НАСА. На первый взгляд кажется, что научная на-

правленность этой лаборатории не имеет никакого отношения к электронной микроскопии. Однако было известно, что там занимаются обработкой изображений, полученных из космоса, и в этом направлении лаборатория занимала в мире лидирующие позиции. Видимо, методы и подходы к обработке изображений, используемые в НАСА, Йоахим применял и в дальнейшем. После Пасадены Франк переехал в Беркли, пригород Сан-Франциско, где в Университете Калифорнии работала группа Боба Глезера — одного из основоположников криогенной электронной микроскопии. За время сотрудничества с этим коллективом Йоахим опубликовал комплексный обзор, посвященный обработке электронно-микроскопических изображений [3]. Последние полгода работы в США Франк провел в Корнельском университете, в лаборатории электронной микроскопии.

По окончании гранта Йоахим Франк решил вернуться в Европу. В то время в электронных микроскопах использовались в основном термоионные источники с низкой когерентностью, а это снижало пространственное разрешение изображений за счет подавления передаточной функции контраста прибора. Описание данного эффекта, необходимого для понимания предела пространственного разрешения и контраста, Франк опубликовал в 1973 г. [4]. Несмотря на известность в области электронной микроскопии, он не сумел найти постоянную позицию в Германии, но был принят по двухлетнему контракту на должность научного сотрудника в группу электронной микроскопии Вернона Косслетта во всемирно известной Кавендишевской лаборатории в Кембридже. Там Франк продолжил работу в области молекулярной биологии. Совместно с Оуэном Сакстоном он провел оценку минимальной дозы электронов, необходимой для получения изображений, и вывел фундаментальное уравнение, которое связывает контраст изображения, дозу и пространственное разрешение [5].

Срок пребывания в Кембридже подходил к концу, когда Йоахим принял приглашение из Центра Уодсворта, правительственной лаборатории Департамента здравоохранения в г.Олбани (штат Нью-Йорк), где и начал работу в должности научного сотрудника. Вместе со своими учениками Франк продолжал развивать методы обработки изображений и выпустил программное обеспечение, которое впоследствии получило название SPIDER (System for Processing Image Data from Electron microscopy and Related fields — Система обработки данных изображения в электронной микроскопии и смежных областях). Со временем система усовершенствовалась, значительно выросло количество пользователей. В большей или меньшей степени данный пакет программ используется некоторыми научными группами до сих пор. В тот период объектами иссле-

дования были молекулы глутаминсинтетазы и гемоцианина, для восстановления трехмерной структуры которых потребовались новые методы классификации изображений. В разработке этих методов обработки принял участие аспирант из Голландского университета Гронингена Марин ван Хил, который впоследствии, в 1996 г., основал и возглавил структурный отдел молекулярной биологии в Имперском колледже Лондона, и французский ученый, работавший в Центре Уодсворта, Жан-Пьер Бретаурер. В результате их работ методы обработки изображений превратились в мощный инструмент восстановления трехмерной структуры макромолекул. Этим способом была определена структура рибосомы с разрешением в 20 Å. В работе использовалась методика подготовки образцов негативным контрастированием, которая не позволяет получать разрешение в несколько ангстремов, как в крио-ЭМ, поэтому для того времени это был настоящий прорыв, и работа совместно с Милославом Бубликом и Адрианой Версчур вышла в журнале Science [6]. Публикация в таком журнале мгновенно помогла получению грантов, в частности и от самой богатой организации США — Национального института здоровья, и это дало возможность увеличить группу и привлечь, как сейчас принято говорить, IT-специалистов, в том числе Майкла Радермахера, который усовершенствовал SPIDER для трехмерной реконструкции, в том числе отдельных субъединиц рибосом.

Метод негативного контрастирования был до конца 1980-х годов основным методом подготовки биологических образцов для исследований в просвечивающем электронном микроскопе. Он заключается в нанесении на молекулы белков, вирусы или другие биологические объекты растворов солей тяжелых металлов, например уранилацетата. Это позволяет сохранять объект исследования и получать контрастные изображения в условиях облучения электронами в вакууме, причем контраст от объекта перевернут — светлым выглядит белок, вирус и т.д., отсюда и название метода. Но при негативном контрастировании ухудшается пространственное разрешение и возможно взаимодействие соли с макромолекулой, изменяющее структуру. Франк решил применить крио-ЭМ — заморозить рибосомы. Это позволило сохранить структуру макромолекулы в естественном состоянии. В результате в 1991 г. была опубликована первая трехмерная реконструкция рибосомы по изображениям, полученным в крио-ЭМ с разрешением 45 Å [7]. Применение крио-ЭМ позволило начать исследования процессов трансляции мРНК, которые были продолжены в 1994 г. в лаборатории Кена Холмса Института медицинских исследований Общества Макса Планка в Гейдельберге (Германия), в котором Франк провел свой саббатикал. В этой лаборатории был установлен микроскоп

с энергетическим фильтром, что позволяет значительно улучшить контраст изображений, ограничивая разброс электронов по энергиям. Результатом работы стала реконструкция рибосомы с разрешением 25 Å [8] и вывод о том, как мРНК и тРНК взаимодействуют с рибосомой, а также ответ на вопрос, где возникает полипептидная цепь. Это был еще один серьезный прорыв в области молекулярной биологии. Крио-ЭМ позволило наблюдать процесс трансляции РНК практически на любом этапе.

С 2003 г. Йоахим Франк перешел в Колумбийский университет в Нью-Йорке и начал более плотно заниматься преподавательской деятельностью. В 2008 г. он получил звание профессора биохимии, молекулярной биофизики и биологических наук. Член Американской академии искусств и наук (2006) и Национальной академии наук США (2006), награжден медалью Бенджамина Франклина (2014).

Жак Дюбоше (Jacques Dubochet) — еще один лауреат Нобелевской премии по химии 2017 г. Его исследования позволили разработать метод витрификации (перехода в стеклообразное состояние) воды или жидкости, в которой какое-то время сохраняются без деградации макромолекулы или другие биологические объекты. Необходимый результат витрификации — жидкость должна замерзнуть в аморфном состоянии, без кристаллизации. Кристаллизация может, с одной стороны, нарушить структуру исследуемых макромолекул, а с другой — создать (при исследовании в просвечивающем электронном микроскопе) так называемый дифракционный контраст от рассеяния электронов на кристаллах по закону Брэгга, который не позволит получить изображения исследуемых макромолекул. Что привело ученого к открытию? Обратимся к его биографии.

Жак Дюбоше родился 8 июня 1942 г. в швейцарском городе Эгль. В 1967 г. он окончил Политехническое училище Лозаннского университета (сейчас это Федеральная политехническая школа в Лозанне) и получил степень в области физической инженерии. Через два года, в 1969 г., он поступил в Женевский университет, где получил сертификат в области молекулярной биологии. Как пишет лауреат в автобиографии, в том году он «начал электронно-микроскопические исследования ДНК и в дальнейшем это осталось основной его тематикой». В 1973 г. Жак Дюбоше защитил диссертацию на соискание степени доктора философии в области биофизики под руководством Эдуарда Келлебергера одновременно в Женевском университете и Университете Базеля. Тогда же Жак начал работать со спиральными структурами — вирусами табачной мозаики и ДНК, применяя разнообразные методики, в том числе используя темнопольные изображения.

При подготовке образцов для исследований Дюбоше столкнулся с проблемой осаждения виру-

сов и макромолекул на углеродные пленки, которые сформированы на металлических электронно-микроскопических сетках. Если поверхность углеродной пленки гидрофобна, макромолекулы и вирусы на них нанести невозможно. Выход нашлся в обработке сеток с углеродными пленками тлеющим разрядом в вакууме — это приводило к созданию гидрофильных поверхностей пленки. Так же, как и Йоахим Франк, в своих исследованиях Жак Дюбоше применял упомянутый выше метод негативного контрастирования. Понимая все минусы этого метода, Дюбоше пробовал замораживать образцы.

В 1978 г., после периода работы в Биоцентре Базельского университета, он перешел в известный микробиологический европейский центр — Европейскую лабораторию молекулярной биологии (European Molecular Biology Laboratory, EMBL) в Гейдельберге. Там он возглавил группу электронной микроскопии и, по его утверждению, «начал разработку методики внесения воды в электронный микроскоп» с помощью ее быстрой заморозки, приводящей к стеклованию, а не кристаллизации. Капли воды расплылись из пульверизатора, причем размер капель подбирался из расчета сохранения минимальных их диаметров, а их плотность — соответствующей размерам ячейки электронно-микроскопической сетки с тонкой углеродной пленкой на поверхности. Затем сетка мгновенно заморожена в жидком пропане или этане, охлажденном до температуры около -190°C . Жидкие углеводороды, как оказалось, не образуют вокруг образца газовую шубу, препятствующую хорошей теплопередаче, в то время как жидкий азот мгновенно вскипает, а вода кристаллизуется. Исследования в электронном микроскопе проводили с помощью держателя, также охлаждаемого жидким азотом.

Результаты работы были опубликованы совместно с Аласдейром Макдаулом в *Journal of Microscopy* в виде короткого сообщения на двух страницах, включая список литературы и два изображения — замерзшей в аморфном состоянии капли воды на сетке и электронограммы, показывающей аморфное гало [9]. Кто бы мог предположить, что эта короткая статья, фактически о методе приготовления образцов для просвечивающей электронной микроскопии, вышедшая далеко не в самом престижном журнале, — прямая дорога к Нобелевской премии по химии?! В течение последующих нескольких лет Дюбоше опубликовал результаты ряда исследований бактерий и вирусов в замороженном состоянии, включая статью 1984 г. в журнале *Nature* «Криоэлектронная микроскопия вирусов» [10]. Всю оставшуюся часть своей научной деятельности Жак продолжал совершенствовать методы структурной визуализации биологических материалов с помощью криоэлектронной микроскопии. Он разработал метод,

известный как крио-ЭМ витрифицированных срезов, который возможно использовать при исследовании клеток и тканей в электронном микроскопе, и продолжал исследования структуры ДНК и хроматина. Дюбоше оставался в EMBL до 1987 г., а в последующие 20 лет переключился на преподавание в Лозаннском университете, где стал профессором биофизики. Он ушел в отставку в 2007 г. Будучи членом Социалистической партии Швейцарии, Дюбоше представляет ее в местном совете города Морж.

Самый молодой из лауреатов, Ричард Хендерсон (Richard Henderson), родился 19 июля 1945 г. в Эдинбурге (Шотландия), после выпуска из средней школы поступил на физический факультет Эдинбургского университета и окончил бакалавриат в 1966 г. Сразу после этого он перешел в известнейшую и уже упомянутую выше Лабораторию молекулярной биологии (Laboratory of Molecular Biology, LMB) в Кембридже, где под руководством Дэвида Била выполнил исследования структуры фермента химотрипсина. Степень доктора философии Ричард получил в LMB в 1969 г. После защиты диссертации Хендерсон работал как постдок в Йельском университете, известном не только своими гуманитарными факультетами (Йель закончили Джордж Буш, Хиллари Клинтон, Оливер Стоун, Пол Ньюмен и многие другие), но и исследованиями в области молекулярной биологии. В Йеле Ричард изучал субъединичные мембранные белки, обеспечивающие прохождение ионов натрия через клеточную мембрану, — так называемые потенциалзависимые натриевые каналы. Как это принято в США, после окончания контракта постдока в 1973 г. Хендерсон покинул Йель. Он получил постоянное место научного сотрудника в своей второй альма-матер — LMB в Кембридже.

В 1975 г. Хендерсон совместно с Найджелом Анвином в журнале *Nature* опубликовал исследование пространственной структуры белка бактериородопсина [11]. Несмотря на сравнительно низкое разрешение, полученное в то время, стало понятно, что белок состоит из семи трансмембранных доменов, образованных альфа-спиралями. В этих исследованиях для сохранения образцов на электронно-микроскопических сетках в вакууме было предложено использовать раствор глюкозы. Такой подход позволил получить изображения и электронограммы от массивов клеточных мембран, содержащих тысячи белков. Кроме этого, исследуемый образец наклоняли в разных направлениях и вычисляли спектры Фурье, что в конечном итоге и позволило определить трехмерную структуру белка. После 1975 г. Хендерсон продолжал работать над структурой бактериородопсина, но уже без Анвина. В 1990 г. в *Journal of Molecular Biology* Хендерсон опубликовал уже полноатомную модель бактериородопсина, восстановленную методом электрон-



Рис.1. Просвечивающий микроскоп Titan Krios (FEI, США).

ной кристаллографии [12]. Фактически это была первая полноатомная модель, восстановленная с помощью криогенной микроскопии. Полученные результаты дали представление о механизмах функционирования бактериального родопсина и родственных белков. Методы электронной кристаллографии восстановления структуры белков, разработанные Хендерсоном, используются до сих пор.

Ричард Хендерсон оставался в LMB на протяжении всей своей карьеры, с 1986 г. занимая должность заместителя начальника отдела структурных исследований, и в конечном счете в 1996 г. стал ее директором, сменив Аарона Клуга. В этой должности он пробыл до 2006 г. — до максимального возрастного предела.

Кроме определения структуры белков Хендерсон совместно с Крисом Тейтом разработал конформационную термостабилизацию — метод, стабилизирующий белок, при сохранении выбранной конформации. Он имеет решающее значение для кристаллизации и установления структуры белков-рецепторов, которые определяют молекулы, находящиеся снаружи клетки, и формируют ее ответные реакции. В последние несколько лет Хендерсон вернулся к практическим исследованиям, сосредоточившись на так называемом методе анализа одиночных частиц с применением криогенной электронной микроскопии (фактически его же разрабатывал и Йохим Франк). Здесь Хендерсон тоже внес существенный вклад, включая непосредственное участие в разработке прямых детекторов электронов — сверхчувствительных камер, которые необходимы для регистрации изображений в электронном микроскопе, полученных в условиях сверхмалых доз облучения. Развитие метода позволило Хендерсону восстановить полноатомные структуры белков без их кристаллизации, т.е. без традиционного использования рентгеноструктурного анализа.

До Нобелевской премии Ричард Хендерсон получил множество других наград: он был избран членом Королевского общества (1983), иностранным членом Национальной академии наук США (1998) и членом Академии медицинских наук в Лондоне (1998), был награжден премией Розенштейля за выдающуюся работу в области фундаментальных медицинских исследований (1991), медалью Королевского общества (2016). Продолжая активно работать и выступать с лекциями, Ричард сформулировал свои интересы, лежащие вне научной сферы деятельности, следующим образом: «Я люблю гулять по шот-

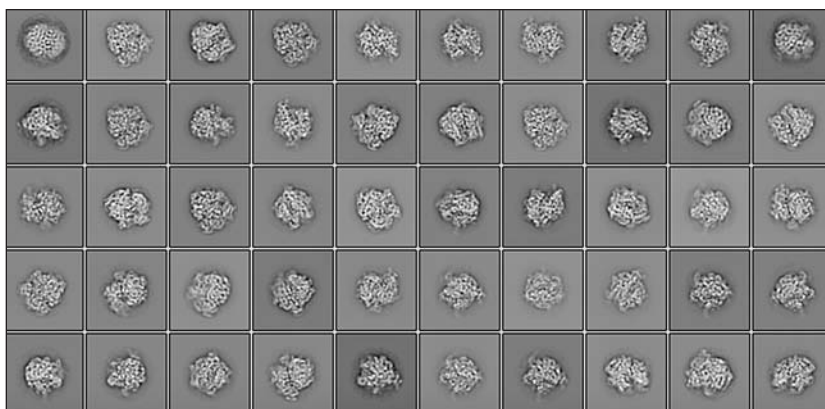


Рис.2. Результат двухмерной классификации — одного из этапов обработки данных, в результате которого изображения проекций оказываются разделены на группы по «схожести». Показаны усредненные изображения классов, которые соответствуют разнообразным проекциям исходного объекта.

ландским холмам, плавать на байдарке и пить хорошее вино».

Можно коротко подытожить работы лауреатов описанием их вклада в метод, который в настоящее время позволяет расшифровывать структуру биологических макромолекул с околоатомным разрешением. Ричард Хендерсон впервые расшифровал с атомным разрешением структуру белка по данным, полученным в просвечивающем электронном микроскопе. Йоахим Франк разработал метод обработки изображений, благодаря которому по набору из тысяч изображений можно получать данные высокого разрешения в разных проекциях, необходимые для восстановления трехмерной структуры объекта. И наконец, Жак Дюбоше предложил способ сохранения среды вокруг биологического образца, позволяя биологическим молекулам сохранять свою естественную форму даже в вакууме.

Атомная структура белков в течение длительного времени определялась методом рентгеноструктурного анализа, и ряд Нобелевских премий был присужден именно за эти работы. Большой вклад в трехмерную реконструкцию белков внес академик Б.К.Вайнштейн, директор Института кристаллографии АН СССР, а впоследствии РАН. Разрешение метода, развитого Борисом Константиновичем, достигает 1 Å. Однако, чтобы получить возможность анализировать структуру белка данным методом, необходимо этот белок закристаллизовать, причем от совершенства кристалла существенно зависит и пространственное разрешение. А ведь многие белки вообще не кристаллизуются, какие-то в процессе кристаллизации изменяют структуру. Ядерный магнитный резонанс также позволяет изучать белковые структуры, их конформационные изменения и взаимодействие небольших молекул. Но этот метод в значительной степени ограничен именно относительно большими белками или их частями, причем по большей части водорастворимыми внутриклеточными белками.

Крио-ЭМ не требует кристаллизации белка, позволяет исследовать различные конформации и различные этапы взаимодействия макромолекул. С помощью крио-ЭМ возможно исследовать мембранные белки, рецепторы или комплексы нескольких биомолекул. Сравнительно недавно этим методом достаточно быстро была установлена структура вируса Зика. В электронно-микроскопической базе данных (Electron microscopy data base, EMDb) на сегодняшний день представлено более 600 белковых структур, расшифрованных с разрешением ниже 4 Å. Рекордное пространственное разрешение, полученное на сегодняшний день (1.8 Å), достигнуто при исследовании глутаматдегидрогеназы [13]. При этом техника, методики и программное обеспечение продолжают быстро развиваться. Для нанесения макромолекул разрабатываются различные методи-

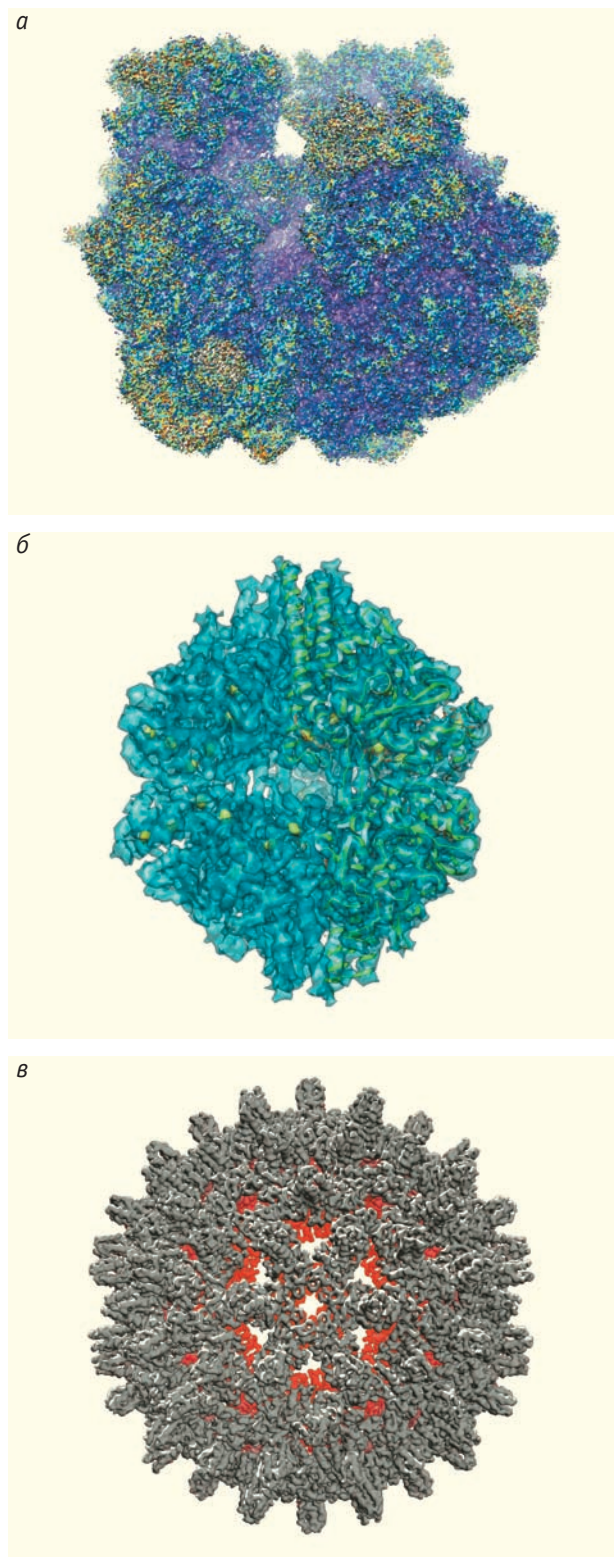


Рис.3. Модели биологических макромолекул, построенные по результатам обработки изображений: рибосомного комплекса с антибиотиком (а, получена Е.Б.Пичкуром); белка нитроредуктазы TvNiR 9 (б, получена Т.Н.Баймухамедовым); коровой частицы гепатита НВс (в, получена Ю.М.Чесноковым и Е.Б.Пичкуром).

ки, повышающие гидрофильность углеродной подложки, на которую наносятся биомакромолекулы. Так, например, предлагается формировать самоорганизующиеся анизотропные органические пленки толщиной в монослой [14].

Один из наиболее часто используемых для работ в области крио-ЭМ просвечивающих электронных микроскопов — Titan Krios (рис.1) производства лидера в области инновационного электронно-микроскопического приборостроения, компании FEI (США), в настоящее время приобретенной фирмой Thermo Fisher Scientific. Такие приборы оснащены криогенной системой автоматической загрузки образцов, системой автоматического получения изображений, сверхвысокочувствительной камерой регистрации изображений прямого детектирования электронов. Для получения изображений используются так называемые фазовые пластинки и энергетические фильтры — системы, повышающие контраст и позволяющие исследовать небольшие белки. Установленные камеры регистрации изображений дают возможность строго контролировать дозу облучения объекта в микроскопе. Фактически подсчитывается каждый электрон, проходящий через образец, и это очень важно, ведь, несмотря на заморозку, высокоэнергичные электроны могут разрушить исследуемые молекулы. Такие приборы сейчас используются в передовых научных лабораториях во всем мире. Один из них сравнительно недавно установлен в НИЦ «Курчатовский институт». В процессе исследований в таком приборе получают

сотни тысяч изображений однотипных белков или вирусов в разных проекциях (рис.2), из которых впоследствии после обработки восстанавливают трехмерную структуру (рис.3, 4). Для обработки изображений используются суперкомпьютеры, но, тем не менее, процесс обработки пока еще занимает длительное время. Существенно сократить его позволяют кластеры, оснащенные графическими ускорителями. Используя прибор класса Titan Krios и суперкомпьютер с такими кластерами, удается расшифровать структуру белка за сутки. Конечно, это время не учитывает периода биохимической подготовки — выделения белков или макромолекул, выбора концентрации раствора с биомолекулами и многих других операций.

В заключение хочется процитировать реакцию Джона Лорша, директора Национального института общих медицинских наук в Бетесде (штат Мэриленд), на выбор Нобелевского комитета по химии 2017 г.: «Прелесть этой премии заключается в том, что она не только заставляет оглянуться назад на прошедшие события, но и смотрит в будущее. Недавние достижения в крио-ЭМ, сделанные тремя победителями, позволяют нам необычайно быстро продвигаться в различных направлениях, начиная глубоким осознанием клеточных процессов и заканчивая разработкой новых вакцин».

© кандидат физико-математических наук **А.Л.Васильев**,
заведующий лабораторией электронной микроскопии
НИЦ «Курчатовский институт»
(Москва, Россия)

Литература / References

1. *Mossman K.* Profile of Joachim Frank. Proc. Natl. Acad. Sci. 2007; 104: 19668–19670.
2. *Frank J.* Detection of object movement in the optical diffractograms of electron micrographs. Optik. 1969; 30: 171–180.
3. *Frank J.* Computer processing of electron micrographs. Advanced Techniques in Biological Electron Microscopy. Ed. J.K.Koehler. Berlin, 1973; 215–274.
4. *Frank J.* The envelope of electron microscopic transfer functions for partially coherent illumination. Optik. 1973; 38: 519–539.
5. *Saxton W.O., Frank J.* Motif detection in quantum noise-limited electron micrographs by cross-correlation. Ultramicroscopy. 1976; 2: 219–227.
6. *Frank J., Verschoor A., Boublik M.* Computer averaging of electron micrographs of 40S ribosomal subunits. Science. 1981; 214 (4527): 1353–1355.
7. *Frank J., Penczek P., Grassucci R., Srivastava S.* Three-dimensional reconstruction of the 70S escherichia coli ribosome in ice: the distribution of ribosomal RNA. J.Cell Biol. 1991; 115: 597–605.
8. *Frank J., Zhu J., Penczek P. et al.* A model of protein synthesis based on cryo-electron microscopy of the E. coli ribosome. Nature. 1995; 376: 441–444.
9. *Dubochet J., McDowell A.W.* Vitrification of pure water for electron microscopy. J. Microsc. 1981; 124: 3–4.
10. *Adrian M., Dubochet J., Lepault J., McDowell A.W.* Cryo-electron microscopy of viruses. Nature. 1984; 308: 32–36.
11. *Henderson R., Unwin P.N.T.* Three-dimensional model of purple membrane obtained by electron microscopy. Nature. 1975; 257: 28–32.
12. *Henderson R., Baldwin J.M., Ceska T.A. et al.* Model for the structure of bacteriorhodopsin based on high-resolution electron cryo-microscopy. J. Mol. Biol. 1990; 213: 899–929.
13. *Merk A., Bartesaghi A., Banerjee S. et al.* Breaking Cryo-EM resolution barriers to facilitate drug discovery. Cell. 2016; 165: 1698–1707.
14. *Meyerson J.R., Rao P., Kumar J. et al.* Self-assembled monolayers improve protein distribution on holey carbon cryo-EM supports. Sci. Rep. 2014; 4: 1–5.

2017 Nobel Prize Laureates in Chemistry: Jacques Dubochet, Joachim Frank, Richard Henderson

A.L.Vasiliev

National Research Center "Kurchatov Institute" (Moscow, Russia)

The 2017 Nobel Prize in Chemistry has been awarded for the establishment of a new experimental method, emerged at the interface of organic chemistry, physics, and molecular biology — Cryogenic transmission electron microscopy (Cryo-EM). Cryo-EM makes it possible to refine the structure of biomolecules like proteins or viruses with atomic resolution. Moreover, this method makes it possible to fix the structure of proteins in certain conformation. That plays key role at revealing the dynamic processes in RNA multiplication or antibiotics action. To trace how this powerful method, which is exceedingly important in modern molecular biology and medicine, had been born and developed, the scientific biographies of Nobel Prize winners are presented.

Keywords: Nobel Prize, cryogenic transmission electron microscopy, structure of biomacromolecules, proteins, viruses.

По физиологии или медицине — Дж.Холл, М.Росбаш, М.Янг

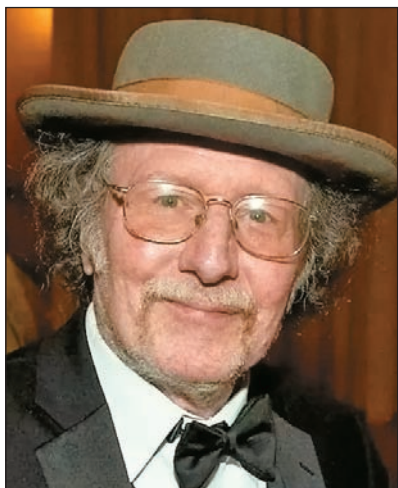
Нобелевская премия 2017 г. по физиологии или медицине присуждена американским ученым Джеффри Холлу, Майклу Росбашу и Майклу Янгу «за открытие молекулярного механизма, контролирующего циркадианные ритмы». Однако это открытие тесно связано с еще тремя учеными — Колином Питтендрихом, Юргеном Ашоффом и Францем Халбергом, которые были номинированы на Нобелевскую премию еще в прошлом тысячелетии, но так и не получили ее.

Ключевые слова: Нобелевская премия, хронобиология, циркадианные ритмы, дрозофила, *PER*.

Нобелевская премия 2017 г. по физиологии или медицине присуждена в равных долях американским ученым Дж.Холлу, М.Росбашу и М.Янгу «за открытие молекулярного механизма, контролирующего циркадианные ритмы».

Джеффри Холл (Jeffrey Connor Hall) родился в 1945 г. в Бруклине (Нью-Йорк, США). В 1963 г. по-

ступил в Амхерстский колледж (штат Массачусетс), затем перевелся в Вашингтонский университет (штат Сиэтл), где в 1971 г. получил степень доктора философии в области генетики. В 1971–1973 гг. работал в Калифорнийском технологическом институте (г.Пасадена), в 1974 г. — в Брандейском университете (г.Уолтем, штат Массачусетс), с 2002 г. —



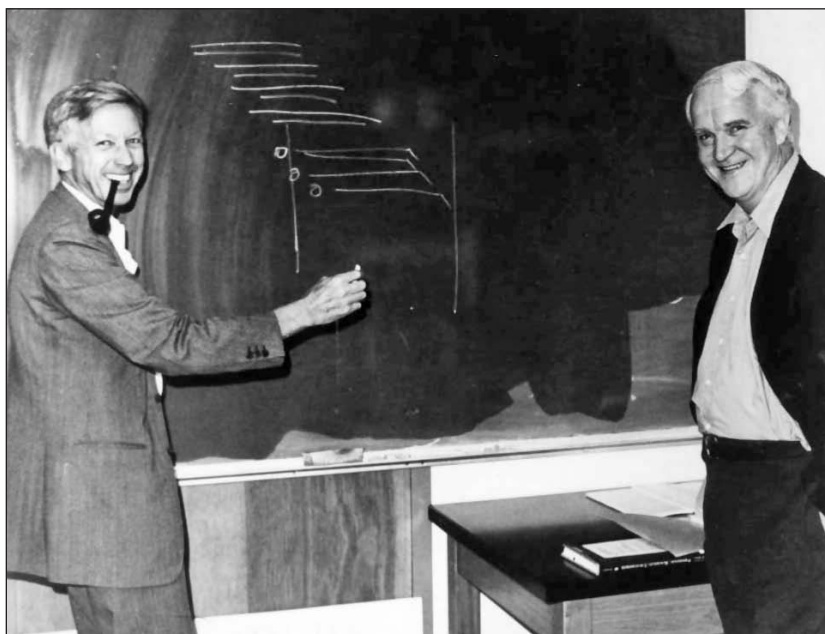
Джеффри Холл.



Майкл Росбаш.



Майкл Янг.



Колин Питтендрих (справа) и его немецкий коллега Юрген Ашофф.
Doi:10.1177/074873040001500301.

профессор Университета штата Мэн (г.Ороно). В 2003 г. избран членом Национальной академии наук США, в том же году награжден медалью Американского общества генетиков. Вместе с М.Росбашем и М.Янгом в 2009 г. стал лауреатом премии фонда Питера и Патриции Грубер по неврологии, в 2011 г. — премии Луизы Гросс Хорвиц за выдающийся вклад в фундаментальные исследования по биологии и биохимии, в 2012 г. — международной премии фонда Гайрндера за выдающиеся достижения в области медицинских наук, в 2013 г. — международной премии фонда Шао Ифу за раскрытие молекулярных механизмов, лежащих в основе циркадианных ритмов.

Майкл Росбаш (Michael Morris Rosbash) родился в 1944 г. в Канзас-Сити (штат Миссури, США). В 1965 г. окончил химический факультет Калифорнийского технологического института, в 1970 г. — отделение биофизики Массачусетского технологического института, с 1974 г. (после постдокторантуры по генетике в Эдинбургском университете) работает в Брандейском университете, с 2003 г. — член Национальной академии наук США.

Майкл Янг (Michael W. Young) родился в 1949 г. в Майами (штат Флорида, США). В 1971 г. окончил Техасский университет в Остине, где в 1975 г. получил степень доктора философии по генетике; после двухлетней постдокторантуры в Медицинской школе Стэнфордского университета был принят в Рокфеллеровский университет, где и работает в настоящее время.

Прежде чем рассказать о вкладе нобелевских лауреатов 2017 г. в изучение молекулярных механизмов, контролирующих циркадианные ритмы, крат-

ко обрисую предысторию этого открытия*. В начале 1960-х годов несколько ученых (которые были очень широко известны в очень узком научном кругу, как принято о них шутливо говорить) осознали, что изучение биологических ритмов достигло статуса самостоятельного направления медицинских и биологических исследований. С того времени это научное новобразование называют хронобиологией, или изучением биологических ритмов.

В июне 1960 г. один из трех ученых, которых историки хронобиологии причислили к ее «римским папам», К.Питтендрих (C.Pittendrigh, 1918–1996), организовал международный симпозиум на базе научно-исследовательской лаборатории под Нью-Йорком. На нем присутствовало примерно 150 ученых (около 30 — из-за рубежа). Всех

их объединяло то, что они изучали биологические ритмы разных организмов. Уже тогда их разнообразие было велико: от малоизвестных и редких до, наоборот, широко распространенных видов одно- и многоклеточных растений и животных, включая, конечно же, человека. Немного позднее к этому списку добавились еще и некоторые виды бактерий. Не менее разнообразными были и уровни организации изучаемых биологических осцилляторов (колебаний) — от молекулярного до популяционного. Датой отсчета самостоятельной истории хронобиологии стал следующий год, когда были изданы материалы этого симпозиума под названием «Биологические часы» [1]. В 1964 г. эта книга вышла на русском языке под редакцией С.Э.Шноля [2], и наши соотечественники довольно быстро оказались в курсе основных работ ведущих зарубежных хронобиологов. Во всяком случае, мое (в те годы я был еще школьником) знакомство с наукой, которую на русском языке нередко именуют биоритмологией, началось именно с этой довольно увесистой книги (она действительно оказалась «потяжелее Фауста Гете»).

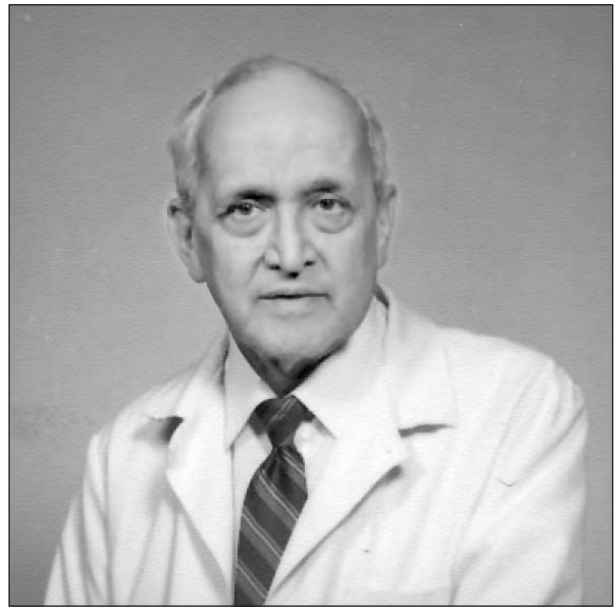
«Римские папы» хронобиологии — Питтендрих и его немецкий коллега Ю.Ашофф (Jü.Aschoff, 1913–1998) вместе с позднее примкнувшим американцем Ф.Халбергом (F.Halberg, 1919–2013) —

* Подробнее о научных открытиях в области изучения циркадианных ритмов см: *Путилов А.А.* Очерк истории и современного состояния экспериментальных исследований биоритмов: от наблюдений за движением листьев до экспериментов по принуждению к десинхронизации. Сборник научно-популярных статей и фотоматериалов, РФФИ. 2016; 187–219 (www.rfbr.ru).

были номинированы на Нобелевскую премию еще в прошлом тысячелетии, но так и не получили ее. Однажды мы затронули эту тему во время беседы с Ашоффом (он многие годы был членом Нобелевского комитета). Мне казалось странным, что премию, которую уже присуждали родоначальникам такой «зоологической» (не физиологической или медицинской) науки, как этология, теперь не решаются дать основоположникам другого направления, изучающего биологические ритмы (предложенный Халбергом термин «хронобиология» Ашофф считал неудачным). В ответ он рассказал мне о том, какой непростой была та история многократного выдвижения на премию первых этологов — австрийца К.Лоренца (K.Z.Lorenz, 1903–1989) и голландца Н.Тинбергена (N.Tinbergen, 1907–1988). Премию «за открытия, связанные с выявлением форм индивидуального и группового поведения животных» все-таки дали, но только в 1973 г., когда инициаторы выдвижений, включая Ашоффа, уже практически перестали надеяться на успех. Открытия же эти состоялись намного раньше, еще до начала Второй мировой войны, и ко времени награждения Лоренц успел пройти через советский лагерь для немецких военнопленных, а Тинберген — побывать в роли заложника в нацистском концентрационном лагере.

Награда прошла мимо хронобиологии совсем близко, когда было сделано открытие, приведшее к исследованиям, за которые присудили премию в прошлом году. За несколько первых десятилетий своей истории хронобиология разрослась в обширное научное направление [3, 4] и уже начала делиться на ряд более или менее мощных ветвей. Однако развитие ее молекулярно-генетического ответвления явно пробуксовывало. Наиболее авторитетные хронобиологи того времени мало интересовались генетическими основами биологических часов. Они, в частности, полагали: раз это очень древний и надежный механизм, то строение и функции часов должны контролироваться не несколькими генами, а великим их множеством. Вызывала сомнения сама возможность того, что поломка одного из «часовых» генов (скажем, единичная вредная мутация, полностью «выключающая» его) может привести к поломке или заметному нарушению работы всего многократно дублируемого механизма. Иными словами, ожидалось, что вредные, нейтральные или полезные мутации отдельных «часовых» генов должны передаваться по законам наследования количественных признаков. Каждая мутация должна очень слабо влиять на величину такого признака. Его наследование не может подчиняться простым менделевским законам наследования, которым, например, следует множество генетических заболеваний.

Скептицизм преобладал не только среди хронобиологов, но и среди специалистов, изучающих наследование врожденных основ поведения. Эта область, существующая на стыке генетики, этоло-



Франц Халберг. Doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.115.06338.

гии, психологии и психиатрии, возникла в США примерно одновременно с хронобиологией. И генетика поведения оказалась причастной к хронобиологии, поскольку в нее не может не входить изучение врожденных основ поведения, контролируемого биологическими часами. Скептическую точку зрения защищал такой ведущий специалист в этой области, как Дж.Хирш (J.Edwin Hirsch, 1922–2008). Он, кстати, еще и выступал примерно в то же самое время в качестве самого громкого критика взглядов А.Дженсена (A.R.Jensen, 1923–2012) на определяющую роль наследственности в развитии способностей к обучению. С.Бензер (S.Benzer, 1921–2007) утверждал вопреки Хиршу, что поведение — не такой уж сверхсложный феномен, чтобы его нельзя было свести до уровня отдельного гена. Правота Бензера была блестящим образом продемонстрирована в экспериментах, проведенных его студентом Р.Конопкой (R.J.Конопка, 1947–2015). Результаты Бензер и Конопка опубликовали в 1971 г. [5].

В лаборатории Бензера эксперименты велись на любимом объекте генетиков — плодовой мушке, или дрозофиле (*Drosophila*). Конопка скормил мутаген огромному количеству мушек, а потом с помощью простых технических приспособлений, сконструированных Бензером, записывал периодичность вылупления потомства из отложенных мушками яиц. Было хорошо известно, что благодаря наличию в их организме биологических часов мушки в условиях длительного сохранения постоянного (непериодического) освещения появляются «на (постоянный) свет» или «на (постоянную) темноту» периодически. Период вылупления при этом довольно стабилен и остается все время близким к (но не равным

точно) 24 часам. Для обозначения такого собственного (эндогенного) биологического ритма, свойственного большинству земных существ, Халберг придумал в 1959 г. термин «циркадианный» (от англ. circadian — околосуточный) [6]. Среди многочисленных потомков мушек нашлись единичные мутанты с тремя разными аномалиями циркадианного ритма. Одни появлялись из яиц аритмично, другие плодились с укороченной (20-часовой) периодичностью, а третьи — с удлинённым (28-часовым) периодом. Более того, оказалось, что все эти мутации локализованы в одном-единственном ранее неопisanном гене. Он получил название *PER* (от англ. period — период). Это исследование оказалось первым в череде работ, доказавших правоту тех, кто допускал возможность обнаружения факта влияния единичного гена на поведенческий признак. Так часто случалось в истории науки, что две противоположные точки зрения в принципе вовсе не противоречат одна другой.

Сейчас хорошо известно, что некоторые мутации действительно «ведут себя» как «менделистские» — вызывают значительный сдвиг значения количественного поведенческого признака, в том числе могут существенно изменить параметр поведенческого ритма. Однако у таких мутаций есть другая особенность — в нормальных условиях они случаются крайне редко, поэтому универсально объясняется факт эволюции количественного признака только ими не получится. В то же время другие мутации имеют крайне незначительный по величине эффект, но при этом их совокупное влияние на признак оказывается тоже немалым, так как они составляют подавляющее большинство. Достаточно чуть-чуть увеличить частоту большинства мутантных вариантов, чтобы получить еще больший эволюционный сдвиг, чем от одной «менделистской» мутации.

Дожили хоть один из двух авторов этой статьи [5] до 2017 г., мы увидели бы его во главе награжденного списка. Очевидно, что полученный ими результат послужил тем долгожданным импульсом, который пусть не сразу, но в конечном итоге привел молекулярно-генетические исследования циркадианных ритмов к их современному процветанию. Это состояние можно охарактеризовать как стремительное расширение с одновременным проникновением во все прочие ответвления хронобиологии. Теперь разве что ленивый (руководитель хронобиологической лаборатории) не попытается хоть чуть-чуть поучаствовать в изучении «часовых» генов тем или иным образом.

Из трех лауреатов премии только Холлу довелось некоторое время работать под непосредственным руководством Бензера. Сразу после защиты диссертации в 1971 г. молодой ученый был принят в лабораторию в качестве постдока. Организация работы в этой лаборатории ему понравилась: поощрялось проведение самостоя-

тельных исследований, причем не только постдоками или аспирантами, но даже студентами. Хотя работа Холла в этой лаборатории на пару с Д.Канкелем (D.Kankel) была успешной, он не задержался у Бензера надолго и покинул его лабораторию, не дождавшись окончания трехлетнего срока постдокторантуры и публикации научных результатов.

Из лаборатории Бензера Холл вынес устойчивый интерес к изучению молекулярно-генетических основ двух форм циклического поведения дрозофилы — ее циркадианного ритма и ритмической песни, которую самец исполняет при ухаживании. Впрочем, этот интерес не помешал ему самозабвенно предаваться другим увлечениям, от ежедневных стокилометровых вояжей на любимом «харлее» до глубокого погружения в историю гражданской войны в США. Последнее, в частности, вылилось в чтение студентам курса лекций про битву при Геттисберге (она стала переломной точкой этой войны) и проведение экскурсии по полям сражений для двух с половиной сотен коллег (молекулярных биологов), которые, ведомые им, бродили целый день по этим полям, вооруженные наборами подробных карт местности.

Что касается Росбаша, то в момент, когда зародилась их дружба с Холлом, он занимался совсем другими научными проблемами в том же самом частном исследовательском Университете Брандейса. Как сказал Холл в интервью, данном уже после получения новости о премии, их сотрудничество с Майком произошло из-за общего интереса к спорту, рок-н-ролу и т.д. Примерно то же самое перечислял и Росбаш за несколько лет до этого в одном из своих научных выступлений. По его словам, сдружились они с Джефом потому, что их сближало очень многое — алкоголь, табак, баскетбол... Обычно, принимая душ после игры, они рассказывали друг другу о ходе своих научных исследований. Во время одного из таких разговоров и было принято решение объединить усилия для дальнейшего изучения молекулярно-генетических основ ритмического поведения. К тому времени прогресс молекулярной генетики уже достиг такого уровня, когда появилась возможность изолировать отдельные гены. Обсуждение этой идеи состоялось опять-таки после игры. Вскоре им посчастливилось воплотить свою идею в жизнь. В 1984 г. коллектив авторов, включавший Росбаша, Холла и Конопку, опубликовал статью с результатами секвенирования (определения последовательности нуклеотидов) гена *PER* и выявления характера связи отдельных участков этого гена с аритмичным поведением дрозофилы [7]. Поэтому-то свое выступление Росбаш закончил последним выводом, гласившим, что вообще-то человек, по сути своей, всегда оказывается жертвой случайных обстоятельств (счастливой жертвой в его конкретном случае), ведь даже собственные гены человека —

это результат абсолютно случайной комбинации генов двух его родителей.

Поскольку в те годы большинство хронобиологов отрицало перспективность молекулярно-генетического подхода к изучению биоритмов, Холл стал со временем забывать об их обидных критических замечаниях и посчитал это обстоятельство сомнительного рода благом. Ведь такое отношение коллег сводило число возможных научных конкурентов до минимума. И действительно, когда коллектив, руководимый нашими друзьями, опубликовал результаты судьбоносного исследования гена *PER* [7], то оказалось, что конкуренцию им составила всего одна группа, возглавляемая Янгом и проводившая эксперименты на дрозофиле в одном из самых престижных американских научных центров — Университете Рокфеллера в Нью-Йорке. В том же 1984 г. Янг с соавторами опубликовал в журнале *Nature* статью с практически идентичными результатами исследования по оценке влияния конкретных участков гена *PER* на наличие ритмичности в поведении дрозофилы [8]. Так, можно сказать, что надежность результата, полученного одной из независимых исследовательских групп, сразу же была подтверждена данными, добытыми другой группой. Думаю, что такое совпадение времени появления этих двух публикаций и определило решение членов Нобелевского комитета отдать призовое третье место Янгу, после того как два первых они поделили между Холлом и Росбашем.

Нужно еще сказать о том, что в 1990 г. вышла статья, без упоминания которой не обойдется ни одно изложение истории исследований, приведших к присуждению этой премии [9]. Ее авторы — П.Хардин (P.Hardin), работавший тогда под руководством Росбаша, сам Росбаш и Холл — обнаружили, что белок PER, который производится на основе информации, считываемой РНК с ДНК гена *PER*, способен и отключить собственное производство. В результате возникает ритм с периодом, близким к 24 часам, в основе которого лежит универсальный принцип обратной связи. Эксперименты позволили предположить, что в начальной фазе ритма экспрессия гена (транскрипционно-трансляционный процесс переноса генетической информации от ДНК через РНК к белку) ведет к постепенному накоплению белка. Транскрипция (синтез РНК с использованием ДНК в качестве матрицы) происходит в ядре клетки, где сосредоточена вся ее ядерная ДНК. Синтезированная РНК покидает клеточное ядро, и начинается процесс трансляции (синтеза белка из аминокислот на матрице РНК), который осуществляется рибосомами, находящимися за пределами клеточного ядра, в протоплазме клетки. Часть накапливаемого белка разрушается уже в протоплазме, но какая-то его часть попадает обратно в ядро. Белок PER начинает воздействовать на собственный ген *PER* таким образом, что это приводит к оста-

новке считывания информации, необходимой для его синтеза. Поскольку белок, «севший» на свой ген, постепенно разрушается, то весь белок исчезает из ядра через некоторое время, что позволяет начать повтор всего циркадианного цикла заново. Модель, объясняющая данный механизм, получила название транскрипционно-трансляционной модели отрицательной обратной связи.

Чтобы изложить эту модель Хардина—Холла—Росбаша на возвышенном языке математики, ученым не пришлось заново писать уравнения. Многие хронобиологи и математики уже попытались объяснить математические принципы работы молекулярных часов задолго до их экспериментального обнаружения. Так, в 1965 г. канадский математик и биолог Б.Гудвин (B.C.Goodwin, 1931–2009) предложил модель гипотетического биохимического осциллятора, который работает по принципу отрицательной обратной связи с запаздыванием [10]. Модель Гудвина с тех пор стала применяться в работах, использовавших модели из математической теории колебаний для изучения колебательных свойств и объяснения механизмов генерации биологических ритмов. В хронобиологических публикациях эта модель получила название гудвинского осциллятора. В ней всего лишь три переменные — минимальное число, требуемое для возникновения колебаний в петле отрицательной обратной связи с запаздыванием. Применительно к транскрипционно-трансляционной модели отрицательной обратной связи Хардина—Холла—Росбаша эти переменные обычно интерпретируются как концентрации трех молекул: РНК, соответствующего ей белка и ингибитора транскрипции (синтеза РНК на матрице ДНК).

В начале 90-х годов предложенный клеточный часовой механизм, действующий по типу обратной связи в процессе транскрипции-трансляции, казался многим ученым всего лишь одной из ряда гипотетических моделей. Скажем, Бензер и Конопка, а вслед за ними и некоторые другие исследователи еще в 80-х годах опубликовали иные модели для объяснения возникновения колебаний на клеточном уровне в процессе экспрессии гена *PER*. Однако все они не прошли проверку временем.

Как и следовало ожидать, новые публикации результатов экспериментальных молекулярно-генетических работ, следовавшие за статьями групп Янга и Холла с Росбашем, позволили ученым убедиться в крайней сложности строения генетической основы клеточных часов, связанной с многократным дублированием некоторых важнейших элементов. На протяжении четверти столетия число публикаций лавинообразно нарастало, и в числе прочего было открыто нескольких десятков ранее неизвестных «часовых» генов. Кроме того, постепенно сложились многие другие детали строения часов, чья функция — генерировать циркадианный ритм и навязывать этот

ритм доброй половине всех остальных генов, «работающих» в данной клетке. Важно подчеркнуть, что за весь этот период добытые учеными факты только подтверждали правоту транскрипционно-трансляционной модели или по крайней мере не противоречили ей. При этом, конечно, некоторые из таких фактов позволили дополнить ее или уточнить отдельные ее детали.

У меня лично было две причины испытать особый восторг от новости о присуждении этой премии. В первую очередь — потому, что биологические ритмы это, пожалуй, единственная научная тематика, которая практически неизменно привлекала меня начиная со школьной скамьи. Так случилось, конечно же, в силу того, что я оказался жертвой обстоятельств, о которой говорил Росбаш, но еще и потому, что таковы свойства этого биологического направления. Оно имеет отношение ко всему, что колеблется, а перечислить все, что колеблется, было бы, наверно, очень трудно. Я бы даже и не советовал пытаться это сделать, поскольку заранее знаю, что было бы еще намного труднее найти то, что не колеблется.

Второй же повод прийти в восторг был в том, что эта премия пусть слегка, но подправила перекос в сторону результатов, направленных на решение проблем практической медицины, который виден невооруженным глазом при знакомстве с достижениями тех, на кого выпадает выбор Нобелевского комитета. В данном случае премия ушла к ученым, которые достигли успеха в стремлении познать фундаментальные законы живой природы в экспериментах на одном из довольно отдаленных от человека модельных организмов.

Сказанное отнюдь не означает, что эти исследования «страшно далеки от» медицинской практики. Напротив, слушая одно из выступлений Росбаша, я лично впервые ясно осознал, насколько все мы фундаментально похожи на объекты его исследований. Он привел наглядные доказательства сходства механизмов, регулирующих такие очень разные по нейронной организации периодические процессы, как ритм активности—покоя дрозофилы и цикл сна—бодрствования человека. Эксперименты на дрозофиле, в частности, показали, что кофе бодрит этих насекомых примерно так же, как нас, и что они становятся такими же «квельми», если им не позволить в положенный их природой срок переключиться с фазы активности на фазу отдыха. Как заметил Росбаш, сейчас в США нужно потратить несколько тысяч долларов для получения объективной (полисомнографической) записи одной ночи сна одного человека. Такие записи еженощно делаются в целях диагностики тысяч американцев по всей стране, но почти все эти люди принадлежат к числу пациентов с расстройствами сна той или иной степени тяжести. Поэтому, если кто-нибудь захочет изучить эффект какого-либо фактора (скажем, того же бодрящего напитка) на механизмы, регулирую-

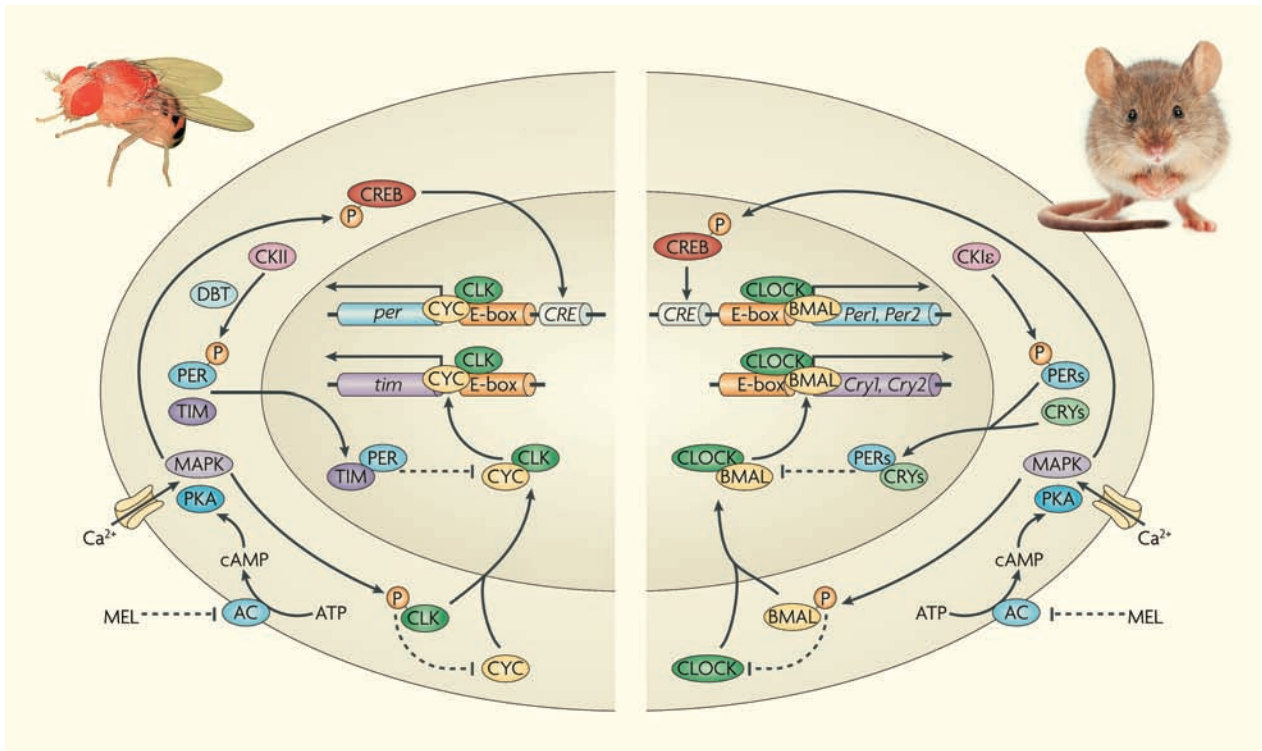
ющие сон в организме как больных, так и здоровых людей, ему потребуется выиграть и потом за несколько лет полностью потратить на это исследование многомиллионный грант. А стоимость сбора данных о фундаментально сходном эффекте на ритм активности—покоя дрозофилы составит несколько долларов, не говоря уж о том, что на исследование ритма этих мушек уйдет гораздо меньше времени.

Поддержка Нобелевским комитетом данной работы, выполненной на мушках, пришла в не самые лучшее для фундаментальной науки времена. Конечно, условия, в которых развиваются научные исследования в США, если их сравнить с тем, что происходит в России, могут показаться райскими (по крайней мере не такими идиотскими и фатальными), но и в Штатах накопилось немало проблем, представляющих опасность для будущего фундаментальных наук. Наглядным примером может служить ситуация, которая сложилась у Холла. Несколько лет назад он вынужденно «завязал» с научной работой и удалился на пенсию из-за того, что ему так и не посчастливилось добиться стабильной финансовой поддержки научных работ. И это несмотря на сравнительную дешевизну исследований на дрозофиле и неоспоримую научную репутацию научного коллектива, возглавляемого Холлом и Росбашем! Вскоре после выхода на пенсию Холл публично заявил, что ушел из-за того, что потерпел фиаско в неравной борьбе с установившейся в последние годы порочной системой финансовой поддержки фундаментальной науки. И уже совсем недавно, в беседе с корреспондентами по поводу присужденной ему награды, Холл отметил, что биологические исследования погрузились в пучину «институциональной коррупции, по крайней мере в хваленых Соединенных Штатах Америки». А по поводу того, что можно ожидать в ближайшем будущем, он добавил, что ситуация только ухудшится в условиях, когда «антинаучное по своей сути правительство проводит политику растрачивания ресурсов страны на международный авантюризм». Напоследок Холл сказал, что высказывается в таком ключе в ответ на благую весть о присуждении премии, потому что переживает за «дальнейшую судьбу тех биологов, которые только начали свой путь в науке или находятся где-то в середине своей карьеры». Хочется надеяться, что критика из уст нобелевского лауреата заставит задуматься бюрократов от науки, и существующая система поддержки фундаментальных исследований начнет меняться.

Учитывая научно-популярный стиль «Природы», располагающий к общению, обмену опытом и знаниями ученых разных специальностей, я постарался, насколько возможно, не «грузить» читателя подробным изложением научной стороны достижений, связанных с Нобелевской премией 2017 г. Только самую последнюю часть этого текста я оста-

вил для одной довольно сложной для быстрого понимания картинке. Мне кажется, она все же может понравиться даже тем, кто не захочет вникать во все ее детали. Картинка эта иллюстрирует консерватизм генетических основ механизма биологических часов, желание открыть секреты которых когда-то — в далекие 60-е годы XX в. — объединило ученых из разных областей биологии в единое хронобиологическое направление. С одной стороны, работа этих часов в любом организме основывает-

ся на универсальном принципе обратных связей с запаздыванием. С другой стороны, вряд ли следует надеяться на то, что гены бактерии, или гриба, или растения, ответственные за эти часы, окажутся такими же, как наши с вами. Сейчас уже известно, что большинство их генов действительно отличаются от наших. Тем не менее довольно существенное сходство возникло достаточно давно — у нашего общего с насекомыми предка. После миллионов лет отдельной эволюции оно все еще не исчезло.



Упрощенная схема клеточных циркадианных часов плодовой мушки (слева) и домовой мыши [11]. Стрелки показывают перемещение молекул внутри ядра (центральная область) или протоплазмы (периферия), а также их перемещения из ядра и в ядро. Принцип обратной связи с запаздыванием можно иллюстрировать следующей последовательностью событий (речь пойдет лишь об одной из нескольких таких петель отрицательных или положительных обратных связей). В ядре слева находятся часовые гены *PER* и *TIM*, справа — две пары так называемых гомологичных генов, *PER1-PER2* и *CRY1-CRY2*. Когда-то у нашего общего с мушками предка был один ген, но у предков мушек он так один и остался, а у наших предков удвоился и даже — в случае с *PER* — в какой-то момент утроился (*PER1-PER2-PER3*). Произошло это в процессе, именуемом «дубликацией гена» (в случае с *PER* — дважды), а дальнейшая эволюция привела к появлению различий в строении этих генов-близнецов, и, следовательно, появилось некоторое различие в их функциональной роли. Кроме того, роль мушиного гена *TIM* у нас играет другой ген (*CRY*), причем *TIM* у нас остался, но стал выполнять в наших молекулярных часах иную функцию (на схеме он опущен). На каждом гене есть область, именуемая E-box. Процесс транскрипции—трансляции не начнется, пока на нее не «сядет» (т.е. вступит во взаимодействие с ней) специфический белок, продуцируемый другими «часовыми» генами. В данном случае транскрипцию—трансляцию запускают так называемые димеры — объединения двух «часовых» белков *CYC* и *CLK* у мушек, *CLOCK* и *BMAL* — у млекопитающих. Исходные составляющие димеров производят соответствующие им «часовые» гены — *CYC* и *CLK* у мушек и *CLOCK* и *BMAL* у млекопитающих (эти гены, естественно, тоже находятся в ядре, но на этой схеме они не показаны). Белки, наработанные в процессе транскрипции—трансляции, пройдут в протоплазме несколько шагов структурных изменений, взаимодействуя с другими цитоплазматическими субстанциями, включая белки, которые производятся другими «часовыми» генами. Затем какая-то их часть проникнет из протоплазмы в ядро. Речь идет в случае мушки о *PER* и *TIM*, а в случае млекопитающего — о *PERs* и *CRYs* («s» означает, что это различные варианты белков, производимые некогда дублированными генами *PER* и *CRY*). «Пришельцы» из протоплазмы «попросят» засевшие на их генах димеры *CYC/CLK* у мушек и *CLOCK/BMAL* у млекопитающих. Тем самым эти белки остановят свой собственный синтез. К тому времени, когда процесс транскрипции—трансляции сможет начаться заново, пройдут примерно одни сутки.

Оказалось, что «часовые» гены и кодируемые ими белки у мух и млекопитающих идентичны процентов на 70. Впрочем, это справедливо и для практически всех других наиболее важных белков и генов. Достоинно удивления то, что даже в тех случаях, когда со временем и в силу эволюционной необходимости возникали существенные отличия в строении некоторых из генов, это не вело к возникновению столь же существенных отличий в той роли,

которую эти гены и их продукты должны исполнять в качестве своего рода «шестеренок», постоянно вращающихся с циркадианным периодом внутри единого часового устройства.

© доктор биологических наук **А.А.Путилов**
руководитель группы математического
моделирования биомедицинских систем
НИИ молекулярной биологии и биофизики
(Новосибирск, Россия)

Литература / References

1. Biological Clocks. Pittendrigh C.S. (ed.). Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology. Biological Laboratory, Long Island Biological Ass. N.Y., 1961.
2. Биологические часы. Пер. с англ., ред. С.Э.Шноль. М., 1964. [Biological Clocks. Shnol' S.E. (ed.). Moscow, 1964. (In Russ.)]
3. Biological Rhythms. Aschoff Jü. (ed.). Handbook of Behavioral Neurobiology. N.Y., 1981; 4.
4. Биологические ритмы. Ред. Ю.Ашофф. М., 1984. [Biological Rhythms. Aschoff Jü. (ed.). Moscow, 1984. (In Russ.)]
5. Konopka R.J., Benzer S. Clock Mutants of *Drosophila melanogaster*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 1971; 68(9): 2112–2116. Doi:10.1073/pnas.68.9.2112.
6. Halberg F., Stephens A.N. Susceptibility to ouabain and physiologic circadian periodicity. Proceedings of the Minnesota Academy of Sciences. 1959; 27: 139–143.
7. Zebring W.A., Wheeler D.A., Reddy P., Konopka R.J., Kyriacou C.P., Rosbash M., Hall J.C. P-element transformation with period locus DNA restores rhythmicity to mutant, arrhythmic *Drosophila melanogaster*. Cell. 1984; 39: 369–376.
8. Bargiello T.A., Jackson F.R., Young M.W. Restoration of circadian behavioural rhythms by gene transfer in *Drosophila*. Nature. 1984; 312: 752–754.
9. Hardin P.E., Hall J.C., Rosbash M. Feedback of the *Drosophila* period gene product on circadian cycling of its messenger RNA levels. Nature. 1990; 343(6258): 536–540.
10. Goodwin B. Oscillatory behavior in enzymatic control processes. Advances in Enzyme Regulation, 1965; 3: 425–428.
11. Gerstner J.R., Yin J.C.P. Circadian rhythms and memory formation. Nature reviews. Neuroscience. 2010; 11: 577–588. Doi:10.1038/nrn2881.

2017 Nobel Prize Laureates in Physiology or Medicine: Jeffrey Hall, Michael Rosbash and Michael Young

A.A.Putilov
Institute of Molecular Biology and Biophysics (Novosibirsk, Russia)

The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine was awarded to Jeffrey Hall, Michael Rosbash, and Michael Young “for their discoveries of molecular mechanisms controlling the circadian rhythm”. However, this discovery is closely related to the three scientists — Colin Pittendrigh, Jürgen Aschoff, and Franz Halberg— who were nominated for the Nobel Prize in the last millennium, but never received it.

Keywords: Nobel Prize, chronobiology, circadian rhythm, *Drosophila*, *PER*.

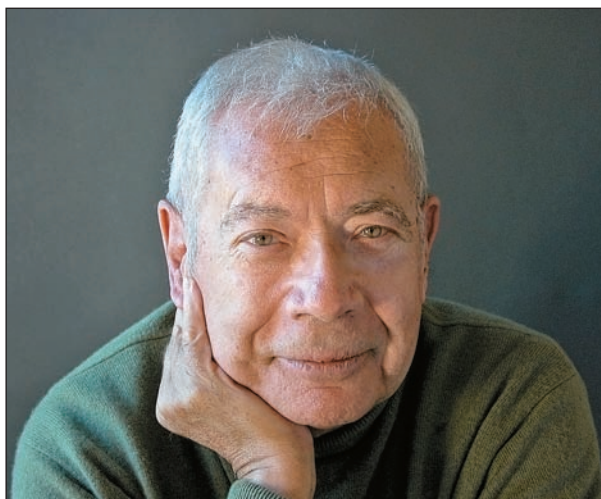
Памяти Мишеля Жуве

Механизмы, открытые новоиспеченными нобелевскими лауреатами, о чем рассказывается в статье А.Путилова, косвенно (не жестко) связаны с механизмами регуляции цикла бодрствование—сон млекопитающих. Человек, в отличие от мухи, не находится в полном подчинении своим биологическим ритмам, он, напротив, может перестраивать, например, биоритм своего сна в соответствии с физиологическими и социальными потребностями. Регуляция собственнo сна непосредственно определяется двумя разными механизмами, которые столь же отличаются друг от друга, сколь и от бодрствования — это механизмы медленного и быстрого (парадоксального, REM) сна. Открытие последнего — крупнейшее достижение физиологии второй половины XX в., ничуть не меньшее, чем открытие «часовых» генов, а его автор — Мишель Жуве — скончался в тот же день, когда была присуждена Нобелевская премия Дж.Холлу, М.Росбашу и М.Янгу — 2 октября 2017 г., не дожив полтора месяцев до своего 92-летия.

Профессор Мишель Марсель Жуве (фр. Michel Valentin Marcel Juvet) — крупнейший нейрофизиолог и сомнолог, которому современная наука о сне (сомнология, гипнология, или онейрология) обязана большей частью своих поразительных открытий. Профессор Жуве — гордость Франции, один из крупнейших ее ученых, член Национальной академии наук, лауреат многих национальных и международных научных премий, неоднократно выдвигался и на Нобелевскую премию, которую так и не получил. Впрочем, стоит напомнить, что такие величайшие ученые 20-го столетия в области физиологии и медицины, как Зигмунд Фрейд («комплексы»), Уолтер Кеннон («гомеостаз»), Ганс Селье («стресс»), также не стали лауреатами Нобелевской премии.

Жуве родился в 1925 г. в Юрском департаменте, недалеко от Лиона. Его отец был врачом, но интеллект и уровень знаний этого человека намного превышал «среднемедицинский». Вся семья была на редкость талантлива; так, старший брат Жуве был в свое время самым блестящим из молодых физиков-теоретиков во Франции...

Во время оккупации юный Мишель ушел в маки, партизанил в горах Юрского массива. Как он пишет в мемуарах, воевать приходилось в основном с власовцами, брошенными под командованием офицеров СС на подавление лионского движения Сопротивления. «Они были чрезвычайно



Мишель Жуве (1925–2017).

www.la-croix.com

жестокими и убили тысячи гражданских лиц и многих моих друзей-партизан», — вспоминает Жуве. Из контекста не ясно, кто именно проявлял «чрезвычайную жестокость» — сами власовцы, командовавшие ими офицеры СС или и те и другие. Интересно, однако, сопоставить эти факты с недавними попытками «реабилитации» власовцев, с утверждениями, что они якобы воевали не за Гитлера, а «против сталинского режима».

После освобождения Юрского региона в августе 1944 г. Жуве поступил добровольцем в альпийские стрелки, патрулировал на лыжах границу с Италией во время небывало холодной зимы 1944–1945 г. В январе 1945 г. его бригада была срочно переброшена на Рейн для защиты Страсбурга от наступающих немецких танков. Там он получил осколочное ранение в область спины, страдания от которого только нарастали с годами, отравляя его существование... После капитуляции Германии сержант Жуве служил пару месяцев при штабе французских оккупационных войск в Вене, причем в течение недели был прикомандирован к Главному штабу маршала Конева.

Демобилизовавшись в октябре 1945 г., Жуве поступил в Медицинский институт в Лионе (под давлением отца, так как вовсе не интересовался ни медициной, ни биологией, а хотел стать путешественником — мореплавателем или ученым-этнографом), окончил его в 1951 г. и поступил в ординатуру по нейрохирургии. В то время, пишет Жуве,

о работе мозга было известно не больше, чем если бы «голова была набита ватой». Крупнейшим достижением считалась теория Павлова, согласно которой коре приписывалась главенствующая роль во всем — от обучения до сна, возникающего под влиянием «внутреннего торможения». В 1951 г. Жюве был свидетелем посещения Лионских университетов двумя крупнейшими павловцами — мрачным, увешанным орденами К.М.Быковым и веселым, улыбающимся Э.А.Асратяном.

Однако, прочитав статью Г.Мэгуна и Дж.Моруцци [1], Жюве понял, что открытая ими ретикулярная формация может контролировать многие функции, выступая в качестве «конкурента» коре больших полушарий. Продолжая учиться в ординатуре, он стал все больше и больше увлекаться нейрофизиологией и ставить опыты на кошках. Как ветерану войны, ему удалось получить стипендию Фулбрайта и грант французского правительства на поездку в Калифорнию (США), в лабораторию Мэгуна. В течение года (1954–1955) он проходил стажировку в этой лаборатории и, как пишет Жюве, это был один из самых счастливых и плодотворных годов в его жизни.

По возвращении в Лион Жюве завершил обучение в ординатуре по двум специальностям — нейрохирургии и неврологии, а в 1962 г., раздобыв немного денег на исследования, организовал небольшую нейрофизиологическую лабораторию.

В 1959 г. Жюве с двумя своими сотрудниками опубликовал небольшую статью на французском языке, в которой описал мышечную атонию, сопровождающую периоды сна с уплощенной ЭЭГ и быстрыми движениями глаз у кошек. Таким образом, был выявлен последний из трех параметров, необходимых для разделения бодрствования и раз-

личных фаз и стадий сна, которые и сейчас считаются обязательными при регистрации сна (полисомнографии): электроэнцефалограмма (ЭЭГ), электроокулограмма (ЭОГ) и электромиография (ЭМГ). Жюве был не самым первым, хотя и одним из первых, кто в конце 50-х годов XX в. наблюдал и регистрировал электрофизиологические проявления быстрого (парадоксального, ромбэнцефалического, REM) сна у кошки. Однако именно он полностью понял, *какое* открытие было сделано, и создал новую парадигму (как говорят философы). Согласно Жюве, парадоксальный сон (этот термин также принадлежит ему) — не классический сон и не бодрствование, а особое, третье, состояние организма, характеризующееся парадоксальным сочетанием активности мозга и расслабления мышц, как бы «активное бодрствование, направленное внутрь»*.

В 1960-е годы Жюве внес неоценимый вклад в физиологию сна. Он превратил свою лабораторию и кафедру экспериментальной медицины (которую вскоре возглавил) Университета Лион-1 имени Клода Бернара в самый крупный в Европе и один из крупнейших в мире институтов по экспериментальному и клиническому изучению сна. Им и его коллегами была изучена и досконально описана вся феноменология сна, его анатомическая основа, нейрофизиологические, биохимические, онто- и филогенетические аспекты и прочее. Нашим ученым Мишель Жюве известен главный образцом как автор методики «стресса по Жюве» (как назвал ее известный патофизиолог Ф.З.Меерсон), в ходе которой подопытное животное (мышь, крысу или кошку) помещают на небольшой островок, окруженный водой. Во время быстрого сна происходит полное мышечное расслабление, и животное сваливается в воду. Пребывание на островке в течение нескольких суток вызывает почти полное подавление быстрого сна, а также значительное снижение медленного сна и сильный стресс у животного**.

В числе экспериментальных открытий Жюве были и совершенно фантастические, достойные Гуго Ласэва, — например, кошка, демонстрирующая свои сновидения***. Гуго Ласэв — придуманный Жюве гениальный



С женой Анной и любимой собакой. 1992 г.

Фото автора

* Подробнее см.: Завалко И.М., Ковальзон В.М. Как возникла наука о сне // Природа. 2014. №3. С.53–60.

** Подробнее см.: Ковальзон В.М. Стресс, сон и нейропептиды // Природа. 1999. №5. С.63–70.

*** Подробнее см.: Моррисон Э.Р. Окно в спящий мозг // В мире науки. 1983. №6. С.62–71.

французский ученый XVIII в., медик по образованию, философ и натуралист, испытывавший особый интерес к загадке сна и сновидений*. Анализируя полторы тысячи своих снов, которые он записывал тотчас после пробуждения на протяжении шести лет, Ласэв обнаружил, что определенные картины и сюжеты время от времени повторяются, подчиняясь строгой математической закономерности. Располагая лишь примитивными механическими и оптическими приборами своего времени, он сделал открытия, которые составляют гордость нейрофизиологии второй половины XX в. Он догадался о существовании в головном мозге центра сна и о наличии в организме особых веществ, регулирующих сон, он сформулировал гипотезу о функции сновидений и т.д. Неутомимый путешественник, Ласэв бесследно исчез в одной из экспедиций Лаперуза к далеким островам Рюкю в западной части Тихого океана. К счастью, спустя 200 лет дневники Ласэва якобы были случайно обнаружены в сундуке, купленном на распродаже антикварных изделий, и легли в основу романа М.Жуве «Замок снов», опубликованного и в России [2].

Второй роман Жуве — «Похититель снов» [3] — вышел в Париже в конце 2004 г., в том же издательстве Одиль Жакоб, где ранее были опубликованы его роман «Замок снов» и сборник научных эссе «Сон и сновидение». «Похититель снов» написан в жанре детектива, действие которого происходит в наши дни, но фабула лихо закручена на том же сюжете — проблеме сна и сновидений, которой были посвящены предыдущие книги автора. Герой романа — сам Жуве, инвалид войны, получивший тяжелое ранение в боях с гитлеровцами, приезжает лечиться на грязевой курорт в Северной Италии, где попадает в круговорот захватывающих событий, становясь жертвой собственных открытий... Процесс «деперсонализации» героя книги описан автором с необычайным мастерством**. Сам автор в беседах и письмах к переводчикам неоднократно предупреждал, чтобы читатель не расценивал все, что говорит герой книги, как отход от естественнонаучной позиции самого автора. «Да, герой этой книги — я сам, но

* Подробнее см.: Ковальзон В.М. Необычайные приключения в мире сна и сновидений // Природа. 2000. №1. С.12–20.

** Подробнее см.: Ротенберг В.С. О Мишеле Жуве и его романе «Похититель снов» // Природа. 2011. №4. С.89–91.

Литература / References

1. Moruzzi G., Magoun H.W. Brain stem reticular formation and activation of the EEG. EEG Clin. Neurophysiol. 1949; 1: 455–473.
2. Jouvét M. Le château des songes. Paris, 1992 (Жуве М. Замок снов. Пер. В.М.Ковальзон. Фрязино, 2006).
3. Jouvét M. Le voleur de songes. Paris, 2004 (Жуве М. Похититель снов. Пер. В.М.Ковальзон и В.В.Незговорова. М., 2008).
4. Jouvét M. De la science et les rêves. Mémoires d'un onirologue. Paris, 2013.
5. Jouvét M. Le sommeil, la conscience et l'éveil. Paris, 2016.



На конференции в Лионе, посвященной 50-летию открытия парадоксального сна (2009), с В.М.Ковальзоном.

Фото И.В.Пудикова

«я» — находящийся в состоянии измененного сознания», — подчеркивает Жуве.

Мишель Жуве — личность почти легендарная, его собственная жизнь также была весьма интересна и насыщена событиями, о чем он рассказал в книге своих воспоминаний «О науке и о сновидениях — мемуары онейролога» [4]. Последняя книга Жуве — нейрофилософское эссе «Сон, сознание и бодрствование» [5].

В целом, несмотря на огромный вклад Жуве, его коллег и других сомнологов второй половины прошлого века в расшифровку механизмов быстрого сна и, соответственно, сновидений, вопросы «зачем» и «для чего» и поныне остаются без ответа. Этот ответ, несомненно, рано или поздно будет дан нейрофизиологами и сомнологами XXI в. Что лежит в основе мировоззрения Жуве — это вера в безграничную мощь познающего разума, способного в конечном счете познать и самое себя...

© доктор биологических наук **В.М.Ковальзон**,
главный научный сотрудник
Институт проблем экологии и эволюции
имени А.Н.Северцова РАН,
председатель правления Национального
сомнологического общества
(Москва, Россия)

Новости науки

Планетология

Уникальные небесные тела

В Солнечной системе обнаружено уже более 750 тыс. астероидов, комет и малых планет. Их орбиты постоянно уточняются с помощью телескопов-роботов. Каждое из этих небесных тел по-своему уникально. Но среди них встречаются объекты с необычными свойствами — их редкие качества несут важную информацию об истории нашей Солнечной системы и даже окружающей Галактики.

В октябре прошлого года впервые был найден астероид, рожденный за пределами Солнечной системы. Он получил название Оумуамуа, что на гавайском языке означает «посланник». Достаточно полная информация об открытии этого внесолнечного астероида и его необычной форме уже опубликована в Википедии, поэтому не будем ее повторять.

Обратимся к другому небесному телу, малой планете Хаумея. В февральском номере прошлого года сотрудник Государственного астрономического института имени П.К.Штернберга МГУ имени М.В.Ломоносова доктор физико-математических наук Б.П.Кондратьев рассказал об этом уникальном небесном теле*. Оно вращается настолько быстро, что его фигура равновесия оказалась эллипсоидом Якоби — такие тела вращаются вокруг самой короткой своей оси. По гипотезе Кондратьева два спутника Хаумеи образовались из льда, отколовшегося от центрального тела в результате разгрузки напряжений для выравнивания фигуры равновесия.

21 января 2017 г. Хаумея в своем движении закрыла одну из звезд Галактики. Наблюдения этого явления (окультации) провели в 12 европейских обсерваториях, что позволило уточнить размеры и плотность вещества Хаумеи. Более того, удалось обнаружить плотное кольцо из мелких частиц, облетающих вокруг нее в экваториальной плоскости**. Очень вероятно, что это кольцо состоит из фрагментов льда, отколовшихся от малой планеты одновременно с образованием спутников. Интересно, что существует также семейство астероидов,

называемых семейством Хаумеи. О семейственности астероидов стоит рассказать подробнее.

Представьте себе, что произошло столкновение двух сравнимых по массе астероидов при достаточно большой скорости сближения. В результате большее тело начнет быстро вращаться (что, по видимому, и произошло с Хаумеей), а осколки станут самостоятельными астероидами. Их орбиты, первоначально выходящие из одной точки Солнечной системы, с течением времени эволюционируют за счет смещения перигелия, но большие полуоси орбит и наклонение к плоскости эклиптики остаются близкими друг другу очень долгое время. Такие астероиды и образуют семейство. По согласию орбитальных параметров, а также по близости отражательной способности (вещество образовавшихся астероидов общее) и удастся установить общность происхождения группы астероидов. Первые пять семейств выделил японский астроном К.Хирояма ровно 100 лет назад. Сегодня их признают около сотни, но не исключено, что на самом деле их гораздо больше. По некоторым оценкам, вплоть до четверти наблюдаемых астероидов могли образоваться в результате мощных столкновений, прошедших за миллиарды лет существования Солнечной системы.

Понятно, что чем раньше произошло столкновение, тем труднее установить родственность его осколков. Но недавно был предложен новый метод***, который дал возможность обнаружить очень древнее семейство. Идея авторов состоит в следующем. Как установлено, известные крупные астероиды, а также лунные кратеры, образовавшиеся в результате падения астероидов в прошлом, имеют степенное распределение по размерам $N(>D) = N_0 D^b$, где $b = 1.22-1.37$.

Другое обстоятельство, позволившее выделить это древнее семейство, — эффект Ярковского: небесные тела медленно удаляются от Солнца, если направление их вращения совпадает с орбитальным движением и приближаются в случае несоответствия направлений. Поэтому за большие времена «правильно» вращающиеся астероиды перейдут на орбиты, более удаленные от Солнца, а «неправильные» приблизятся к светилу. Чем меньше размер астероида, тем воздействие эффекта Ярковского сильнее.

* Кондратьев Б.П. Уникальное трио: карликовая планета Хаумея и ее спутники. Природа. 2017; 2: 3–10. [Kontrat'yev B.P. Unique trio: dwarf planet Haumea and its satellites. Priroda. 2017; 2: 3–10. (In Russ.)]

** Ortiz J.L., Santos-Sanz P., Sicardy B. et al. The size, shapedensity and ring of the dwarf planet Haumea from a stellar occultation. Nature. 2017; 550: 219–224.

*** Delbo M., Walsh K., Bolin B., Avdellidou C., Morbidelli A. Identification of a primordial asteroid family constrains the original planetesimal population. Science. 2017; 357: 1026–1029.

Таблица

Астероиды «Первобытного» семейства

№	Астероид	<i>a</i>	<i>e</i>	<i>i</i> , °	<i>M</i>
51	Nemausa	2.365	0.068	0.066	7.35
84	Klio	2.361	0.237	9.33	9.32
163	Erigone	2.368	0.190	4.81	9.48
282	Clorinde	2.339	0.080	9.03	10.91
284	Amalia	2.359	0.221	8.06	10.05
442	Eichsfeldia	2.345	0.070	6.07	9.94
554	Peraga	2.374	0.154	2.93	9.1
783	Nora	2.342	0.230	9.34	11.1
853	Nansenia	2.312	0.105	9.22	11.67
917	Lyka	2.382	0.200	5.13	11.6
1705	Tapio	2.865	0.246	7.71	13.3
2259	Sofievka	2.294	0.187	4.69	21.1
2503	Liaoning	2.192	0.210	7.10	14.3
2575	Bulgaria	2.240	0.123	4.67	13.3
2778	Tangshan	2.56	0.121	4.61	13.0
3684	Berry	2.29	0.152	6.82	13.4
4422	Jarre	2.24	0.180	4.81	12.6
4750	Mukai	2.18	0.090	4.90	13.8
5081	Sanguin	2.32	0.11	13.2	12.5

После столкновения астероиды медленно удаляются от самого крупного члена семейства. Поэтому по графику размеров астероидов в зависимости от полуосей их орбит можно оценить возраст семейства. Он оказался примерно равным 4 млрд лет. По этой причине вновь обнаруженная группа была названа авторами «первобытным» (primordial) семейством астероидов. Все они довольно темные, их альbedo мало. Для некоторых из них приведем следующие параметры: латинские названия, большие полуоси орбит *a* в астрономических единицах, эксцентриситеты *e*, углы наклона к эклиптике *i* и абсолютные звездные величины *M*. Дальнейшие исследования этих астероидов могут дать неоценимые сведения о ранних стадиях эволюции Солнечной системы.

© доктор физико-математических наук **А.В.Бялко**
Институт теоретической физики
имени Л.Д.Ландау РАН

Экология

Искусственный свет мешает опылителям

Опыление, связанное с живыми организмами, это один из ключевых моментов в успешном функционировании экосистем. Около 88% всех покрытосеменных в той или иной степени зависит от этого процесса. Кроме того, опыление животными оказывает существенное влияние на мировое сельское хозяйство и обеспеченность продовольствием. Экономический вклад опылителей в 2009 г. был оценен в 361 млрд. долларов США*.

* Lautenbach S, Seppelt R, Liebscher J, Dormann C.F. Spatial and temporal trends of global pollination benefit. Plos ONE. 2012; 7: e35954.

Однако количество опылителей снижается по всему миру. Наряду с интенсификацией сельского хозяйства, приводящей к исчезновению или деградации местообитаний, применением пестицидов и инсектицидов, инвазией чужеродных видов и патогенов и изменением климата, искусственное освещение в ночное время также оказалось одним из факторов этого снижения.

Ева Кноп (Eva Knop) и ее коллеги специально освещали луга в ночное время и регистрировали взаимодействия между опылителями и растениями. Выяснилось, что посещение ночными опылителями освещенных лугов снизилось на 62% по сравнению с неосвещенными. Снизилось также и разнообразие ночных опылителей (на 29%). Дополнительный эксперимент по учету завязавшихся плодов для модельного вида полевого боядыка (*Cirsium oleraceum*) показал также снижение количества развившихся плодов на освещенных территориях на 13%. Это снижение оказалось невозможно компенсировать дневными опылителями. Таким образом, искусственное освещение в ночное время представляет собой угрозу и для опылителей и для всего процесса опыления.

Nature. 2017; 548(7666): 206–209. doi:10.1038/nature23288



Искусственное освещение нарушает работу ночных опылителей, таких как винный бражник *Deilephila elpenor*, вынесенный на обложку номера журнала Nature.

Собственный черный лебедь Новой Зеландии – Поува

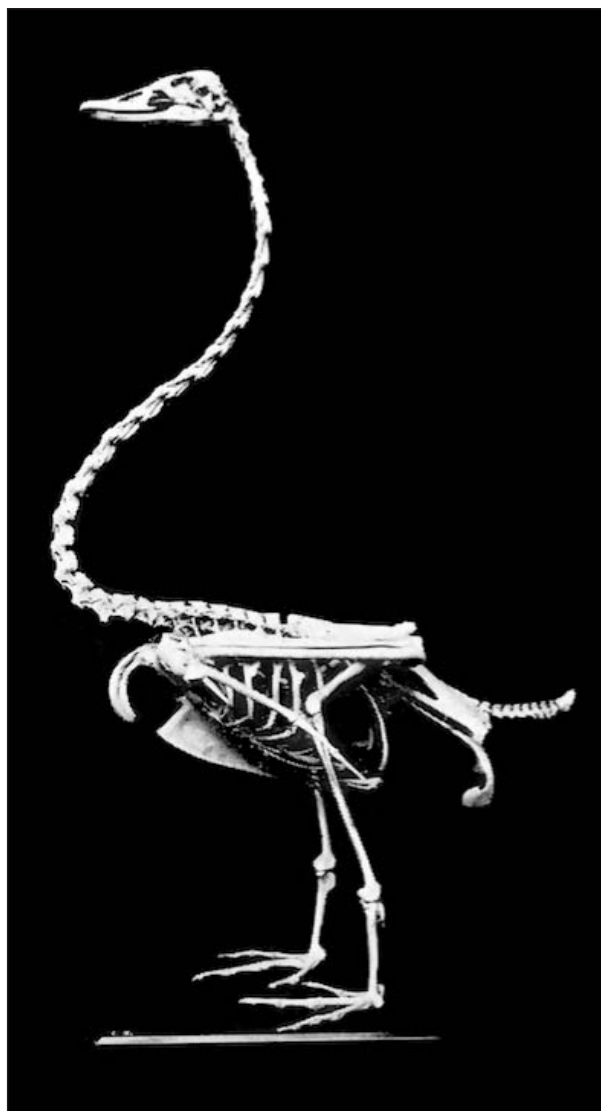
Ученые из Новой Зеландии доказали, что истребленный вскоре после колонизации островов черный лебедь был обособленным видом.

Ранее считалось, что в Новой Зеландии, а также на островах архипелага Чатем проживала популяция черных лебедей *Sygnus atratus*. После колонизации островов народом маори в XIII в. популяция была полностью истреблена. В Новой Зеландии это произошло в середине XV в., а на архипелаге Чатман в середине XVII в. В 1860-е гг. вид был реинтродуцирован в Новой Зеландии. Однако ДНК-анализ и морфометрический и остеологический анализы образцов 47 особей современного черного лебеда из разных участков ареала птиц, а также образцов 39 останков древних птиц из коллекции университета Отаго (Новая Зеландия) и музеев показали существенное различие современных и вымерших птиц.

Судя по всему, разделение общего предка на два вида *Sygnus atratus* и *S. sumnerensis* произошло около 1–2 млн лет назад. Предки *S. sumnerensis* мигрировали в Новую Зеландию и на архипелаг Чатем. Здесь в ходе дальнейшей эволюции сформировался отдельный вид, отличающийся от современного родственника большей массой (на 20–30%), более длинными ногами и относительно короткими крыльями. Все произошедшие эволюционные изменения характерны для островных видов животных, практически не испытывающих прессинга хищников. Кроме того, учеными был сделан вывод о том, что новозеландский лебедь был мало летающей птицей.

В легендах народа мориори, населяющего архипелаг Чатем, есть упоминание огромной птицы Поува. Так *Sygnus sumnerensis* получил свое обычное название (*nomen vernaculum*).

Proceedings of the Royal Society B. Biological Sciences. 2017; 284(1859). <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2017.0876>



Реконструкция скелета вымершего новозеландского лебеда Поува.

Фото Национального музея «Те Папа Тонгарева» (Веллингтон).



S. sumnerensis был истреблен после появления людей. Впоследствии *S. atratus* полностью занял его ареал.

Палеонтология

С.В.Наугольных. ВСТРЕЧИ С ДОИСТОРИЧЕСКИМИ МИРАМИ. М.: Наука, 2017. 160 с. (Серия Академкласс).

Третья книга, вышедшая в серии «Академкласс» (ее издательство «Наука» начало выпускать в 2017 г.), посвящена истории жизни на Земле. Автор — известный палеоботаник, доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник Геологического института РАН. Поэтому текст основан на точных научных фактах, но при этом написан увлекательно и в доступной форме. И хотя жанр книги научно-популярный, автор посчитал необходимым в очерках (они посвящены различным эпизодам как геологического прошлого нашей планеты, так и истории его изучения) и в подписях к иллюстрациям привести точные сведения о местонахождениях ископаемых остатков организмов, а также их латинские названия, как это принято в научной литературе. Одно из важнейших достоинств книги — великолепные иллюстрации, выполненные самим автором. Это и фотографии окаменелостей, и графические и художественные реконструкции наиболее типичных представителей животного и растительного мира минувших геологических эпох, и подводные и наземные ландшафты, существовавшие на нашей планете в различные периоды ее истории. Иллюстрации собраны в своеобразные альбомы («Архей и протерозой в иллюстрациях», «Палеозой в иллюстрациях», «Мезозой в иллюстрациях», «Кайнозой в иллюстрациях»), которые сопровождают каждую из четырех глав книги, посвященных геологическим эрам (от древнейших к новейшей).



Зоология

В.Г.Бабенко. ЛЯГУШКА НА СТЕНЕ. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 335 с.



Книга орнитолога-фауниста Владимира Григорьевича Бабенко — это, так сказать, побочный продукт экспедиционной работы, не относящийся непосредственно к орнитологии. Написанные живым и образным языком очерки («Гнездо стенолаза», «Флинт», «Один день во Вьетнаме», «Блоха», «Желтые трясогузки», «Тугур — река рыбная», «Тажное жильё», «Пять и шесть», «Лучшая ножка Парижа», «Залив Счастья», «Хозяин острова», «Снежинка», «Правильный температурный режим», «Второе имя» и др.) основаны на записках, сделанных на полях полевых дневников, и показывают «кухню» работы зоологов-полевиков, т.е. нелегкие, интересные, веселые, а подчас и очень драматичные стороны экспедиционной жизни. Это подлинные истории, которые случились с автором или его друзьями, приятелями или знакомыми. За каждой из них — неординарные личности, интересные события и приключения. Автор уточняет, что практически не привнес ничего от себя (сработала привычка к достоверности, к которой долгие годы приучала деятельность научного работника), лишь кое-где изменил названия кораблей, населенных пунктов, имена и фамилии. Специально отмечено, что события, описанные в книге, происходили давно. Ведь сегодня не поедешь из Москвы на студенческую практику в Ленкоранский заповедник Азербайджана, на китов у нас в стране почти не охотятся, а народ во Вьетнаме больше не голодает. Все это уже относится к истории.

Информация для авторов

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

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

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

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

ПРИРОДА

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
М.Б.БУРЗИН
Т.С.КЛЮВИТКИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Перевод содержания
Т.А.КУЗНЕЦОВА

Графика, верстка:
С.В.УСКОВ

Сдано в набор 27.01.2018 г.
Подписано к печати 29.01.2018 г.
Дата выхода в свет 30.01.2018 г.
Формат 60×88 1/8
Цифровая печать
Усл. печ. л. 11,16
Уч. изд. л. 12,2
Бум. л. 12
Тираж 24 экз.
Заказ 1900а
Бесплатно

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

Учредитель: Президиум Российской академии наук

Издатель: Российская академия наук
Исполнитель по контракту № 27-ЭА/17 ООО «Издательство РИПОЛ МЕДИА»
Оригинал-макет подготовлен ФГУП «Издательство «Наука»
Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука» по заказу ООО «Издательство РИПОЛ МЕДИА»

16+

www.ras.ru/publishing/nature.aspx; www.naukaran.com/zhurnali/katalog/priroda/
При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.



Для России экологическое состояние Волги имеет первостепенное значение. Здесь сосредоточена большая часть промышленности и сельского хозяйства нашей страны. Считается, что из-за высокой антропогенной нагрузки территория бассейна Волги — одна из наиболее экологически неблагополучных.

Исследования на борту научно-исследовательского судна «Академик Топчиев» во время позднего паводка (2–18 июня 2016 г.) показали, что повышенные концентрации загрязняющих веществ присутствуют в аэрозолях, поверхностных водах и донных осадках только в акваториях, непосредственно примыкающих к крупным промышленным центрам. С удалением от них содержание многих вредных соединений приближалось к фоновым. На сегодняшний день вся экосистема каскада Волжских водохранилищ находится в стабильном отрегулированном состоянии и не влияет на сток органических веществ.

Немировская И.А. ЧТО ПРОИСХОДИТ С ВОЛГОЙ

