

ПРИРОДА

2 09



В НОМЕРЕ:**3 ПРАКТИК И МЕЧТАТЕЛЬ**

К 100-летию со дня рождения
Л.А.Арцимовича

Мирнов С.В.

**Уроки Арцимовича глазами
бывшего аспиранта (5)**

**Минин В.А., Ефремов Ю.Н.,
Балега Ю.Ю.**

**Как построили
Большой телескоп (18)**

Взоров Н.Н.

Род Арцимовичей (25)

Халатников И.М.

Неслучайные совпадения (32)

Заповеди Арцимовича (35)

Несколько советов, любимых выражений
и афоризмов

36

**Результаты конкурса
научно-популярных статей**

38 Расцветаева Р.К.

От эвдиалитов к мегаэвдиалитам

Эвдиалиты с типовой ячейкой могут служить фрагментами при формировании минералов с удвоенной ячейкой. Более того, ячейка эвдиалита может утроиться. Кристаллохимических запретов на образование гиперэвдиалитов нет.

48 Животовский Л.А., Имашева А.Г.

Одиссея мужской хромосомы

Каждый мужчина несет в своей Y-хромосоме генетическую память в виде мутаций, возникавших у всех его предков по мужской линии. Это замечательное свойство Y-хромосомы позволяет проследить не только родственные связи, но и генетическую историю всего человечества.

56 Никонов А.А.

**Скалы Валаама через века
и тысячелетия**

Кажущиеся несокрушимыми скалы островов Валаамского архипелага нередко называют гранитными, хотя они сложены еще более прочными породами — диабазами. Но, тем не менее, валаамские скалы разрушаются под воздействием землетрясений.

66 Голимбет В.Е.

Стресс, психическое здоровье и гены

Сегодня уже установлено, что развитие депрессии, вызванной стрессовой ситуацией, зависит от генотипа человека, экспериментально показано, что главная роль здесь принадлежит гену переносчика серотонина. Значит, информация о генотипе человека может определить стратегию лечения людей уже на ранних этапах болезни.

Научные сообщения**72 Кононенко В.С., Заспел Д.М.**

Совки-вампиры

77**Новости науки**

*Исследование солнечных нейтрино в эксперименте «Борексина». Скорохватов М.Д., Литвинович Е.А. (77). Где родилось Солнце? (78). Джон Бардин и безмездные ВТСП (78). Четверть электрона (79). Топологический квантовый компьютер (80). Квантовый фазовый переход в молекуле C₆₀ (80). Фермент гликолиза из сперматозоидов (80). Зачем нужны самцы разной окраски? Семенов Д.В. (81). Мантийная конвекция вызывает напряжения на подошве литосферы (82). Ледовый покров Байкала как модель для анализа деформаций в литосфере (82). Повторное открытие ископаемого *Ното* из Хвалынска. Короткевич Г.В. (83).*

Рецензии**84 Тоточава А.Г.**

**Астрономия и астрофизика
для профессионалов и любителей**

(на книги: Небо и телескоп;
Солнечная система)

89**Новые книги****Встречи с забытым****90 Бурштейн Е.Ф.**

**Е.Е.Барбот де Марни и первая
в России геологическая карта**

CONTENTS:

3 PRACTICAL MAN AND DREAMER

To Centenary of L.A.Artsimovich

Mirnov S.V.

Lessons of Artsimovich in Eyes of Former Post-Graduate Student (5)

Minin V.A., Efremov Yu.N., Balega Yu.Yu.

How the Large Telescope Was Built (18)

Vzorov N.N.

Artsimovich Family (25)

Khalatnikov I.M.

Non-random Coincidences (32)

Artsimovitch Commandments (35)

Some Pieces of Advice,
Favorite Sayings and Aphorisms

36

Results of Popular Science Articles Contest

38 Raszvetaeva R.K.

From Eudialytes to Megaeudialytes

Eudialytes with typical unit cell can serve as fragments to form minerals with doubled cell. Moreover, eudialyte cell can be tripled. There is no crystallo-chemic restrictions for forming hypereudialytes.

48 Zhivotovsky L.A., Imasheva A.G.

Odyssey of Male Chromosome

Every man bears in his Y-chromosome a genetic memory in form of mutations aroused in all his male ancestors. This remarkable property of Y-chromosome allows trace not only kinship relations, but also genetic history of mankind as a whole.

56 Nikonov A.A.

Rocks of Valaam through Centuries and Millennia

Looking indestructible, cliffs of Valaam archipelago often are called granites, although they are formed by even more durable rocks – diabases. Nevertheless, Valaam cliffs are wrecked by earthquakes.

66 Golimbet V.E.

Stress, Mental Health and Genes

Today it is already established that development of depression caused by stress situation depends on genotype of the person. It was experimentally demonstrated that the leading role here belongs to the gene of neurotransmitter serotonin. It follows that information about patient's genotype can define the strategy of depression treatment even at early stages of disease.

Scientific Communications

72 Kononenko V.S., Zaspel D.M.

Noctuids-vampires

77

Science News

Study of Solar Neutrino in «Bereksino» Experiment. **Skorokhvatov M.D., Litvinovich E.A.** (77). Where Sun Was Born? (78). John Bardin and Copperless High-Temperature Superconductors (78). A Quarter of Electron (79). Topologic Quantum Computer (80). Quantum Phase Transition in C₆₀ Molecule (80). Glycolytic Enzyme from Spermatozooids (80). What for Males of Different Color Are Needed? **Semenov D.V.** (81). Mantle Convection Induces Stresses at the Base of Lithosphere (82). Ice Cover of Baikal as a Model for Lithosphere Deformation Analysis (82). Rediscovery of Fossil *Homo* from Khvalynsk. **Korotkevich G.V.** (83).

Book Reviews

84 Totochava A.G.

Astronomy and Astrophysics for Specialists and Amateurs

(on books: Sky and Telescope; Solar System)

89

New Books

Encounters with Forgotten

90 Burshtein E.F.

E.E. Barbout de Marny and the First Geologic Map in Russia

ПРАКТИК И МЕЧТАТЕЛЬ

К 100-летию со дня рождения Л.А.Арцимовича



Л.А.Арцимович (1909—1973).

Говоря об академике Льве Андреевиче Арцимовиче, мы соприкасаемся не просто с яркой личностью талантливого ученого и организатора науки. Феномен Арцимовича – проявление удивительного пласта истории нашей науки и государства в целом. По трагическому и символическому совпадению жизнь Льва Андреевича прервалась почти одновременно с окончанием самого, может быть, светлого периода в истории науки России – 60-х годов XX в. Точнее говоря, эта эпоха началась в 1956 г. и окончилась в 1968-м. Наука пользовалась особым вниманием государства; в ту пору в нее счастливым образом оказались вовлечены и молодежь, вдохновленная крупномасштабными программами и светлыми перспективами, и выдающиеся ученые старшего поколения, чьими трудами страна достигла уровня сверхдержавы. Как мы теперь знаем, то был период наивысших темпов экономического роста страны и, соответственно, развития научного комплекса.

Лев Андреевич был из того поколения «личностей государственного масштаба», жизнь которых стала воплощением столь присущего русской интеллигенции стремления служить возвышенному, надличностному. И благотворное воздействие этих выдающихся людей, прекрасно познавших не только радость научного творчества, но и сложнейшие глубинные механизмы организации науки, и высшие государственные приоритеты, сказывалось еще долгие годы после того, как их не стало.

Говоря о Льве Андреевиче Арцимовиче, мы вспоминаем академиков И.В.Курчатова, А.П.Александрова, А.Д.Сахарова, Я.Б.Зельдовича, М.В.Келдыша и М.А.Лаврентьева, сподвижником которых он был. Среди его ближайших друзей — академики П.Л.Капица и В.А.Энгельгардт. Он — натура цельная, глубоко артистичная, художественная, поэтому круг его контактов очень широк.

Удивительно обаятельный в личном общении, Лев Андреевич был весьма тверд и последователен в делах, если требовалось — даже резок. Он был равно принципиален как с сотрудниками, так и с руководством любого ранга. В особых случаях его общеизвестная ирония могла переходить в сарказм. Но все это сочеталось с неизменно благожелательным, глубоко интеллигентным восприятием окружающих людей. Незаурядность натуры, высокий творческий потенциал, широта интересов, глубина и разносторонность знаний, организаторский талант, неординарность подхода к делам — все это обеспечило ему авторитет, который позволял руководить огромными коллективами.

Особо стоит сказать о том удивительном стиле руководства, точнее, воспитания сотрудников, благодаря которому еще долгие годы после ухода Льва Андреевича Отделение общей физики и астрономии АН СССР сохраняло устойчивость и высокие темпы развития. Для этого стиля характерна не только нацеленность на высокий уровень в науке и в ее организации. При всей своей высокой требовательности Лев Андреевич сохранял, воспитывал, можно сказать — культивировал в своих сотрудниках самостоятельность, способность принимать быстрые и эффективные решения, действовать в любых инстанциях и ситуациях. Он никогда не допускал мелочной опеки, но был заботлив, был человеком слова, последовательным в своих решениях. Его люди всегда ощущали прочный тыл, знали, что у них за спиной — надежная защита, объективность и поддержка. При Льве Андреевиче оформились широко известные теперь научные центры — Троицк, Черногловка, Специальная астрофизическая обсерватория. Мощно развивалась приборно-технологическая база физики и астрономии. Для этого он не жалел ни собственных сил, ни личного времени, широко использовал свой авторитет в правительственных кругах. При нем заботливо взращивалось молодое тогда поколение ученых — А.В.Гапонов-Грехов, Е.П.Велихов, Р.З.Сагдеев, Ж.И.Алферов, Ю.А.Осипьян.

Сам же Лев Андреевич был воспитанником научной школы Ленинградского физико-технического института, которым руководил А.Ф.Иоффе, — признанной «колыбели советской физики». Выпускник Минского университета, свою работу в институте он начал в 1930 г. с экспериментов в области оптики рентгеновских лучей, но вскоре переключился на бурно развивающуюся ядерную физику. В 1937 г. он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Поглощение медленных нейтронов», а в 1939 г. — докторскую, посвященную тормозному излучению быстрых электронов. Исследованиями Арцимович занимался вместе с А.И.Алихановым, И.В.Курчатовым, А.И.Алиханьяном. Неудивительно, что в 1944 г. он стал сотрудником Лаборатории № 2, будущего Курчатова института атомной энергии. Лишь недавно, после открытия архивов с грифом «СС» (Особая папка), широкая общественность смогла оценить ту роль, которую Арцимович сыграл в создании «атомного щита» родины, руководя разработкой метода электромагнитного разделения изотопов. Именно этим методом в свое время удалось получить уран «бомбового качества». А с 1950 г. он возглавил новое, уже мирное, направление управляемого термоядерного синтеза, ставшее главным научным делом его жизни. Лев Андреевич прекрасно понимал, что на практике новое энергетическое устройство будет реализовано не завтра, «вне пределов моей активности», как он говорил. «Надежда на быстрое решение проблемы УТС — то же, что надежда грешника попасть в рай, минуя чистилище». Но он старался сделать все возможное, чтобы приблизить это будущее. И вошедшее в иностранные языки слово «токамак», и распространившиеся по всему миру установки этого типа — доказательство верности сделанного им выбора. Член-корреспондент АН СССР (1946), академик (1953), наконец, академик-секретарь Отделения общей физики и астрономии (1957), Герой Социалистического Труда (1969), Лауреат Государственных премий СССР (1953, 1971) и Ленинской премии (1958), награжденный многими орденами и медалями, Арцимович — герой многих статей-воспоминаний. Не раз выходили сборники материалов, посвященные ему; новая книга «Академик Лев Андреевич Арцимович» издана сейчас издательством «Физматлит» к юбилею.

Все это — не только свидетельство его выдающихся достижений и заслуг перед наукой и Отечеством, но и знак непреходящей светлой памяти о нем как об Ученом, Учителе и Гражданине. Те, кому выпало счастье общаться со Львом Андреевичем Арцимовичем, тем более — работать с ним, испытать благотворное воздействие его личности, навсегда благодарны судьбе за то, что она предоставила нам этот редкий шанс.

© Минин В.А.,

доктор физико-математических наук
Российский фонд фундаментальных исследований

Уроки Арцимовича глазами бывшего аспиранта

С.В.Мирнов,

доктор физико-математических наук

Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований

Около 40 лет отделяет нас сегодня от эпохи Арцимовича. «Иных уж нет, а те далече, как Сади некогда сказал...». Человечество строит первый полномасштабный магнитный термоядерный реактор с термоядерной мощностью в несколько сотен мегаватт — решает в металле задачу, поставленную перед Львом Андреевичем грозным Председателем Совета Министров СССР 58 лет назад. («Академику Л.А.Арцимовичу возглавить работы по магнитному термоядерному реактору, уделяя этому вопросу 50% рабочего времени, а 50% — электромагнитному разделению изотопов. Москва. 5 мая 1951 г.».)

Для зарубежных участников этого строительства Арцимович, похоже, превратился уже в некий полубиблейский персонаж. Обмолвись, что ты последний аспирант Арцимовича, и на тебя посмотрят с недоверием и страхом: шутник или сумасшедший — так долго не живут.

В энциклопедических словарях пишут: «Под руководством Арцимовича впервые получена в лабораторных условиях термоядерная реакция, Государственная премия СССР 1971 г.». Именно эта лабораторная реакция на уровне милливатт спривоцировала международную научную общественность на повсеместное создание магнитных ловушек типа токамак*.

* Подробнее о токамаках, их истории, физике, возникающих проблемах см. [1].

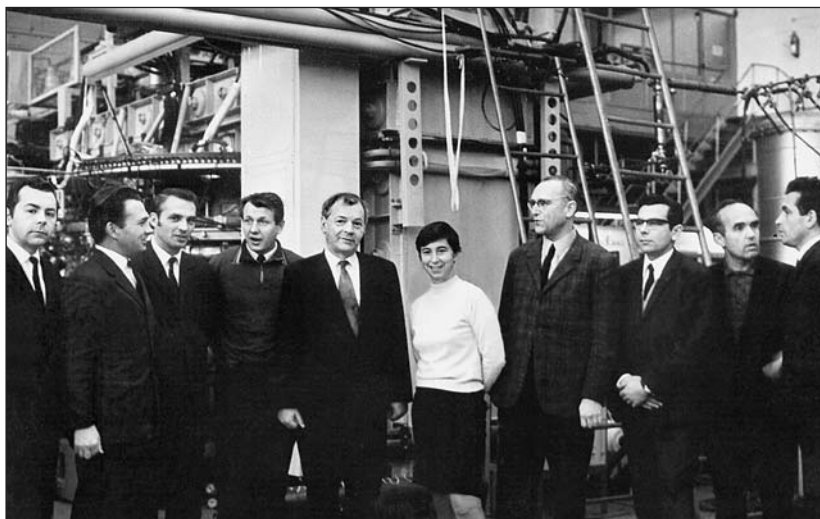
© Мирнов С.В., 2009

Масштаб соответствующих затрат, произведенных человечеством, — около 20 млрд долл., конечный итог — выход на ИТЭР — международный термоядерный реактор промышленного масштаба.

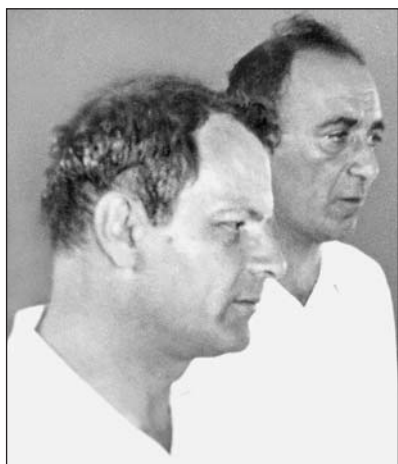
На фотографии команда Арцимовича, получившая ту самую премию. К физикам, в нее входившим, судьба была, я бы сказал, более чем благосклонна — кое-кому из нас, начинавших в 60-х на почти настольных приборах, посчастливилось работать на первых зарубежных токамаках-реакторах с реальным тритием и нейтронным выходом на уровне 10 МВт! И — совсем фантастика — влиться в команду инженеров и физиков — проектантов ИТЭР.

Это прежде всего В.С.Мухоматов — один из неизменных (1996—2008) ведущих физиков ИТЭР и, по мнению многих, самый знающий мировой физик в области токамаков; далее, К.А.Разумова — член группы экспертов по удержанию и транспорту плазмы в токамаках; В.С.Стрелков — член группы экспертов по диагностике; наконец, ваш покорный слуга — член группы экспертов по магнитогидродинамическим явлениям и срывам в токамаках.

Разумеется, активность России в проекте ИТЭР была много шире участия в нем ветеранов. Одним из решающих стал вклад Е.П.Велихова, продолжателя дел Арцимовича и отчасти его ученика, в дипломатическую и ко-



Лауреаты Госпремии СССР 1971 г. на фоне токамака Т-4. Слева направо: С.В.Мирнов, Е.П.Горбунов, А.М.Ус, В.С.Стрелков, Л.А.Арцимович, К.А.Разумова, А.К.Спиридонов, В.С.Мухоматов, В.Д.Шафранов Д.П.Иванов.



Л.А.Арцимович и Н.А.Явлинский.
Конец 50-х годов.

ординационную работу, обеспечившую формирование международной кооперации по созданию ИТЭР. Самоотверженно помогавшие ему сотрудники Минатома [2] — также ученики Арцимовича. По сути, они продолжили внешнеполитическую часть деятельности Льва Андреевича, которая в начале 70-х утвердила приоритет нашей страны в термоядерных исследованиях, а его — как несомненного лидера этих исследований.

Но конечную победу или поражение токамаков будет определять физика. Что кажется сегодня наиболее важным из наследия Арцимовича для ученых? Смее утверждать, что прежде всего — его методология. Во всяком случае, для меня. Встреча с ним была моей крупной жизненной удачей. Видимая благосклонность судьбы имеет под собой, как правило, твердое основание.

Лет 30 назад мы с Разумовой пытались изложить его методологию, как мы ее тогда понимали, «по свежим следам» в нашей статье в «Природе» [3]. Сегодня и мы, и времена иные. С одной стороны, сместилась шкала ценностей, а с другой — мы теперь знаем, что скрывалось за горизонтом. Во всяком случае, Лев Андреевич сегодня мне более понятен, чем тогда. Некоторые

вещи он предвидел очень точно. Как Арцимович взаимодействовал с молодыми физиками (тогда почти все были молодыми)? Сужу по своему примеру, по-моему, типичному.

Свели нас вместе события случайные и трагические. После гибели Н.А.Явлинского в 1962 г. в авиационной катастрофе Арцимович решил сам возглавить его сектор 44 (сектор токамаков) в руководимом им Отделе плазменных исследований (ОПИ) Института атомной энергии им И.В.Курчатова (ИАЭ). При этом он назначил Стрелкова, к которому я был прикомандирован как молодой специалист, начальником самого большого и неухоженного (он был только что построен) токамака Т-3. Молодым специалистом я числился формально — три года я уже работал как физтеховский студент-практикант в ИАЭ, в секторе академика Е.К.Завойского. За это время я успел вполне победоносно защитить диплом, походить с полгода на семинары к Явлинскому и поэтому в окружающей обстановке ощущал себя как рыба в воде, не страшась никаких академиков.

Первой практической задачей, возникшей перед нами на Т-3, было определение реального положения плазменного шнура в камере токамака. Решил я ее с помощью четырех магнитных зондов, включенных по разностной схеме, по аналогии с тем, как определял разность фаз волн в дипломе. Свои зонды мне любезно уступил К.Б.Карташев, поэтому все дело заняло не более трех месяцев. Впоследствии этот метод благодаря своей простоте распространился по свету на все токамаки. Стрелков похвастался быстротой и простотой содеянного перед Арцимовичем. Тот похвалил, но призадумался. Дело в том, что равновесное смещение плазменного шнура наружу, если он окружен медным кожухом (как это было на Т-3), должно быть примерно пропорционально полной энергии плазмы (магнит-

ной плюс тепловой). Только что опубликованная работа В.Д.Шафранова по равновесию плазменного шнура в токамаке позволяла после несложных преобразований связать эту энергию с моими измеряемыми сигналами. Чем я и был занят, когда меня к себе в директорский кабинет затребовал Арцимович.

Прихватив свои миллиметровки, я явился к академику. Он был очень любезен и обаятелен (когда не бывал зол — это я выяснил позднее). Сероглазый, очень быстрый, остроумный и едкий, не без элементов мальчишества, знаток литературы, истории, — Арцимович производил яркое впечатление на собеседников и окружающих. Так, по свидетельству Р.З.Сагдеева, во времена Калэмской конференции Лев Андреевич занял первое место на конкурсе красоты и обаяния, устроенном барышнями из группы технического обслуживания.

Мне он доходчиво объяснил, что интересно было бы на основе показаний зондов оценить полную энергию шнура. Я открыл свой миллиметровый (секретный!) журнал с выкладками, где это было сделано. Он пришел в некоторое возбуждение при их виде, очень быстро вник в суть и в итоге вынес решение: «Вот что, я сам буду обрабатывать ваши пленки» (сигналы с экрана осциллографа мы снимали на пленку). И действительно, раз или два он приходил к нам и сам перерисовывал под фотоувеличителем интересные его сигналы. Дело его захватило, мы вторгались в сферу энергетических балансов плазмы. Административные и прочие дела смели, к сожалению, эти благие замыслы. В итоге он оказался вынужден пользоваться осциллограммами, перерисованными нами. Судя по его замечаниям, которыми он щедро делился при встрече, он где-то находил время их тщательно осмысливать. Так началось наше содружество. Года через четыре я попросил его взять меня в за-

очные аспиранты. Он удивился — зачем это мне. «А затем, чтобы иметь дополнительный отпуск, Лев Андреевич». Снова удивился. «А разве он вам нужен?». «Вдруг понадобится». На моей бумажке он написал «согласен». Так я стал его последним аспирантом.

В моем научном руководстве, естественно, никаких изменений не наступило. Внешне никакого повседневного научного руководства как будто бы и не было. Но оно вдруг возникло в самой своей бурной форме, что означало: твои результаты или научные домыслы вошли в противоречие с какой-то уже продуманной им концепцией. В таких случаях он бывал и резок, и нетерпим. В Физико-техническом институте им.А.Ф.Иоффе как реликвия хранится график энергетического распределения нейтронов (нейтральных атомов, покидающих плазменный шнур), вылетающих, видимо, из не очень устойчивой плазмы, на котором его рукой размашисто написано «Такого быть не может. Арцимович». Действительно, в устойчивой плазме токамака такого не бывает.

Рассказывают, что однажды император Наполеон Бонапарт, раздосадованный угодничеством окружающих, попросту объяснил им природу своей гениальности: «Гениальный, гениальный! Просто я обо всем этом думал». Арцимович был явно «из теста» постоянно думающих, а потому многое знающих точно. Некоторых это раздражало, что сквозит в ряде воспоминаний современников. Только предложишь ему свою свежую идею, а он в ответ — «ничего в ней нет путного, я уже об этом думал». И, что самое обидное, часто оказывался прав. Но иногда случалось, и не прав. Дело тогда выливалось в длительное разбирательство, безмерно обогащенное его контраргументами. Но даже и в таких случаях, на ходу перестраиваясь, он оставался локомотивом движения.



У токамака Т-3А. Слева направо: В.С.Муховатов, С.В.Мирнов, Л.А.Арцимович, В.С.Стрелков. 1968 г.

Без всяких ссылок на честь мундира. Зная это его качество, можно было строить стратегию общения с ним, избегая чрезмерных обид.

Одна из характерных форм его общения с близкими сотрудниками — вручение им меморандумов на одной-двух страничках от руки с точным перечислением его претензий, либо предложений, либо указаний. Некоторые из них еще хранятся у адресатов. В качестве примера факсимиле первой страницы подобного меморандума, когда-то направленного мне, приведено на рис.1. Известна шутка Ландау: «Фок любую задачу сводит к уравнениям с частными производными, я — к обыкновенным дифференциальным уравнениям, а Френкель — к алгебраическим». Арцимович, как следует из рис.1, предпочитал обыкновенные дифференциальные.

Одним из знаменитых меморандумов было его предложение по измерению тепловой энергии плазмы на основе ее диамагнетизма. Виртуозно проинтегрировав уравнение баланса давления в токамаке, он получил в итоге изумительно простую формулу, связывающую дополненный тороидальный магнитный поток, вызванный появлением горячей плазмы, с ее током (парамагнетизм) и с тепловой энергией плазмы (диамагнетизм). Мы — Разумова на малом токамаке ТМ-3 и я на большом Т-3 — тут же попытались реализовать эту замечательную идею. Да не тут-то было. Мне, например, понадобилось для этого два года с применением в итоге калибровочных приборов полупроцентного класса точности, кварцевой стабилизации частоты и разных других головомолных электротехнических ухищрений. Разу-

Глубоко уважаемый Сергей Васильевич!

Поздравляю Вас по случаю дискуссии о методах определения времени жизни плазмы с помощью метода добавок газа. Вам, как предпринимателю, хотелось бы получить более точные данные (в смысле Васильевича) о времени жизни плазмы (в смысле Васильевича) при действии метода добавок газа. Я думаю, что метод добавок газа более точен, чем метод измерения времени жизни плазмы.

Для того, чтобы убедиться в этом, давайте рассмотрим два случая.

1.) До ввода газа

$$\frac{dN_0}{dt} = Q_0 - \frac{N_0}{\tau_0} \quad \dots (1)$$

2.) После ввода газа

$$\frac{d(N_0 + \Delta N)}{dt} = Q_0 + q - \frac{N_0 + \Delta N}{\tau_1} \quad \dots (2)$$

Правильно (и соответствует с тем, что было получено на опыте) считать, что $\frac{dN_0}{dt}$ равно нулю в состоянии равновесия $Q_0 = \frac{N_0}{\tau_0}$.

Тогда

$$\frac{d\Delta N}{dt} = -\frac{N_0 + \Delta N}{\tau_1} + 1,1 \cdot \frac{N_0}{\tau_0} \quad \dots (3)$$

Возьмем τ_1/τ_0 равным α .

Равенство (3) можно переписать в виде

$$\frac{d\Delta N}{dt} = -\frac{N_0}{\tau_0} \left\{ \frac{1}{\alpha} \left(1 + \frac{\Delta N}{N_0} \right) - 1,1 \right\} \quad \dots (4)$$

Предположим на $\tau_1/\tau_0 \rightarrow$

Рис.1. Факсимиле меморандума Арцимовича автору. Спор касался измерения диффузионного времени жизни плазмы. Значение, полученное автором методом добавок газа, оказалось в 10 раз ниже полученного Арцимовичем с соавторами по анализу потока нейтралов. Консенсус был достигнут снижением Львом Андреевичем его времени в три раза и увеличением моего в полтора. В итоге мы проскочили мимо важного явления — аномального пинча заряженных частиц. Не хватило храбрости.

мова несколько обогнала меня. Правда, я успел передать Арцимовичу, уезжавшему на Калэмскую конференцию МАГАТЭ, осциллограмму поведения тепловой энергии плазмы в Т-3. И на ТМ-3, и на Т-3 электронная температура плазмы оказалась в два-три раза выше, чем следовало из предыдущих осторожных оценок. На Т-3 она достига-

ла 500 эВ! Это и стало главной физической базой заявления Арцимовича, сделанным им летом 1966 г. в Калэме, что «призрак Бом» (неожиданно больших скоростей потери плазмы — аномальной диффузии, названной по имени открывшего ее американского ученого Д.Бом) больше не довлеет над нами. Окажись Бом прав,

от идеи термоядерного синтеза в токамаках пришлось бы отказаться. Время удержания плазмы превышало расчетное бомовское тогда примерно втрое. Не всеми Арцимович был понят правильно — за рубежом у всех был Бом или около того. Но через год разрыв достиг 10. А еще через год на Новосибирской конференции МАГАТЭ — уже 40. Там и созрело предложение проверить измерения электронной температуры на Т-3 независимым методом лазерного рассеяния, только что разработанным в Англии.

Следующий 1969 г. стал для токамаков триумфальным. Той осенью в Дубне на Международном совещании по замкнутым ловушкам произошло событие, объявленное позднее зарубежными газетчиками ни много ни мало как «признание Западом лидирующей роли советского токамака в исследованиях по управляемому синтезу». История эта многократно описана и обросла легендами.

Суть ее в том, что весной 1969 г. к нам на токамак Т-3А в ИАЭ прибыла группа английских физиков и инженеров с несколькими тоннами лазерной аппаратуры для измерения электронной температуры, в наши значения которой они отказывались верить. Акция эта стала результатом договоренности между Арцимовичем и директором Калэмской лаборатории доктором Р.Пизом — факт, незаурядный даже по современным меркам. К осени, с честью преодолев различные трудности, дружная советско-английская группа успешно завершила лазерные измерения и, как с шумом было объявлено в западных газетах, «получила результаты даже более высокие, чем сообщалось русскими». (По диаманетизму мы измеряли среднюю температуру, а лазер давал локальную. В таких случаях говорят: «совпадение оказалось глубоко в классе точности».) Прямое доказательство существования в токамаках электронной

температуры масштаба десяти миллионов градусов (1 кэВ) оказалось для многих сенсацией. Для нас с Арцимовичем — еще одним независимым подтверждением точности диамагнитных измерений на Т-3.

Другим примечательным для меня событием Дубнинской конференции была так называемая неформальная дискуссия, где триумфатор Арцимович часа полтора «был на арене» под градом вопросов — в мировых исследованиях по управляемому синтезу намечался крутой поворот в сторону токамаков. В конце на него насел молодой и вездливый Гарольд Фюрт, будущий директор Принстонской лаборатории физики плазмы: какой по мнению русских закон подобия (скейлинг) для энергетического времени жизни плазмы в токамаках следует выбирать взамен бомовского. Энергетическое время жизни плазмы (т.е. характерное время ее остывания) — важнейший параметр, и Лев Андреевич был явно не готов тогда отвечать на этот серьезный вопрос определенно. Его «ионная неоклассика» [4] в то время еще не созрела к опубликованию. В сослагательном наклонении он пытался обрисовать обсуждаемые возможности, а потом вдруг неожиданно уверенно заключил: «А вот еще есть скейлинг Сережи Мирнова — $a^2 B_p$ » (a — поперечный размер шнура, B_p — магнитное поле тока). Позже я понял, что с этого момента перешел в разряд «советских ученых, известных за рубежом». Гарольд, получив ценное указание, цепко переключился на меня.

История со скейлингом $a^2 B_p$ — яркая страница наших отношений с Львом Андреевичем и типичный пример его работы с молодыми физиками. Для читателя он может быть небызынтересен.

Дело в том, что, зная суммарную магнитную и тепловую энергию плазмы (из измерений с зондами), а также отдельно тепловую энергию (из диамаг-



На Дубненском совещании в 1969 г.



С М.В.Келдышем. В Президиуме АН СССР. Конец 60-х годов.

тизма) и полную мощность, передаваемую плазме (произведение тока на напряжение), можно точно (т.е. в пределах погрешностей измерений) определить энергетическое время плазмы и ее омическое сопротивление. В 1966 г. на Т-3 я все это уже имел. Если, имея это, пройтись по всему полю режимов Т-3, появлялась уникальная возможность установить связь термо-

изоляции плазмы с исходными параметрами токамака. Иными словами, найти тот самый закон подобия, необходимый для оптимального проектирования будущих установок. Этот честолюбивый замысел я и задумал осуществить. На вид все было просто. Нужно, меняя по очереди основные, задаваемые извне параметры плазменного шнура: тороидальное поле B_T , ток плаз-

мы I_p , ее плотность n (ее измерял Е.П.Горбунов), снять сетку режимов и усмотреть при этом какие-либо закономерности поведения плазмы, если они вдруг проявятся. На практике же это вылилось в год изнурительной работы, когда какой-то сгоревший трансформатор или вакуумная течь в любой момент могли «тормознуть» процесс на неделю, месяц, а то и более. Но душу грела мечта получить в итоге все необходимые пленки и засесть за их анализ, как пристало настоящему физику. Разумеется, я изнурял себя не один. Собственно установкой ведала группа Н.В.Краснова — человека теплолого и очень ответственного. Могучей энергетикой Т-3 с ударным генератором и преобразователем ведала группа электриков с молодым, но явно гениальным радиотехником, А.М.Анашиным. «Физикой», т.е. практической программой и диагностикой (кроме измерений плотности), ведал я. Таким образом, проведение моей программы обеспечивалось тяжело, но дружным трудом большого коллектива. Арцимович мою деятельность вполне одобрял и поддерживал. Она укладывалась в его правило, которое он любил повторять: «физика начинается с зависимостей». Но как же было невыносимо тяжело осуществить это практически. Режимы «плыли», приходилось работать короткими сериями между неизменными «реперными» режимами. На все это накладывались технические сбои. Мой обычный рабочий день кончался к 11 часам вечера. К счастью, все это удалось дотерпеть до конца, и я приступил к обработке материала.

Я явно переоценил свои возможности. Работа по анализу затянулась на год. Иногда я с ностальгией вспоминаю время, когда чинил диагностики и «стрелял» на Т-3. И все-таки и это удалось вытерпеть. Первое же мое сообщение о результатах на секторном семинаре вызвало скандал. Если верить мне, то выходи-

ло, что в устойчивых режимах токамака термоизоляция плазмы не зависела от тороидального магнитного поля B_T . Тогдашняя токамачная религия предполагала ее улучшение либо квадратично, либо, в худшем случае, линейно с B_T . Далее, у меня выходило, что термоизоляция плазмы улучшается с ростом ее плотности, а должна была бы падать. Еще дальше — термоизоляция улучшалась с ростом тока, в то время как ток в токамаке считался главным дестабилизирующим фактором. Сначала меня просто не хотели слушать. Потом занялись погрешностями эксперимента. Если складывать случайные ошибки как корень из суммы квадратов (так учили на физтехе), то утверждения мои проходили, но если складывать «по-честному», арифметически (так, видимо, учили на физфаке), то ни о чем ничего сказать было нельзя. Арцимович был зол не менее других. Он не понимал, как такое может происходить физически и подозревал подвох. Неокласика, в которой тороидальное поле заменяется на полоидальное (токовое), на мое несчастье, тогда еще не была явлена миру. До этого еще оставался год.

Масла в огонь подлил один из моих соавторов N. Он, перепугавшись, встал и сделал официальное заявление, что к моим результатам не имеет никакого отношения. «Все они почему-то получены Сергеем после 7 вечера, когда я уже уходил с работы». Все истинно. «Клев», когда все начинает вдруг клеиться, обычно наступал в 9-10 вечера. Это неразгаданная загадка. Выступление N было очень своевременное. Одна разгневанная женщина предложила вообще запретить Мирнову экспериментировать на Т-3. Теперь все зависело от Арцимовича. Он оказался неожиданно миролюбив: «Знаете, если вас послушать, армии вообще не надо давать оружия — оно все равно попадет в руки неприятеля». Высшая мера в отношении меня была отменена.

После семинара в мою комнату вдруг явился сам Лев — событие неординарное. И также миролюбиво стал меня успокаивать: «Знаете, Сережа, все экспериментаторы и вы в том числе склонны завышать точность своих экспериментов. Удвойте количество точек. И тогда посмотрим снова». В точности моих экспериментов я был уверен — три года занимался этим. «Вы, Сережа, знаете ли, слишком самоуверенны. И это не только мое мнение». На счастье, у меня был готов отчет по диамагнитным измерениям. Правда, в одном экземпляре. «Вот — сказала я ему — почитайте, там все написано». Он холодно поблагодарил и ушел. А я остался удваивать точки.

Где-то через месяц я заволновался о судьбе отчета. Позвонил, пролепетав что-то о необходимости его сдачи официальным органам. «А, — сказал он мне, — я отдал его Милке (т.е. его дочери, Л.Л.Арцимович). Пусть поучится, как нужно работать. Заберите у нее. А, кстати, почему бы вам не защитить по нему кандидатскую диссертацию?» Я промямлил нечто — у меня были более амбициозные планы, удвоение точек было вполне в их русле, а диссертация нет.

Размышляя задним числом о его реакции на те мои результаты, склоняюсь к мысли, что я затронул его болезненную тему — у него были какие-то соображения в пользу больших тороидальных магнитных полей, теоретики убеждали его в их правоте, он хотел даже строить такой токамак, поэтому смена убеждений могла произойти только в результате сильного внешнего воздействия.

Месяца через три я закончил работу и явился к нему со своими бумажками. Результаты моего кропотливого труда я представил в виде трех крюков, изображавших для трех разных тороидальных магнитных полей зависимость энергетического времени жизни от тока. Крюк получался из-за того, что сначала

ла оно росло почти линейно с током, потом насыщалось, а потом, как струя воды, обрушивалось вниз. Чем выше было тороидальное поле, тем выше был порог насыщения и крупнее крюки, но в области малых токов крюки сливались, что означало отсутствие прямой зависимости термоизоляции от тороидального магнитного поля.

Природа «загибов» была ясна, они совпадали с развитием винтовых неустойчивостей, с этим я разобрался, а вот отсутствие зависимости от B_T оставалось загадочным. Размышляя над моими крюками, Лев был очень мрачен. «Ладно, — сказал он, — будем считать, что энергетическое время жизни растет пропорционально $a^2 B_p$ ». Размерный фактор — a — он взял, сравнивая данные с Т-3 и результаты Разумовой с ТМ-3.

История со скейлингами для меня только начиналась. Мне было необходимо как-то разумно завершить многолетнюю работу на Т-3, иначе она «зависала». Завершить ее мог какой-то скейлинг, наиболее адекватно описывающий всю мою базу данных. Но какой? Самым оптимистичным выглядел «скейлинг Кириллова» ($a^2 n T^{3/2}$). Он давал много — за это и нравился многим. Мука выбора продолжалась бы до бесконечности, если бы меня не посетила мысль «из другой колоды». А что если рассмотреть Т-3 как некий будущий токамак, подлежащий расчету, выбрать в качестве опорной какую-нибудь надежную точку из нижней части существующей базы данных, отнормировать на нее скейлинги, подлежащие испытанию, и попытаться «предсказать» с их помощью, как вела бы себя новая гипотетическая база данных Т-3, если бы она подчинялась этим скейлингам. То есть инвертировать задачу. Результат превзошел ожидания. Скейлинг $a^2 B_p$, как полагалось правильному, дал почти точное совпадение расчета с реальной базой данных, в то время как «кирилловский» раскидал рас-



На отдыхе в Борке. 1968 г.

четные точки вплоть до тройки. Работа моя завершилась жирной и убедительной точкой. Камень упал с плеч.

Наутро, по возможности спокойно и незаинтересованно, я изложил Арцимовичу результаты моих изысканий. И кажется, привел его в некоторое волнение. Во всяком случае, он поступил нетипично — в уже написанный им и отпечатанный текст доклада на Новосибирскую конференцию МАГАТЭ (1968) ввел скейлинг $a^2 B_p$ и даже зависимости от плотности, после некоторых препирательств, в степени 0.3 ± 0.3 . Таким образом, скейлинг $a^2 B_p$ обрел гражданство. Через год в Дубне именно его Лев Андреевич представил Фюрту уже как «скейлинг Сережи Мирнова», хотя, если быть точным, сформулировал его он сам.

Скейлинг моего имени Фюрта огорчил — давал слишком мало. До цели оказывалось далеко. Видимо, с горя его назвали поначалу «консервативным законом Мирнова». Потом, когда оказалось, что он в точности предсказал энергетическое время для токамаков следующего поколения: нашего Т-10 и аме-

риканского PLT, его стали звать уже более уважительно — «Mirnov scaling», потом, заменив a на R , «Mirnov-like scaling», потом «GMS-scaling», что формально более правильно. Сегодня, когда известен «правильный» скейлинг (он стоил человечеству 10 млрд долл.), наш GMS сохранил разве что историческое значение. («Старое, но грозное оружие») И здесь хочется сделать некое отступление отвлеченного характера.

Приведенная история показывает еще и как случайно «наклеиваются» персональные ярлыки, хотя научный процесс по сути своей коллективное взаимодействие. Оборачиваясь назад, следует признать, что и критики, и отрекшиеся соавторы внесли свой, иногда весьма конструктивный вклад в общее поступательное движение. Научный коллектив, осознает он это или нет, — единое тело, как пчелиный рой. В связи с юбилеем велик соблазн всех одарить или хотя бы перечислить. Но не мне «раздавать слонов». Воспользуюсь помощью Игоря Николаевича Головина — пламенного пионера термояда и знатока его истории.



Рис.2. «Список Головина».

Разбирая бумаги, оставшиеся после смерти отца, его сын Денис нашел среди них листок «Творцы советского термояда». С его разрешения я привожу его здесь (рис.2). Что важно для нас в этом списке сегодня в столетнюю годовщину Льва Андреевича? Прежде всего — что имя Арцимовича стоит сразу после Курчатова — кумира Головина. А ведь Игорь Николаевич и Лев Андреевич были далеко не близкими друзьями. Для меня, почитавшего обоих, были они, я бы сказал, почти взаимоперпендикулярными — проецируя другого на свою ось, получали величину весьма незначительную и порой кипятились по этому поводу. Перпендикулярными, но не противодействующими (т.е. врагами). Такие были люди.

Второе, важное для меня в этом «списке Головина»: его

половина — сотрудники отдела Арцимовича.

Возвращаясь к методам работы Арцимовича, должен сказать, что описанная история со скейлингом a^2V_p типична. Подобных было несколько. Все они развивались примерно по одной схеме: сначала скептическое отношение к идее опыта, потом жесткое отношение к используемой диагностике, критика полученных результатов вплоть до их отрицания, иногда «досмотр» всех деталей и, в благополучном случае, признание. Как-то я пожаловался одному своему старшему товарищу, тоже физики, но из другой области, на придирки академика. «Знаешь, — сказал он мне, — ты счастливый человек. Моими делами никто не интересуется».

Известна шутка Арцимовича: «Я считаю, что хороший научный сотрудник через год работы в моем отделе должен считать дураками все свое начальство, и меня в том числе. Правда, если он будет думать обо мне так и через пять лет, мне кажется, это будет уже несправедливо». В этой шутке большая доля правды, а именно признание того факта, что основная тяжесть работы в развивающейся науке ложится на плечи 20—30-летних молодых людей, которым не всегда полезно преклоняться перед авторитетами.

Как большинство активно действующих ученых, Лев Андреевич преподавал, заведовал кафедрой на физическом факультете МГУ, читал лекции студентам [5], проповедовал теорию: «если не читать лекций, забудешь физику». Однако лекций для молодых научных сотрудников своего отдела старался не читать, хотя некоторые пытались его на это спровоцировать. «Неужели лекции не надоели молодым людям за шесть лет учебы?». Действительно, полных командиров следует учить в окопах, а не в лекционных залах. Что он и делал в процессе реальной работы иногда через головы непосредственных на-

чальников, к их законному неудовольствию. Одно из его поучений: «Детки, если вы возьметесь проверять уравнения Максвелла, то через месяц выясните, что они справедливы только с точностью до десяти процентов, через год — с точностью до процента и так далее». Или еще: «Запомните, экспериментатор, в отличие от теоретика, ошибается только один раз, а потом ему уже не верят».

Сам Арцимович последовательно стремился к тому, чтобы каждый ключевой параметр плазмы измерялся не менее чем двумя способами. Это был принцип. В итоге к середине 60-х на токамаках была создана система взаимоперекрывающихся диагностических методов, которая свела до минимума вероятность ошибок и фактически обеспечила прочность той системы физических фундаментальных представлений, которая к началу 70-х сложилась в отечественной токамачной науке и затем была подтверждена на зарубежных токамаках.

Наконец, о его отношении к взаимодействию теории и эксперимента. Многим в ОПИ была хорошо известна декларация Арцимовича: «Нет ничего хуже сомнительной теории, подтвержденной сомнительными экспериментальными данными». Широта кругозора позволяла ему быть арбитром между теоретиками и экспериментаторами. Последним давал добрые советы (1968): «При современном состоянии экспериментов, когда мы в основном работаем с несовершенной магнитной геометрией, с плазменными конфигурациями, для которых характерна неопределенность граничных условий и сильное взаимодействие со стенками, можно всегда в громадной картотеке неустойчивостей найти ту, которая нам больше других придется по вкусу. С таким же успехом вы отыщете желательный вам стабилизирующий механизм. А в общем — экспери-

ментатор должен относиться к теории, как к хорошенькой женщине: с благодарностью принимать то, что она ему дает, но не доверять ей безрассудно». Теоретикам же он даровал «принцип Арцимовича»: предсказания имели право отличаться от реальности на тройку, но не более.

Та же широта позволяла ему требовать от теоретиков решения задач, актуальных для эксперимента. Посмеиваясь, он говорил, что играет роль фильтра между теми и другими. Одним предлагает эксперименты, достойные интерпретации, другим — достойные теории. В публикациях очень жестко требовал строгого разделения твердо установленных фактов и рассуждений об их кажущейся природе — автору это давалось с трудом. Крайне не любил категорических утверждений — любил сослагательное наклонение: «если провалитесь, не так будут ругать, если окажитесь правы, сразу забудут, в каком наклонении писали». Впоследствии Головин гневно вымарывал мои «бы» из технических заданий — инженеры должны точно знать, что вы задумали и на что рассчитываете.

За работами теоретиков ОПИ Арцимович следил особенно зорко. Порою поверх головы их руководителя академика М.А.Леонтовича. Тот иногда кипятился: «Теория не плошадная девка, чтобы исполнять все прихоти начальника отдела». Тем не менее, когда исполняли, оказывались в выигрыше. Так произошло, в частности, с так называемым неоклассическим переносом частиц и энергии в токамаках. Эта история показательна как пример методологии Арцимовича в этой области.

Пытаясь объяснить обнаруженные в токамаках высокие потери тепла и частиц, превосходившие на два порядка классические, предложенные в начале пятидесятых А.Д.Сахаровым и И.Е.Таммом, Арцимович очень нехотя склонялся в пользу



Постановка задачи. В рабочем кабинете, начало 60-х годов.

Г.И.Будкера, постулировавшего тогда же, что реальное удержание плазмы в токамаке должно определяться не V_T , а V_p — на порядок меньшим. Попытка заинтересовать этой задачей теоретиков ОПИ успеха не имела — более интересным делом был анализ плазменных неустойчивостей, а потому проблем в классическом переносе они не видели.

Так продолжалось до тех пор, пока М.П.Петров и В.С.Мухоматов не открыли на токамаке Т-3 существование популяции так называемых запертых частиц, также некогда предсказанных тогда еще не академиком Будкером. Арцимович сразу понял важность этого открытия. Чуть ли не за ночь он составил свой типичный двухстраничный меморандум, где описал предполагаемые свойства этих частиц, и разослал его всем заинтересованным сторонам. На этот раз высокая теория была привлечена в лице самого Б.Б.Кадомцева. Кадомцев блестяще (по более поздней оценке Сагдеева) справился с задачей, описав поведение всей популяции. По пути он обнаружил потенциальную возможность развития неустойчивости на запертых электронах и занялся ею. Арцимович между тем рассказал об открытии Буд-

керу, который, будучи уже директором Института ядерной физики СО АН, тут же возбудил своих лучших теоретиков Сагдеева и А.А.Галева к анализу влияния дрейфовых движений запертых частиц на перенос плазмы в токамаке. Решив в кратчайший срок эту задачу, они нашли, что коэффициент переноса плазмы в токамаке в рамках классической модели парных столкновений почти точно описывается классическим же коэффициентом переноса с заменой V_T на V_p . Этот перенос, получивший название неоклассического, дал физике токамаков мощный поступательный импульс. Одним из его следствий стало, в частности, естественное объяснение скейлинга $a^2 V_p$. Позднее все теоретики, участвовавшие в создании неоклассики, получили Ленинскую премию.

Суммируя вкратце отношение Арцимовича к теории, можно было бы констатировать, что при всем своем резко критическом складе ума он по существу был человеком, глубоко верившим в то, что за видимым хаосом фактов скрыта единая, предельно простая физическая сущность, а потому различным возможным объяснениям предпочитал простейшее. Между ка-



С А.М.Прохоровым.

залось бы разрозненными фактами он всегда пытался искать связи — «не бывает, чтобы на одном месте оказалось две физики!». Конкретным проявлением этой веры было состояние непрерывного мыслительного поиска — черта, неотделимая от образа Арцимовича.

Трудно сказать, была ли система Арцимовича его личным открытием или аналогом чьей-то (например, Черчилля, которого он весьма почитал). Во всяком случае, Лев Андреевич твердо полагал, что она умрет вместе с ним и тогда «все развалится». В последнее не верилось. Пути улучшения организационной системы ОПИ представлялись очевидными.

Но вот Арцимович умер, и вместо «просвещенной монархии» (выражение А.П.Александрова) настала демократия, за которую некоторые (автор в их числе) ратовали. Через несколько лет от одного из нас я услышал мрачноватое признание: «Лев стоял как скала. Теперь мутный поток всех подхватил и понес».

Сегодня уже 36 лет как Льва Андреевича нет с нами. Оглядываясь на эти годы «с высоты прожитых лет», мы по общече-

ловеческой традиции пытаемся отыскать в них некий внутренний смысл или, по крайней мере, приписать им таковой.

Пожалуй, первым значительным событием этого отрезка жизни стал для всех нас стремительный прогресс токамаков, случившийся в последнюю четверть XX в. На графике (рис.3), приведенном из отчета Принстонской лаборатории физики плазмы, этот прогресс материализован в виде экспоненциально нарастающей мощности реакции синтеза, достигнутой на различных наших и зарубежных установках, в период с 1975 по 1995 г. Начиная с микроватт, с первых робких нейтронов на T-3A в 1968 г., в природе которых некоторые еще сомневались, до уверенных милливатт на T-4 (1971), после которых температуру плазмы уже не стеснялись измерять «по нейтронам» и, наконец, до 16 МВт на JET (Евросоюз) в 1997 г., т.е. до уровня первых атомных электростанций — таким оказался путь токамаков. Четверть века — миг в астрономическом масштабе, черточка на шкале времени. Подозреваю, будущая история когда-нибудь небрежно зафиксирует, что во второй

половине XX века на Земле была осуществлена физическая управляемая термоядерная реакция синтеза, имея в виду эту начатую у нас экспоненту. Наиболее важным для нас обстоятельством оказалось то, что этот процесс втянул в термоядерные исследования тысячи людей в разных частях Земного шара. Общаясь с ними, я не раз с изумлением обнаруживал, что, будучи бесконечно далекими от нас и в пространстве и во времени, многие из них ощущают Арцимовича своим учителем — они читали его книгу «Управляемые термоядерные реакции» [6]. Традиционные конференции МАГАТЭ по ядерному синтезу многие годы открывались мемориальной лекцией памяти Арцимовича.

Пущенная тогда лавина далеко обогнала нас. Ключевая роль в ее пуске принадлежала Льву Андреевичу Арцимовичу. Что было бы, не будь его? Рано или поздно «процесс пошел бы». Вероятнее всего, лет на 5–10 позднее, начавшись где-нибудь

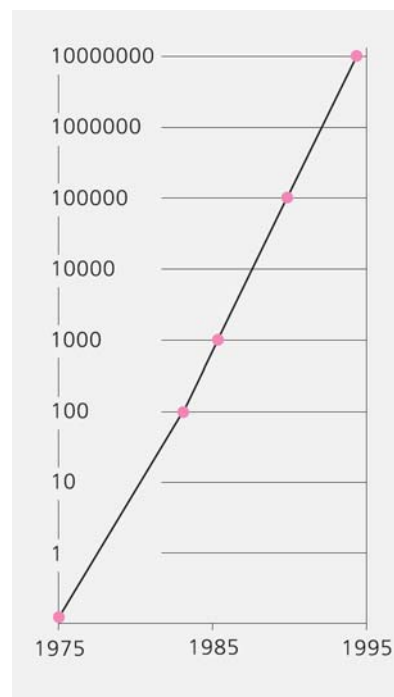


Рис.3. Динамика роста нейтронного выхода на токамаках (в ваттах) в 1975—1995 гг.

в Европе или Японии. Удивительно, но факт лидерства Арцимовича признается практически всеми. Несомненно, он был очень убедителен. «Под него» давали деньги и у нас, и еще более за рубежом. Секрет его убедительности был не только в ораторских приемах. Он был глубоко убежденным человеком. Существовал круг вопросов, где поколебать его было крайне трудно. Но возможно, с тяжелыми потерями с обеих сторон. В особых случаях дело приходилось улаживать письмами. С другой стороны, он явно чурался экстремизма. Это порой раздражало энтузиастов (автора в их числе), но изливалось балластом на душу дающих деньги. И они давали.

Всякий юбилей поднимает еще и традиционно жгучий вопрос: как бы развивалась отечественная термоядерная программа, оставайся Арцимович и дальше у ее руля? Классики учат, что сослагательных наклонений в истории не бывает, но, тем не менее, точно известно: отдел Арцимовича ОПИ (теперь Институт ядерного синтеза) не рухнул бы в пучину освоения технической сверхпроводимости. Вероятнее всего, развивались бы так называемые «перстенки» — предложенные им и Шафрановым в начале 70-х магнитные конфигурации, удлиненные по вертикали. Именно это направление, подхваченное за рубежом, привело к идее магнитного дивертора и в итоге — к ИТЭР. Некоторые помнят, что за месяц до смерти Арцимович закрыл в ОПИ работы по сверхпроводящему токамаку Т-7, предполагая их передачу Головину на ОГРУ (отдел Головина в ИАЭ им.И.В.Курчатова), либо в Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им.Д.В.Ефремова, где к ним имели определенный вкус и уже был накоплен некоторый практический опыт. Отдел Арцимовича должен был оставаться плазменным и физическим. Как подтвердил опыт

больших зарубежных токамаков (рис.3), для физики плазмы оказалось вполне достаточно теплых (т.е. обычных медных) обмоток. На них и была «сделана» физика ИТЭР, ставшая обоснованием проекта.

Но после смерти Арцимовича власть в ОПИ, хотя теоретически и перешла в руки академика Кадомцева, фактически же оказалась в руках серьезных людей, обеспечивавших при Льве Андреевиче то, что называется «научным бытом», которым Арцимович уравнивал и которым технические усовершенствования вроде сверхпроводимости были милей и понятней плазменных умствований вроде диверторов. Дело пахло промышленным внедрением сверхпроводимости в народное хозяйство! Эти идеи были поняты сверху, и в ОПИ сначала было возобновлено сооружение небольшого ниобий-титанового Т-7 (потом его удалось удачно «внедрить» в Китай), а затем создан блестящий образец ниобий-оловянного творчества — большой Т-15, делающий несомненную честь его творцам — технологам и инженерам. Можно полагать, что им действительно удалось внести серьезный вклад в освоение отечественной сверхпроводимости.

Оставшиеся в ИЯС физики-плазменщики делают сегодня кое-какие работы, полезные для ИТЭР, на музейном Т-10 (1975 г.р.) — последнем токамаке, спроектированном еще при Арцимовиче. И мечтают в следующем десятилетии при наличии средств вписать в бездействующий Т-15 диверторную обмотку, которая позволила бы им получить удлиненную магнитную конфигурацию, подобную итэровской, и снова быть достойно представленными в рядах итэровского содружества. Как и предполагал Арцимович, путь до реактора оказался длиннее, чем представлялось энтузиастам сверхпроводимости в начале семидесятых. Однако не все

так печально. Существует мировая наука, там другие мерки.

Второе значащее событие, случившееся за эти годы, не менее важно, чем первое.

Если вернуться к вышеприведенному графику рис.3, можно было предположить, что токамак — реактор с мощностью энерговыделения 200—300 МВт — должен был бы явиться сам собой где-то в 2005—2010 гг. К сожалению, само собой не получилось. Подъем совпал с энергетическим кризисом. Кризис прошел, наступило насыщение. График объективно отражает уровень вклада средств в мировые термоядерные исследования. Как тут не вспомнить слова Арцимовича: «Она (эта задача) обязательно будет решена, когда термоядерная энергия будет совершенно необходима человечеству».

Но вот возник новый энергетический кризис и с ним новая вспышка интереса к термоядерной энергетике. 21 ноября 2006 г. в термоядерных исследованиях произошло историческое событие: на встрече в Париже министров семи стран — участников международного проекта Интернационального Термоядерного Экспериментального Реактора — ИТЭР (Европа, Индия, Китай, Россия, США, Южная Корея, Япония) — было подписано соглашение о начале финансирования совместного строительства этого реактора в ближайшее десятилетие во Франции, в Кадараше. Процесс создания международной кооперации, начатый по инициативе нашей страны в 1985 г., завершился в 2006 г. В ее рамках приступили к сооружению реактора.

ИТЭР — следующий шаг на графике рис.3 — токамак с квазистационарной (400 с) DT-реакцией синтеза мощностью 500 МВт. Его предполагаемый вид представлен на рис.4, в кружке рядом фигурка человека (ср. с фотографией на с.5, где люди примерно такого же раз-

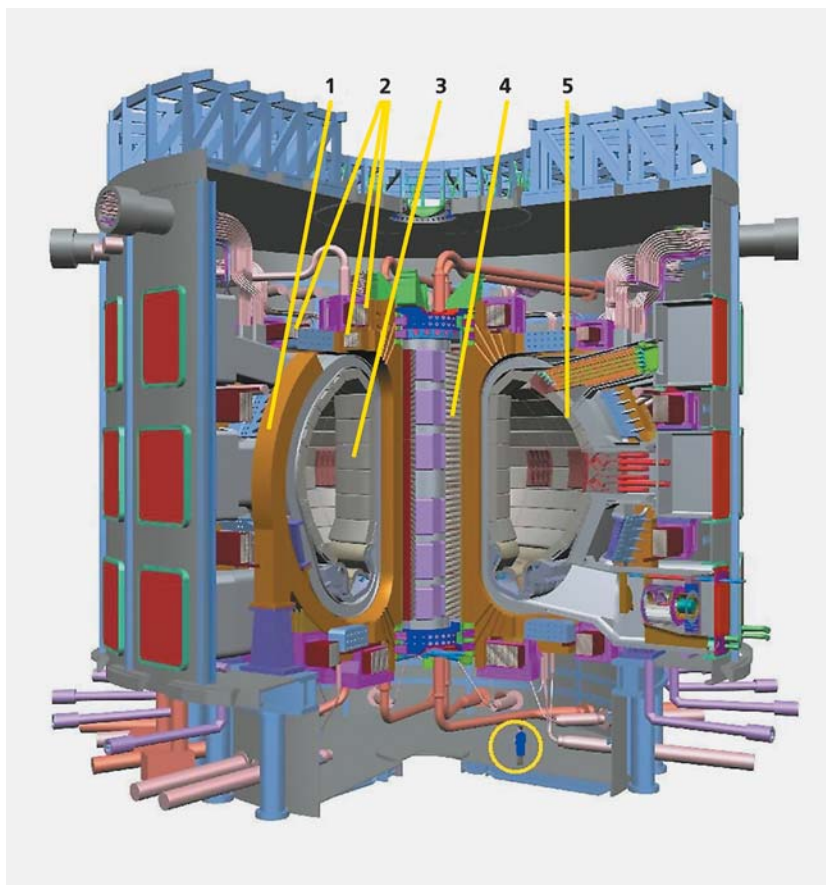


Рис.4. Проект ИТЭР (в разрезе). 1 — сверхпроводящие катушки, создающие тороидальное магнитное поле; 2 — сверхпроводящие обмотки, создающие полоидальное магнитное поле; 3 — плазменная камера; 4 — первичная обмотка трансформатора; 5 — бланкетные модули.

мера сняты на фоне токамака Т-4, самого большого тогда в мире). ИТЭР по оценкам будет стоить масштаба 10 млрд долл., которые некоторым образом делаются между странами-учредителями. Наша доля — 50 млн долл. в год, большая часть из которых должна быть истрачена в России (в том числе на сверхпроводники!).

Задачами ИТЭР должно стать изучение особенностей квазистационарного DT-горения, испытание основных функциональных узлов энергетического реактора, в том числе различных вариантов бланкетных модулей для воспроизводства трития. Он — последняя ступень перед созданием демонстрационного промышленного реактора ДЕМО.

На чем основана наша уверенность, что запланированные параметры будут достигнуты?

Плотность плазмы в ИТЭР должна составить 10^{20} м^{-3} , что для токамаков не является рекордом (рекорд 10^{21} м^{-3}). Рекордным должно стать энергетическое время жизни — $\tau_E \sim 3\text{--}5$ с вместо 1 с сегодня. Параметрический анализ баз данных, полученных на разных токамаках с магнитной геометрией, подобной ИТЭР, позволил вывести «скейлинг ИТЭР» для τ_E .

$$\tau_{E,98} = 0.0365 I_p^{0.97} B_T^{0.08} P_H^{-0.63} n^{0.41} \times M^{0.20} R^{1.93} (a/R)^{0.23} k^{0.67} \text{ с,}$$

где $2a$ — поперечный размер, R (м) — большой радиус тора, I_p (МА) — ток, текущий по плазме, n (10^{19} м^{-3}) — плотность, B_T (Т) — тороидальное магнитное поле,

P_H (МВт) — мощность нагрева, M — масса ионов в протонных единицах и k — удлинение плазменного шнура по вертикали.

Если сюда подставить параметры ИТЭР, получается около 4 с. Условие горения DT-смеси выполняется с двойным запасом. Масштаб отклонения разных токамаков с магнитной геометрией ИТЭР от этого закона можно оценить, взглянув на рис.5. Он невелик. Ничуть не иронизируя, можно сказать, что этот «правильный» скейлинг для τ_E стоил человечеству около 10 млрд долл.

Округляя сложные компьютерные степени и пренебрегая степенями, меньшими 0.2, можно записать его в упрощенном и более понятном виде:

$$\tau_{E,98} \sim I_p^{0.4} R^{1.7} a^{0.2} P_H^{-0.6} k^{0.7}.$$

Удивительно, но он оказался очень похож на закон подобия, представленный нами в далеком 1968 г. на Новосибирскую конференцию (P_H мало менялось на Т-3):

$\tau_{E,68} \sim B_p a^2 n^{1/3}$ или $\sim I_p n^{0.33} a$, так как магнитное поле тока $B_p \sim I_p/a$.

Подставив в это выражение сегодняшние параметры ИТЭР, тогдашний физик — (абсолютные значения τ_E составляли тогда 1—6 мс!) получил бы значение 12 с, всего лишь в три раза выше, чем аналогичный физик 30 годами позже. Экстраполяция 1968 г. представлена верхним лучом на рис.5. Таким образом, можно констатировать, что даже при экстраполяции по τ_E в 1000 раз токамак как физический объект демонстрирует окружающим удивительно стабильное подобие. Напрашивается аналогия с собаками: большие-маленькие, а все собаки. Экстраполяция от уровня сегодняшних токамаков до ИТЭР предполагает увеличение τ_E только в четыре раза, а потому кажется вполне надежной.

Какие проблемы могут встретиться на пути реализации ИТЭР и ДЕМО? Кажется, что прежде всего это будут проблемы первой стенки, контак-

тирующей с плазмой реактора, и примесей. Эффективным оружием в борьбе с ними оказалось снижение ядерного заряда (Z) конструкционных материалов первой стенки. Замечу, что идея использовать для этого графит впервые принадлежала Арцимовичу. Первая диафрагма из графита с примесью бора (для подавления химического распыления) была успешно испытана нами на Т-4, правда, уже после смерти Арцимовича. Сегодня первую стенку крупных токамаков выкладывают графитовыми плитками. Для подавления химического распыления их покрывают с помощью газового разряда боросодержащими пленками. Исключение составляет JET, где графит ($Z = 6$) частично заменен на бериллий ($Z = 4$).

Недавно в записной книжке времен Т-4 я обнаружил свою возмущенную запись с какой-то оперативки: «Арцимович предлагает в качестве материала диафрагмы окись бериллия!!!». Материал, как известно, ядовитый. Это — начало семидесятых. В сегодняшнем ИТЭР принята графит-бериллиевая технология. К сожалению, захват трития углеродной пылью не позволит применить эту технику для ДЕМО. Обсуждается переход на чисто вольфрамовую стенку. Альтернативой вольфраму мог бы стать жидкий литий. Прогрев до 500°C освобождает его от захваченного трития. Первые опыты с инжекцией крупинки лития ($Z = 3$) в американский токамак-реактор TFTR (1995) оказались очень успешны. Но неминуемое в стационаре накопление лития и затем его разбрызгивание, казалось

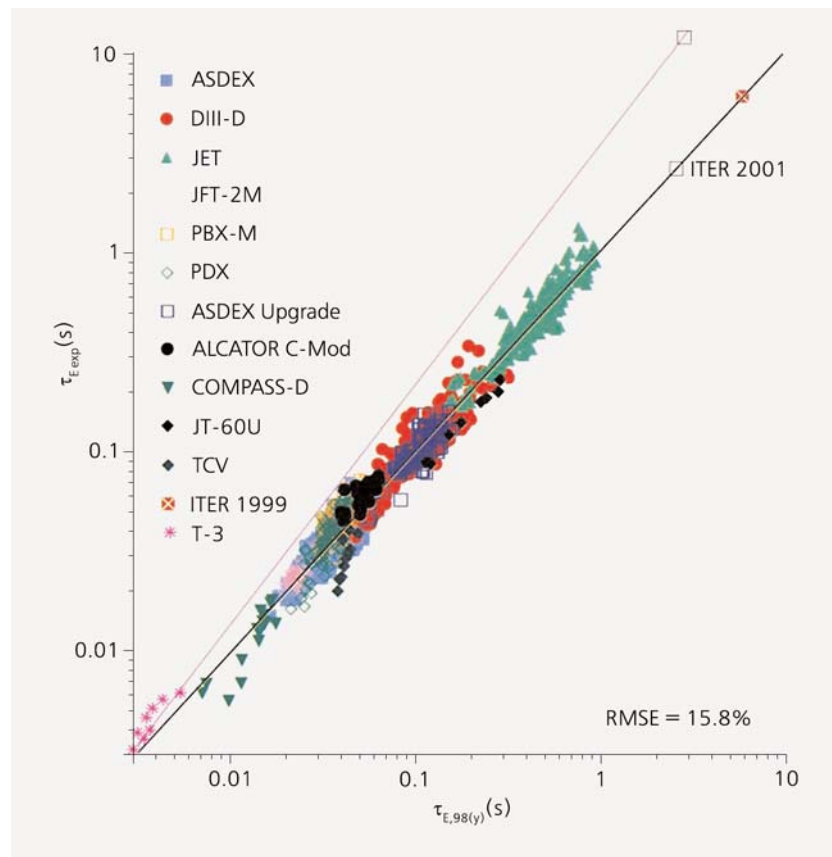


Рис.5. Экспериментально найденные значения τ_E и экстраполяции $\tau_{E,98}$ и $\tau_{E,68}$.

бы, лишают это направление каких-либо перспектив. На помощь токамачникам пришли наши космические инженеры, предложившие (1996) использовать не свободный жидкий литий, а заполненный литием капиллярный материал, например из того же вольфрама по аналогии с фитилем свечи («горит, но не сгорает»). Опыты, начатые на небольшом российском токамаке Т-11М (ТРИНИТИ, 1998), продемонстрировали исключительную эффективность такого использования лития. Сегодня литиевая техноло-

гия уверенно распространяется по свету. Уже 5 токамаков (три за рубежом и два у нас) успешно работают с литием. Многие полагают, что литиевый подход сулит большие перспективы. Думаю, что такое решение было бы вполне в «стиле Арцимовича». Странно, но каким-то «духовным» образом он продолжает оставаться рядом.

Говорят, Бор долгое время после смерти Эйнштейна продолжал вслух рассуждать с ним и спорить, как с живым. Очевидно, это и есть то самое, реальное бессмертие ученого. ■

Литература

1. Мирнов С.В. Токамаки: триумф или поражение? // Природа. 1999. №11. С.10—22; №12. С.26—37.
2. Голубчиков Л.Г. ИТЭР — решающий шаг. М., 2004.
3. Мирнов С.В., Разумова К.А. Академик Л.А.Арцимович — каким мы его помним // Природа. 1975. №2. С.34—44.
4. Арцимович Л.А. // Письма в ЖЭТФ. 1970. Т.11 С.449.
5. Арцимович Л.А. Что каждый физик должен знать о плазме. М., 1976.
6. Арцимович Л.А. Управляемые термоядерные реакции. М., 1961.

Как построили Большой телескоп

В.А.Минин,

доктор физико-математических наук
Российский фонд фундаментальных исследований

Ю.Н.Ефремов,

доктор физико-математических наук
Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга МГУ им.М.В.Ломоносова
Член-корреспондент РАН Ю.Ю.Балега

Специальная астрофизическая обсерватория РАН

Лев Андреевич Арцимович возглавлял физику нашей страны в течение славных 17 лет — с 1957 г., когда Отделение общей и технической физики выделилось из состава бывшего Отделения физико-математических наук АН СССР. В 1973 г., когда Лев Андреевич ушел из жизни, оно именовалось уже «Отделение общей физики и астрономии». То, что в названии Отделения было введено слово «астрономия» — заслуга в первую очередь Льва Андреевича. Ведь именно он был тем из руководителей Академии, который осознал особую перспективность новой астрономической науки. Еще в 1964 г., выступая на заседании Президиума АН СССР, он говорил о том, что наши потомки будут удивляться странной пропорции, в которой мы разделили усилия, направленные на исследования огромного звездного мира и искусственного мира элементарных взаимодействий. Широта кругозора позволила ему подняться над интересами своей собственной научной специальности, что встречается не так уж часто.

Последняя его статья так и называлась: «Будущее принадлежит астрофизике» (Природа. 1972. №9. С.2—4). В ней научная точность формулировок удивительно сочетается с образнос-

тью, высокой увлеченностью и романтическим настроением. Вот цитаты: «Вселенная купается в холодных волнах реликтового излучения», «Взбитая пена галактик»... Право же, сразу и не поймешь, что это — статья физика Льва Арцимовича или романтические строки поэта Максимилиана Волошина. Но в той же статье было и четкое научное предсказание: «Началась новая эра в развитии науки, в которой астрофизике будет принадлежать ключевое положение». Приход этой эры стал очевиден несколько позже — в конце XX в., когда физики активно включились в разработку астрономических проблем, а затраты на телескопы приблизились к затратам на сверхускорители. Лев Андреевич еще полвека назад предвидел это и на своем посту делал все, чтобы наша астрономия вышла на передовую мировую уровень. Прежде всего это было создание под его верховным руководством Специальной астрофизической обсерватории с крупнейшим тогда в мире 6-метровым телескопом БТА (Большой телескоп азимутальный).

До 1991 г. этот телескоп оставался величайшим на планете; его зеркало диаметром в 6 м собирает почти в полтора раза больше света, чем предыдущий чемпион — 5-метровый рефлектор на Голубиной горе (Маунт Паломар) в Калифорнии, который вступил в строй в 1949 г.



Л.А.Арцимович — автор журнала «Природа» в 60—70-х годах.

Создание БТА было подвигом отечественной промышленности и науки, интегральным доказательством их всеобъемлющей дееспособности, как и успехи в космосе. Конструкции телескопа весом в сотни тонн должны были соответствовать чертежам с точностью до сотых долей миллиметра, а геометрия поверхности зеркала отвечать расчетной с точностью до десяти тысячной доли миллиметра (порядка четверти длины световой волны). Все проблемы были преодолены, и огромный прибор — первый в мире крупный оптический телескоп на азимутальной монтировке* — успеш-

но заработал. Оптическая схема телескопа была традиционной, но его алыт-азимутальная монтировка опередила эпоху на 20 лет.

Постановление «О строительстве Специальной астрофизической обсерватории и сооружении для нее Большого оптического телескопа с диаметром главного зеркала в 6 метров» Совет Министров СССР принял 25 марта 1960 г. Головным заводом было определено Ленинградское оптико-механическое объединение (ЛОМО) им.В.И.Ленина. Предварительная стоимость телескопа была оценена в 25,8 млн руб. (к концу строительства она составила более 30 млн руб.); его главным конструктором был назначен Б.К.Иоаннисиани.

16 декабря того же 1960 г. Президиум АН СССР постановил, что Главная астрономическая обсерватория (ГАО) АН СССР должна продолжить обследовать окрестности г. Кисловодска и станции Зеленчукской и представить сведения об окончательно выбранном месте к 1 октября 1961 г. Поиски места с хорошим астроклиматом начались еще в 1959 г.; 16 экспедиций работали в Восточной Сибири, Средней Азии, на Кавказе и в Крыму. К 1961 г. в качестве места строительства рассматривался лишь район станции Зеленчукская (Карачаево-Черкесия).

Уже тогда в нашей стране были специалисты, которые понимали, что лучшие в СССР по качеству изображений и количеству ясных ночей места находятся в горах Таджикистана и Узбекистана. Но сейчас эти территории относятся к другим государствам, и все находящиеся на них объекты, принадлежавшие к общесоюзным минис-

* Предшествующие крупные телескопы следили за движением звезд, вращаясь вокруг одной оси, параллельной оси вращения Земли. У БТА вращение осуществлялось вокруг двух осей — вертикальной и горизонтальной. Это заметно снизило вес телескопа, но сделало необходимым электронное управление его движением.

терствам и ведомствам, перешли в собственность этих государств. Например, построенный в ЛОМО для Государственного астрономического института им.П.К.Штернберга МГУ прекрасный 1,5-метровый телескоп отошел к Узбекистану. Такая же судьба могла постигнуть и БТА, будь он установлен в Средней Азии. Имеются недокументированные сведения, что Председатель Совета Министров СССР А.Н.Косыгин настаивал на том, чтобы БТА строился на территории РСФСР. Что это было — экономические соображения или политическое предвидение?..

Срок ввода БТА в эксплуатацию был назначен на июль 1969 г.; к 1967 г. телескоп был изготовлен в ЛОМО, и в июле 1968 г. его конструкции были транспортированы к месту установки, но только в сентябре 1969 г. начался их монтаж в башне. Ее строительство должно было по плану окончиться в декабре 1967 г., однако она была сдана в эксплуатацию лишь 27 января 1972 г. Тем не менее телескоп был смонтирован в башне к декабрю 1970 г. Зеркала пришлось ждать еще долгие четыре года.

Л.А.Арцимович пристально следил за ходом строительства; именно он принимал окончательное решение, будучи «последней инстанцией». Он добивался максимального ускорения строительства — и оно началось на Северном Кавказе на склоне горы Пастухова (между станцией Зеленчукская и пос. Архыз) летом 1965 г.; башня БТА была заложена 18 марта 1966 г. Процесс стал необратимым. Лев Андреевич неустанно стимулировал работу и неоднократно посещал впечатляющую стройку. Он сравнивал возводимую башню и хаос огромных стальных конструкций рядом с ней с «гибридом Колизея и железнодорожной катастрофы».

В течение ряда лет на строительство башни, дороги к ней и самого БТА уходило около четверти немалых тогда расхо-

дов АН СССР. Здороваясь с астрономами, президент АН СССР М.В.Келдыш приговаривал: «дорогие вы мои, дорогие!..».

Ныне построено много телескопов, превосходящих БТА по самому важному параметру — диаметру главного зеркала, но по его фокусному расстоянию (24 м) и, следовательно, по диаметру башни (45 м) его уже никто не превзойдет. Это диктовалось выбором светосилы (отношение диаметра к фокусному расстоянию) 1:4. Чем больше светосила, тем труднее добиться правильной фигуры зеркала; все помнили проблемы, возникшие в США при изготовлении 5-метрового зеркала со светосилой 1:3,3.

Другой гигантский инструмент САО — радиотелескоп РАТАН-600 с кольцевой антенной переменного профиля диаметром 600 м — был сооружен вблизи станции Зеленчукская в соответствии с распоряжением Президиума АН СССР №53-1366 от 3 июля 1965 г. Первая очередь антенны (северный сектор) была введена в строй в 1974 г. Антенна состоит из 900 щитов высотой 8—10 м. Для различных режимов наблюдений в разных секторах антенны используются облучатели, которые передвигаются внутри кольца радиотелескопа по рельсам — как небольшие поезда.

Огромное зеркало БТА было нелегко изготовить. Оно отличалось из подмосковных кварцевых песков в Лыткарине. Подготовка заняла три года, затем была изготовлена первая пробная отливка, которую охлаждали с максимальной допустимой скоростью в соответствии с технологией — девять месяцев. Она вышла из отжига расколовшейся пополам. Вторую заготовку охлаждали уже два года. Вес ее составлял 65 т, для превращения ее поверхности в сферическую (радиус сферы 48 м) было удалено 23 т стекла (пирекса) и израсходовано 12 тыс. карат алмаза; на эту грубую обработку ушло почти полтора года.



Стройплощадка БТА. Июль 1966 г.



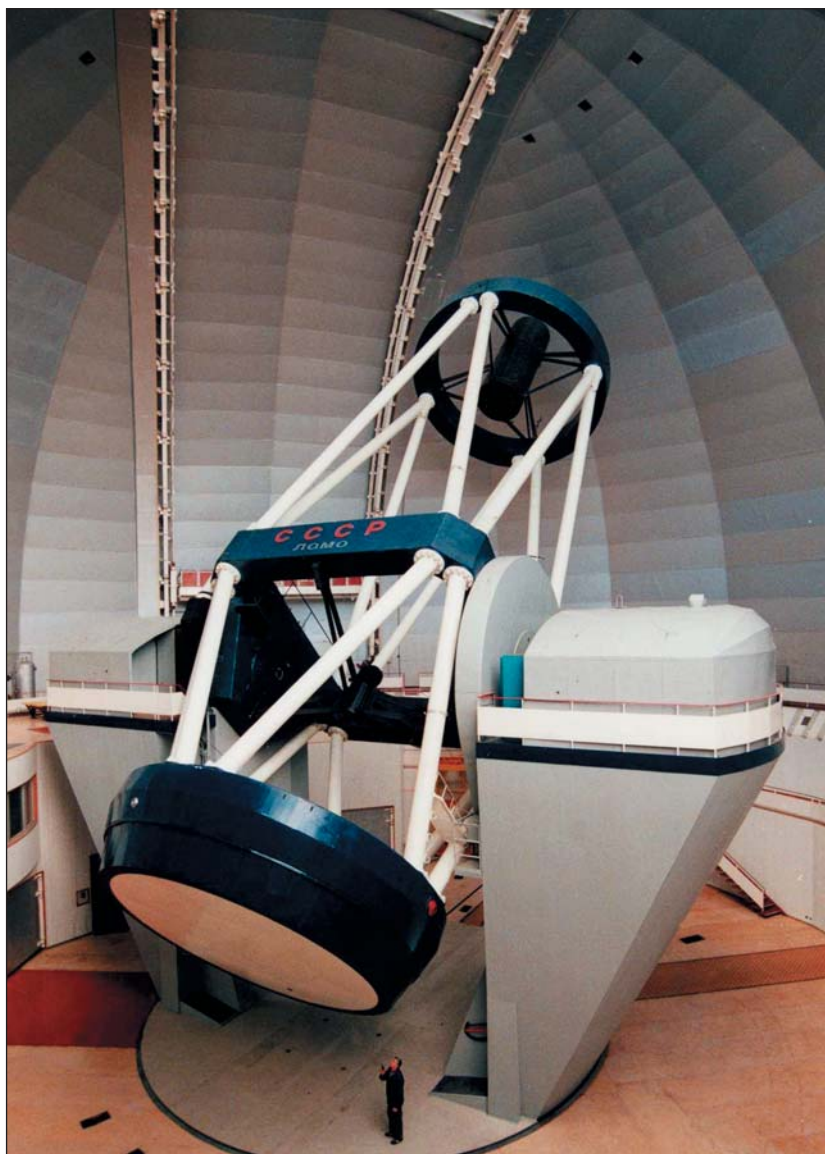
Инспекция завершена. Перед отлетом. Июль 1966 г.



Л.А.Арцимович и М.В.Келдыш прилетели в ст.Зеленчукскую. Июнь 1969 г.



На стройплощадке РАТАН-600 с Ю.Н.Парийским и В.А.Мининым. Июнь 1969 г.



Большой телескоп азимутальный.

4 сентября 1968 г. заготовка была принята специальной комиссией. Вскоре началась ее шлифовка и полировка; по технологическому графику на этот процесс требовалось 27 месяцев. Установка для алюминирования монтировалась в куполе башни БТА. Но дела в Лыткарино шли не очень хорошо; лишь к 1974 г. был получен относительно приемлемый результат — 98% падающего на зеркало света концентрировалось в кружке с диаметром в 2". Сотрудники обсерватории активно участвовали в многократно проводив-

шихся определениях качества полируемого зеркала.

В августе 1974 г. зеркало было доставлено в САО, в сентябре 1975 г. оно было алюминировано, 4 декабря 1975 г. — установлено на телескопе, и в конце 1975 г. были получены первые снимки неба. В 1979 г. главное зеркало было заменено на новое, 90% света оно концентрирует в кружке диаметром 0.8". Это меньше, чем обычные видимые угловые размеры звезд над башней БТА, на которые влияет турбулентность атмосферы. Старое зеркало, главным дефек-

том которого было наличие двух плохих участков, долго лежало рядом с башней, а в 2007 г. вывезено обратно в Лыткарино для перешлифовки. Мечты о новом зеркале из ситалла остались неосуществленными. Однако еще 10 лет БТА оставался крупнейшим в мире телескопом. Для всех последующих (более крупных) телескопов в разных странах использована альт-азимутальная монтировка, примененная впервые именно в БТА.

Бытовавшее на Западе мнение о неудачности нашего телескопа стало следствием его относительно малой продуктивности в первые годы работы. Она объяснялась в основном двумя обстоятельствами — отсутствием в то время в нашей стране современных светоприемников и неважным астроклиматом в месте установки: количество ясных ночей и качество изображений оставляли желать лучшего. Однако ныне на телескопе имеются разработанные сотрудниками САО прекрасные спектральные приборы, для которых качество изображений не критично, и лишь с появлением этих приборов и современных светоприемников Обсерватория нашла свою экологическую нишу (изучение кинематики, физики и химического состава звезд и галактик), в которой возможности БТА используются оптимальным образом.

Расположение жилья и лабораторий в станице, а затем в ущелье реки Б.Зеленчук, вдали от цивилизации, создавало немалые трудности, особенно в первые годы. Но, с другой стороны, то, что большой коллектив находился рядом с инструментами, сыграло, на наш взгляд, важнейшую роль при формировании обсерватории, а в дальнейшем — и для ее сохранения и развития. Нетрудно представить, какой была бы судьба БТА и РАТАН-600 в кризисные 90-е годы, если бы рядом с телескопом не жили и не трудились сотни научных работников, инженеров, техников

и рабочих САО. И кто знает, не окажется ли лет через 5—10 жизнь в таких полностью обеспеченных поселках посреди нетронутой природы более престижной и привлекательной, чем в перенаселенных мегаполисах. В самой обсерватории выросло уже два поколения астрономов-энтузиастов.

Удаленность САО от других научных центров стимулировала активные работы Обсерватории в области телекоммуникаций, цифровых сетей и Интернета. Обсерватория одной из первых в стране обеспечила себе выход в мировые сети через спутниковые каналы, организовала внутреннюю сеть, проложила волоконные линии связи на десятки километров для подключения телескопов. В ближайшие годы процедуры наблюдений на телескопах будут автоматизированы полностью, но значительная часть этих наблюдений уже сейчас проводится дистанционно — из обычных кабинетов и лабораторий, расположенных на нижней научной площадке, находящейся на удалении в 20 км и на 1000 м ниже БТА.

Доктор физико-математических наук И.М.Копылов (1928—2000), назначенный директором САО в ноябре 1965 г., сделал все от него зависящее, чтобы 6-метровый телескоп работал хорошо, чтобы обсерватория стала астрофизическим центром СССР, чтобы собрать коллектив астрономов-энтузиастов. Он отдавал этому все свои силы, жертвовав собой как исследователь, и добился успеха. Обсерватория, вооруженная гигантским телескопом, успешно работает, ее руководство и коллектив преодолели внешние и внутренние проблемы, в том числе — и особенно трудный период 90-х годов. В 1985 г. Копылов передал пост директора доктору физико-математических наук В.Л.Афанасьеву. Ныне САО возглавляет член-корреспондент РАН Ю.Ю.Балега.

Обсерватория функционирует как образцовый центр



Башня БТА.

коллективного пользования. Каждый час наблюдательного времени двух гигантских инструментов — БТА и РАТАН-600 — распределяется специальным программным комитетом строго на основании детального анализа и сопоставления заявок российских и зарубежных астрономов из различных обсерваторий.

Ныне в САО есть и хорошие системы высокого класса на основе приборов с зарядовой связью, и первоклассные хитроумные приборы, созданные в самой обсерватории и не уступа-

ющие по характеристикам мировому уровню, вроде, например, мультиспектрографа, позволяющего вести одновременное наблюдение и всестороннее изучение сотен объектов в поле 15×16 угловых секунд. Детальная спектроскопия и магнитометрия необычных звезд, исследования активных ядер галактик, поля скоростей в них и в целых галактиках, изучение их распределения в галактиках, исследования карликовых галактик и ряд других задач, с успехом решаемых на БТА, относятся к самым актуальным



Кратер на Луне, названный в честь Арцимовича.

в современной астрофизике. За истекшие годы коллектив САО преодолел (или научился обходить) проблемы, связанные с посредственным астроклиматом, так что телескоп, занимающий ныне лишь скромное 17-е место в мире по диаметру зеркала, успешно конкурирует со своими сверхгигантскими собратьями. По цитируемости коллективу сотрудников САО РАН принадлежит ныне первое место среди российских астрономических учреждений. Это единственная наша обсерватория, имеющая возможность —

наперекор всему — работать на мировом уровне. И огромная заслуга в этом принадлежит Льву Андреевичу Арцимовичу. Гигантская башня БТА возвышается над ущельем Зеленчука как лучший памятник великому физики, вошедший в ряд наиболее выдающихся сооружений: по игре случая диаметр купола БТА примерно равен диаметру двух других величайших куполов — Пантеона (I в. н.э.) и собора Святого Петра в Риме (XVI в.). Есть и другой замечательный памятник Льву Андреевичу: именем Арцимовича назван маленький

(8 км), но глубокий кратер на видимой стороне и в самом красивом месте Луны — в Море дождей. Координаты кратера: широта 27.6N, долгота —36.6W. Название утверждено Международным астрономическим союзом (IAU) в 1973 г.

Наблюдения на больших телескопах на рубеже XX и XXI вв. привели к потрясающему выводу о том, что человечество до сих пор пребывает в глубоком неведении об окружающем нас мире — лишь 4% вещества (плотности энергии) Вселенной дано нам в барионах, а остальное ее содержимое открывается лишь косвенным образом — только в астрономических наблюдениях. Около 21% составляет «темная холодная материя» неизвестной природы, обнаруживаемая лишь по ее гравитации, и около 75% — «темная энергия», соответствующая скорее всего космологическому (физическому) вакууму. Астрономические результаты инициировали революцию в науке, сравнимую с появлением теории относительности и квантовой механики. Многие выдающиеся физики обратились к астрономической тематике. Самые яркие примеры — это академики Я.Б.Зельдович и А.Д.Сахаров.

«Принадлежащее астрофизике будущее» пришло. Предвидение Льва Андреевича Арцимовича было пророческим. ■

Род Арцимовичей

Н.Н.Взоров

Московский инженерно-физический институт

Масштаб личности моего дяди Льва Андреевича Арцимовича сыграл решающую роль в появлении интереса к истории семьи. Еще в довоенном детстве я рассматривал фотографии предков в черных тяжелых альбомах с позолоченными замками. Сначала появилось желание систематизировать родственные связи и нарисовать родословное древо. Позже, после ухода из жизни старшего поколения, я даже проводил небольшое историческое исследование. А в настоящее время важным долгом представляется необходимость передать в будущее некоторые факты семейной хроники, которыми, по видимому, располагаю только я.

Среди фотографий в альбоме бережно сохранялись две открытки. Они были отправлены в Москву из Ленинграда отцом Льва Андреевича Андреем Михайловичем в 1931 г. своей сестре — моей бабушке Нине Михайловне Катерли (Арцимович). В открытке от 9 октября 1931 г. Андрей Михайлович спрашивает о возможности остановиться у сестры по приезду в Москву. Содержание другой, от 13 октября 1931 г., с изображением Трубецкого бастиона Петропавловской крепости, также для посторонних глаз незначительно. Но адрес имеет смысл привести полностью.

«Москва 10. Ярославский вокзал. Служебный жилой дом №44. Нине Михайловне Катерли».

Обозначение «служебный жилой дом» относилось к котте-

джу, расположенному вблизи вокзала между Ярославской и Николаевской железными дорогами. Дом представлял собой типичную постройку, отражающую дух эпохи железнодорожного бума, эпохи магнатов фон Мекк. Сооружение с анфиладами просторных комнат, с широкими окнами и высокими потолками, со всеми коммунальными удобствами, хотя отапливался дом с помощью голландских изразцовых печей. У коттеджа была веранда с витражами, на заднем дворе находился погреб-ледник, а перед домом сад с клумбами, кустами сирени и дорожками из каменных плит.

Но этой идиллии уже не существовало к тому времени, когда в 1924 г. семья Катерли переехала в Москву из Иваново-Вознесенска и получила две комнаты в одной из трех коммунальных квартир, на которые советская власть разделила коттедж. В служебных железнодорожных жилых домах такого же типа Катерли приходилось жить и раньше. Но в тех случаях у них была либо отдельная квартира, как на станции Шарья, куда в начале XX в. молодой врач Иосиф Константинович Катерли с женой и дочерью прибыл после окончания Московского университета на строительство Вологдо-Вятского участка Транссиба, либо был свой дом, как в Иваново-Вознесенске, куда семья переехала в 1913 г., чтобы дать образование детям.

А в 1931 г., когда писались эти открытки, Катерли жили на два дома, поскольку дед вернулся на работу в Шарью, где начи-

нал свою карьеру как основоположник местной медицины и где завершал ее как главный хирург госпиталя много позже, в 1945-м. Теперь там есть улица имени доктора Катерли. В Москве же оставались бабушка, дядя Володя, моя мать Нина Иосифовна (Нуся) и мой отец Николай Михайлович Взоров. Все они упоминаются в открытке Андрея Михайловича, который обычно и останавливался у своей сестры, приезжая в Москву. В этом доме бывал и Лев Андреевич.

Трудно сомневаться в том, что Андрей Михайлович задумался о судьбе родителей, осматривая осенью 1931 г. казематы Петропавловской крепости. Не случайно Нина Михайловна бережно сохраняла эти две открытки.

Основатель рода Арцимовичей в России дед Льва Андреевича Михаил Иосифович (Jozef-ович) был сослан в Сибирь на поселение как участник польского восстания 1863 г., которое было жестоко подавлено М.Н.Муравьевым. В своих репрессиях против мятежников Муравьев прибегал к мере, которую сам называл «выходящую из обыкновенного разряда». К сожжению целых деревень и шляхетских околиц, к ссылке в Сибирь на поселение их жителей, всех до одного, с женами и детьми. И при этом совершалось множество казней.

Что касается бабушки Льва Андреевича, Елены Игнатьевны Яхимович, то внуки говорили о ней: наша бабушка была сибирячкой. Возможно, Елена Игнатьевна была дочерью поляков, сосланных в Сибирь после вос-



Михаил Иосифович Арцимович,
дед Льва Андреевича.

стания в Варшаве в 1830 г. От брака Михаила Иосифовича и Елены Игнатъевны родились три сына и две дочери: Иосиф, Нина (1878), Андрей (1880), Вячеслав и Евгения. Есть свидетельство, что семья Арцимовичей сначала должна была жить в Тобольске и лишь позднее смогла переехать в Смоленск и Москву. Нет никаких сведений, что Арцимовичи поддерживали какую-либо связь с родиной предков. Образ жизни в России стал естественным. Известно, что Елена Игнатъевна и Нина Михайловна были православного вероисповедания.

Казалось, в Польше у Михаила Арцимовича не осталось ни братьев, ни сестер. Это будто бы подтвердилось после поездки Льва Андреевича в Варшаву в 1972 г. Но некоторое время спустя в Москву пришло письмо от дальней родственницы. Это была пани Нина Каменска-Киевска. Через 110 лет после ссылки в Сибирь Михаила Иосифовича возродилась связь между семьей Арцимовичей и их польскими родственниками. Племянница пани Нины побывала в Москве. И выяснилось, что дед Льва Андреевича был единственным сыном Иосифа Арцимовича

(1814—1866) и Антонины Абрамович (ум. 1866). А у прадеда Иосифа Иосифовича была единственная родная сестра Юлия, от которой пошла женская ветвь рода Арцимовичей в Польше, к которой и принадлежала Нина Каменска-Киевска. Таким образом, в настоящее время сведения о генеалогическом древе начинаются со старейшины рода прапрадеда Льва Андреевича Иосифа, так как хранившиеся у Андрея Михайловича семейные архивы погибли в Минске во время войны, а в них могло быть больше информации.

Михаил Иосифович умер рано, в 90-х годах XIX в., в Москве. Со слов моей матери, он был управляющим фирмы «БАРИ». Уже после смерти отца его дочери закончили Институт благородных девиц в Москве. Старший сын Иосиф возглавлял компанию по водоснабжению — столь же модное направление отрасли коммунального хозяйства в начале XX в., как в наше время распространение мобильной связи. После смерти мужа Елена Игнатъевна жила в семье старшего сына, а затем после смерти Иосифа Михайловича в семье своей дочери Нины Михайловны Катерли в Иваново-Вознесенске. Поэтому многие фотографии родственников, относящиеся к дореволюционной эпохе, оказались в тех семейных альбомах, которые я рассматривал в детстве.

Младший брат Андрея Михайловича Вячеслав, окончив медицинский факультет и будучи военным врачом во время Первой мировой войны, умирает на фронте от сердечного приступа.

А раньше, 1 июля 1907 г., в записной книжке №1 Льва Николаевича Толстого появляется запись «Уехал Душан. Приехал Арцимович».

Врач семейства Л.Н.Толстого Душан Петрович Маковицкий в «Яснополянских Записках» пишет: «1 июля я уехал на родину из Ясной к отцу, родным, друзьям». Душан Петрович отправился на родину в Венгрию. Вячеслав Михайлович приехал к Тол-



Елена Игнатъевна Яхимович,
бабушка Льва Андреевича.

стым заменить Маковицкого на время его отсутствия.

Время с 1 июля по 1 августа 1907 г., проведенное нашим предком, родным братом отца Льва Андреевича, в Ясной Поляне, подвигнуло меня на историческое исследование. Несколько дней в библиотеке им. Ленина просматривал дневники, записные книжки Л.Н.Толстого, воспоминания Д.П.Маковицкого, дневники С.А.Толстой того периода, чтобы представить картину пребывания Вячеслава Михайловича у Толстых. На самом деле все началось с рассказа Толстого «За что?». В основе сюжета трагическая судьба семьи польского патриота времен восстания 30-х годов: ссылка на окраину России, попытка любящей жены-польки вывезти в ящике-гробу мужа из места ссылки, раскрытая казак-конвоиром, и новая ссылка на вечное поселение. Этот рассказ, изданный в виде отдельной книги, с дарственной надписью «Вячеславу Михайловичу Арцимовичу от Льва Николаевича Толстого» я увидел в доме у Галины Вячеславовны Альбовой (Арцимович) — дочери Вячеслава Михайловича. Очевидно, Толстой был не только знаком с доктором Арцимовичем, но имел

представление и о судьбе его родителей в России. Но это уже другой сюжет.

Ответ на естественный вопрос, как Вячеслав Михайлович выполнил свой врачебный долг в Ясной Поляне, кажется, был получен. Сначала записи настояраживали:

«3 июля. Заболел изжогой и животом.

4 июля. Нездоровится. Но потом ситуация стала улучшаться:

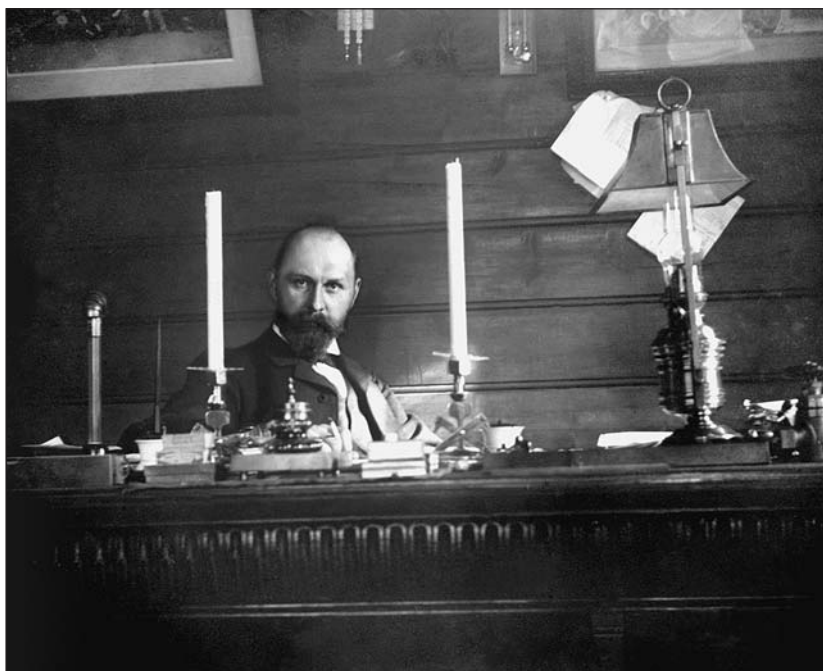
9 июля. Встал бодрее.

10 июля. Здоровье лучше».

И совсем ободряюще звучит запись Д.П.Маковицкого:

«2 августа. Вчера вернулся из дома в Ясную. Этот раз было видно, что были мне рады Лев Николаевич и Софья Андреевна, и Александра Львовна. Льва Николаевича застал здоровым, бодрым, веселым».

Произошло удивительное совпадение места (Ясная Поляна) и времени (лето 1907 г.) для событий, как относящихся к пребыванию Вячеслава Михайловича у Толстых, так и происходящих, возможно, с однофамильцами Арцимовичей, принадлежащими к другому роду. В дневниках Толстого часто упоминается тульский губернатор, сын русского государственного деятеля Виктора Антоновича Арцимовича, Михаил Арцимович. И это, в частности, связано с драматическими событиями, вызванными увлечением сына писателя Андрея Львовича женой тульского губернатора Екатериной Васильевной Арцимович (Горяиновой). Толстой крайне тяжело переживал это увлечение и затем вторую женитьбу своего сына. А Софья Андреевна в дневнике писала о Е.В.Толстой: «Ее не пойму: как можно быть счастливой, бросив прекрасного мужа и 6-х детей». Все дети от первого брака Е.В.Горяиновой остались с М.В.Арцимовичем. Среди этих детей была Екатерина Михайловна, в разговоре с дочерью которой, Марией Алексеевной, мне удалось выяснить, что ветвь генеалогического древа, начинающаяся от прапрадеда Льва Анд-



Иосиф Михайлович Арцимович, дядя Льва Андреевича.

реевича Иосифа (Jozef-a) нигде не пересекается с ветвью, начинающейся от Антона Арцимовича. Чтобы сделать окончательный вывод о существовании или отсутствии общего корня этих ветвей, не хватает, может быть, как раз тех архивов Андрея Михайловича, которые погибли в Минске во время войны и которые дали бы Льву Андреевичу возможность утверждать, что его прямые предки в начале XIV в. сражались с рыцарями Тевтонского ордена и участвовали в знаменитом сражении при Грюнвальде.

Но в 1863 г. представители этих ветвей были по разные стороны баррикад. Виктор Антонович по личному настоянию Александра II был отправлен в Польшу как член Совета управления Царством Польским. Он был особенно пригодным в данном случае: полуполяк по происхождению, хорошо знавший местный язык. А Михаил Иосифович, напротив, как участник восстания в это же время был сослан в Сибирь.

В тех альбомах с фотографиями, из которых черпались пер-

вые сведения о роде Арцимовичей, вместе с двумя открытками еще хранилась одна вырезка из газеты времен Первой мировой войны. По краю вырезки рукой матери Льва Андреевича Ольги Львовны было приписано: «Это вырезал Лева и просил послать Володе». Лева тогда было 5 или 6 лет. Его внимание привлекла напечатанная в газете фотография заведующего лазаретом Иосифа Константиновича Катерли (дяди Юки) среди раненых. К тому времени И.К.Катерли был награжден болгарским орденом «За гражданска залуга» V ст. за участие во второй Балканской войне как доктор лазарета Красного Креста имени города Москвы. Эпизод с газетной вырезкой, который произошел после поездки в Иваново-Вознесенск Андрея Михайловича с сыном, показал чувство гордости мальчика за отца двоюродного брата Володи.

Для первого поколения Арцимовичей в России характерное, сердечное отношение друг к другу. Солидарность и центроостремительные силы, действующие между деть-



Вырезка из газеты времен Первой мировой войны.

ми Михаила Иосифовича и Елены Игнатьевны, привели к объединению подрастающего второго поколения на фотографии 1914 г. Ветвь генеалогического древа в начале века выглядела очень просто: родители, их пятеро детей и новый побег — дочь Нины Михайловны Елена Иосифовна Катерли. На обратной стороне фотографии 1903 г. Нина Михайловна и нарисовала

эту ветвь. А все новые побег к 1914 г. изображены на фотографии того же года: Лев, Екатерина, Вера — дети Андрея Михайловича; Елена, Нина, Владимир — дети Нины Михайловны и Михаил, Галина — дети Вячеслава Михайловича. И это все второе поколение Арцимовичей, так как у Иосифа Михайловича и Евгении Михайловны детей не было.



Иваново-Вознесенск. Дом Катерли, куда приезжал Лева Арцимович с отцом и где последние годы жила Елена Игнатьевна. Рисунок Н.И.Катерли.

На разных этапах жизни в роду был свой объединяющий центр. Так, после смерти Михаила Иосифовича это была семья старшего сына, в которой жила Елена Игнатьевна. А территориально это была Москва и Томилино под Москвой, где у Иосифа Михайловича была дача и где сделана фотография семьи Арцимовичей в 1903 г. Затем таким центром становится Иваново-Вознесенск, когда туда переезжает Елена Игнатьевна в семью Нины Михайловны. Елена Игнатьевна умерла в Иваново-Вознесенске в 1916 г. И частично функции нового центра в 20-е годы принимает на себя дом вблизи Комсомольской площади, куда были отправлены открытки, с которых и началось это повествование. Аналогичную роль играл в Минске дом Андрея Михайловича, в его семье в разное время жили дети Вячеслава Михайловича и сестра Евгения Михайловна.

После войны никого не остается из первого поколения Арцимовичей, и роль объединителя берет на себя Лев Андреевич. Занятость на работе мешает восстановлению родственных связей, прерванных войной. Даже дочь редко видела отца дома до 1951 г. Так, только в конце 40-х годов он снова встречается с сестрой Екатериной Андреевной. Затем Лев Андреевич начинает разыскивать своих двоюродных сестер.

В 1952 г. после окончания школы передо мной встала проблема выбора вуза. Так как для меня очевидным выбором специальности была ядерная физика, оставалось выяснить, куда идти учиться: в Университет, Московский физико-технический институт или в Московский механический институт, теперь это МИФИ. Самое быстрое решение моей проблемы можно было получить при помощи Льва Андреевича. Моя мать Н.И.Катерли встретила с братом, и Лев Андреевич передал с ней для меня записку, в которой оговаривалось время и мес-

то встречи, указывались возможные номера машин, фамилии шоферов, а также говорилось, как с ним связаться.

Мы встретились у Механического института на улице Кирова. В этой встрече я увидел лишь «парадный вход» в современную физику. В памяти поездка к дяде ассоциируется с известной картиной Ю.Пименова «Новая Москва». ЗИС-110 покати нас по улице Кирова, через площадь Дзержинского, по улице Горького на Сокол и Пехотную улицу. Предо мной предстал просторный коттедж с садом и площадкой для тенниса. Оказалось, что при доме живет телохранитель-секретарь. И это все было очень необычно. Лев Андреевич, глядя на меня, сказал: «Так вот что получилось из этого пара». Зимой 1933—1934 гг. мать демонстрировала брату меня в прогулочной коляске, но там ничего не было, кроме свертка и идущего из него пара.

Лев Андреевич рассказывал, что когда он бывал у нас в доме в 20—30-е годы, мои родители и их гости импровизировали в создании джаз-банды. На пианино обычно играла моя мать, а ударные и другие инструменты распределялись произвольно, и при этом всем было очень весело.

К концу своего первого визита к дяде я понял, что поступать мне надо в Механический институт.

А «парадный вход» в ядерную физику, который меня поразил при первой встрече с Львом Андреевичем, как я узнал совсем недавно, был создан Постановлением СМ СССР от 10 февраля 1947 г., подписанным Сталиным. На основании Постановления И.В.Курчатов и Л.А.Арцимович становились первыми «атомными» лауреатами за «промежуточный финиш» в получении «взрывчатки» для атомной бомбы, хотя до получения плутония и урана-235 в необходимых количествах было еще далеко. Но щедрость не знала границ, когда ученым удавалось решать,



Семья Арцимовичей. Томилино. 1903 г. Внизу слева: 1-й ряд — Иосиф Константинович Катерли с Лелей. Сидят: Евгения Михайловна, Иосиф Михайлович, Нина Михайловна, Андрей Михайлович, Елена Игнатьевна Арцимовичи. Стоят: Вячеслав Михайлович Арцимович и Генриетта, жена Иосифа Михайловича Арцимовича.

казалось бы, нерешаемые проблемы. По этому Постановлению Л.А.Арцимович, член-корреспондент АН СССР, заместитель заведующего Лабораторией №2 премировался суммой в 300 000 руб. (30% первой премии) и автомашиной «ЗИС-110». И государство дарило ему дом-особняк и дачу с обстановкой. Теперь он получал двойной оклад, имел право ездить по стране бесплатно любым видом транспорта и т.д.

В августе 1952 г. я часто бывал в коттедже на Пехотной улице. Арцимовичи приняли участие в моем поступлении в ММИ. Так как телефона в то время у нас дома не было, сестра Людмила Львовна однажды срочно приехала, чтобы напомнить о немедленной сдаче документов в институт. Арцимовичи доставили мне учебное пособие для поступающих в ММИ, что тогда

было редкостью. А с Львом Андреевичем я консультировался по поводу решения некоторых задач из этого пособия.

Единственной неожиданностью на экзамене оказалась четверка по письменной математике. Мне в отпущенное время не удалось доказать справедливость тождества:

$$\cos(2\pi/7) + \cos(4\pi/7) + \cos(6\pi/7) = -1/2.$$

Используя формулы функций суммы и разности углов, кратных углов, а также суммы и разности самих функций, списывая страницу за страницей, невозможно было добиться результата на этом пути. После экзамена я решил показать это тождество Льву Андреевичу. На следующее утро, как мне потом рассказывали, он долго сердился, доказывая тождество. Так



Второе поколение Арцимовичей. 1-й ряд — Катя и Лева Арцимовичи, Володя Катерли и Миша Арцимович; 2-й ряд — Нина Катерли с Верочкой и Леля Катерли с Галей на коленях. 1914 г.



Москва. Квартира в доме у Ярославского вокзала на Комсомольской площади. 1925 г. Семья Катерли—Арцимовичей. На переднем плане, в белой рубашке — Лев Андреевич.

как путем преобразований задача практически не решалась, он нашел другой гениально простой способ. Данное соотношение между косинусами легко получить, проектируя последовательно три стороны правильного семиугольника на четвертую сторону, примыкающую к этим трем сторонам.

Романтическое отношение к миру физики во мне формировало не только общение с Львом Андреевичем, но и чтение литературы о физиках. Особенно прекрасным периодом в этом смысле оказалось время между поступлением в институт и началом занятий на первом курсе. Когда я приехал к Арцимовичам после последнего экзамена, то получил для чтения замечательную книгу Митчела Уилсона «Жизнь во мгле» о жизни американских физиков в канун атомного проекта. Английское название этой книги «Life with lighting» больше соответствовало содержанию, чем идеологическое название той поры.

В студенческие годы я достаточно часто бывал на Пехотной. Впервые от дяди Левы я услышал об удивительной книге «Роберт Вуд. Современный чародей физической лаборатории» Вильяма Сибрука. У Арцимовичей обсуждалась и книга Лауры Ферми «Атомы у нас дома» и другие. Когда я приезжал к Арцимовичам вечером, беседы обычно проходили за чаем в большой столовой. Лев Андреевич иногда мог предложить какой-либо тест для проверки интеллекта. Это мог быть простой вопрос на уровне 1-го курса института или старших классов школы. Например, чему равно число e , возведенное в степень мнимая единица, умноженная на π . Или более сложный вопрос: назвать на Земле точки, для которых выполняется условие: если из данной точки сместиться на 1 км на юг, потом пройти 1 км на восток, а затем 1 км на север, то снова окажешься в данной точке. Сразу можно догадаться, что такая точка Северный полюс. Но есть

еще бесконечное число подобных точек, которые я смог назвать только в следующий раз.

Мне нравилось, как Лев Андреевич откровенно и точно оценивал некоторых людей: «хороший мужик» (очень высокая оценка), «зануда», «первый пижон среди физиков или первый физик среди пижонов».

И до сих пор помню добрый сердечный взгляд Льва Андреевича на первой вечеринке в коттедже, когда я, робея и смущаясь, танцевал с девушкой. Это был взгляд поддержки, помогающий преодолеть школьный «комплекс раздельного обучения». Институт я закончил по специальности теоретическая ядерная физика, защитив дипломную работу «Второе приближение в разрешенных β -переходах» у Я.А.Сморозинского в Институте атомной энергии. Перед защитой приезжал ко Льву Андреевичу и показывал полученные мной формулы для β -распада во втором приближении, которые могли представлять интерес в связи с новейшим тогда открытием несохранения четности в слабых взаимодействиях. Мой выбор специальности Лев Андреевич прокомментировал моей матери: «Колька тихий, а там надо работать локтями». Локтями мне, слава Богу, работать не пришлось, ни за время педагогической и научной деятельности в МИФИ, ни за короткое время работы в журнале «Природа».

А в мае 1958 г. в коттедж на Пехотной улице я отправил телеграмму: «Поздравляем дорогого Прометея, добывающего термоядерный огонь для человечества, с высокой заслуженной наградой. Нуся, Коля». Это было поздравление Льву Андреевичу с присуждением ему Ленинской премии за термоядерные исследования.

Осенью 1959 г. в одну из последних поездок на Пехотную ко Льву Андреевичу я рассказал ему о рождении моего сына и о своем желании, чтобы сын стал физиком. На что дядя мне ответил: «Да пусть будет хоть

дворником, но хорошим человеком». Мы выпили за сына, за его «светлое будущее». Что же получилось, тост сработал? Сын стал вирусологом, много лет уже работает в Соединенных Штатах, собирается защищать докторскую диссертацию в России, в институте, который его направил в командировку в США.

Оказавшись летом 1998 г. у сына в США, в столице штата Джорджии Атланте, я хотел в ближайшей местной библиотеке, плотная сеть которых равномерно покрывает Америку, выяснить, кто и когда изобрел кондиционер, так как жизнь без него ни в доме, ни в машине совершенно невозможна. Это был повод открыть Американскую энциклопедию. А там я обнаружил статью о токамаках, где сказано: «The first experimental tokamaks were developed in the Soviet Union under the leadership of L.A.Artsimovich» (Т.20. С.513). Можно сказать, что эта информация доступна каждому американцу. И это всего лишь деталь, говорящая о широком международном признании лидирующей роли нашей страны и лично Льва Андреевича в создании нового источника энергии — управляемого термоядерного синтеза.

Когда, со слов Льва Андреевича, срок, отпущенный ему природой и Создателем, приближался к естественному концу, в начале февраля 1973 г. он приглашает к себе двоюродных сестер: мою мать и Галину Вячеславовну, видимо, чтобы проститься. Разговаривали о жизни, о детях и внуках. Лев Андреевич сказал, что хочет собрать у себя всех внуков и сфотографировать их. Он вспомнил фотографию своего поколения в 1914 г.

1 марта 1973 г. Льва Андреевича не стало. Помню зал Президиума Академии наук СССР, почетный караул у гроба Льва Андреевича и поток людей. Но особенно врезалось в память Новодевичье кладбище, залитое ярким, слепящим светом естественного термоядерного реактора — Солнца. ■

Неслучайные совпадения

Академик И. М. Халатников

О мирном использовании термоядерной энергии физики стали задумываться еще до завершения работ по созданию водородной бомбы. Необходимо было найти способ удержания газообразных дейтерий и тритий при сверхвысоких температурах порядка 100 млн градусов (получить электрон-ионную плазму). По-видимому, первыми предложили способ удержания плазмы в ограниченном объеме И. Е. Тамм и А. Д. Сахаров. Они поместили ее в магнитное поле специальной конфигурации (в магнитные ловушки). Стало сразу ясно, что задача это трудная и что до создания промышленных термоядерных реакторов пройдет много времени. Минуло уже 50 лет с начала этого проекта, и только теперь благодаря объединению международных усилий наметился сдвиг к первым практическим результатам. Однако задача исследовать поведение плазмы в магнитном поле оказалась не только сложной, но и интересной для физиков. Во главе этого мирного атомного проекта был поставлен Лев Андреевич Арцимович — ближайший сотрудник И. В. Курчатова, так же, как и тот, выходец из школы Ленинградского физико-технического института.

Я впервые услышал о Льве Андреевиче от одного из руководителей оборонной промышленности Б. Л. Ванникова, который как-то при встрече пожаловался мне на то, что у Арцимовича медленно движется дело

с разделением изотопов лития. А именно изотоп лития-6 должен был играть важную роль в сжигании водородной компоненты «слойки» — первого варианта водородной бомбы, предложенного Сахаровым. Это было в 1952 г., а первые испытания намечалось произвести в 1953-м. Лев Андреевич в конце концов уложился в срок, и испытания были проведены.

Отдел физики плазмы в институте Курчатова был расширен, были собраны теоретики всех поколений от Михаила Александровича Леонтовича до «святой троицы» молодых: Рольда Сагдеева, Евгения Велихова, Александра Веденова. Важную роль «триггера идей» играл Андрей Михайлович Будкер. Запомнилось большое собрание физиков, заполнивших клуб Института атомной энергии, на котором главной сенсацией была идея Будкера о «магнитных бутылках» — конфигурациях магнитного поля, напоминающих бутылку, из которой ионы могли выходить только через узкое горлышко. Несмотря на кажущийся всеобщий оптимизм, Курчатов оценивал перспективы более сдержанно. Его здоровье уже было подорвано, а он хотел еще при жизни увидеть «мирный термояд». Как-то летом 1957 г. он пригласил меня, хотел услышать какие-либо альтернативные идеи. Это свидетельствовало о том, что, как теперь говорят, я у него имел высокий рейтинг. Когда мы с ним покидали административный корпус института, Игорь Васильевич увидел мой новый серый «Москвич»

второй модели («новинка»), заинтересовался машиной и захотел поехать со мной. Он собирался на Ордынку в министерство, а я ехал в ту же сторону. Так и поехали — Курчатов в моем «Москвиче», а его огромный ЗИС с охраной нас эскортировал.

Мой серый «Москвич» заслуживает небольшого отступления. В то время самой популярной и престижной автомашиной была «Победа». За ней следовало стоять в очереди несколько лет, у меня были на нее деньги, но не было очереди. Пришлось купить менее престижный «Москвич» второй модели. Однако вскоре сотрудница А. И. Шальникова по университету Татьяна Белова, встретив меня в Институте физических проблем, спросила, не хотел ли бы я поменять мой «Москвич» на новую «Волгу-21», выпущенную к открытию Фестиваля молодежи и студентов 1957 года. Оказалось, что ее друзья, писательница Наталья Ильина с мужем, филологом, профессором МГУ А. Реформатским, имеют разрешение купить «Волгу-21», но им не хватает средств. Они охотно бы приобрели мой «Москвич», а взамен уступили бы мне свои права приобрести «Волгу». Так и поступили — обе стороны остались довольны. А моему «Москвичу», можно сказать, повезло — удалось попасть в историю. Ильина, возвратившаяся перед войной из эмиграции из Харбина, хорошо вписалась в литературное сообщество и была близка к Анне Ахматовой. Когда та жила в Москве, на Ордынке, у опекавших ее Ар-

довых, Ильина часто вывозила Ахматову за город подышать свежим воздухом. Поездки совершались на бывшем моем сером «Москвиче». Таким образом, машина дважды вошла в историю: Курчатов и Ахматова ездили на ней.

Но вернемся к Льву Андреевичу. После того, как я заручился поддержкой А.П.Александрова в деле основания Института теоретической физики (1963), он поручил Арцимовичу создать «цыганский табор» теоретиков в Академии наук. Лев Андреевич был в АН очень влиятельной фигурой — занимал высокую должность академика-секретаря Отделения физики и астрономии. Организация нового института в составе Отделения входила в его обязанности, поэтому в ту пору мы с ним тесно взаимодействовали. Лев Андреевич был доброжелательным, во всем его облике и манерах чувствовалось хорошее дворянское воспитание. До того мы с ним уже встречались на семейных торжествах у Петра Леонидовича Капицы на даче на Николиной горе.

К 1971 г. новый институт прочно встал на ноги, и мы проводили Второй советско-американский симпозиум в Ленинграде, где к нам было приковано внимание местных властей. Слишком уж бесконтрольно советские участники симпозиума контактировали с иностранцами. Итоги симпозиума мне пришлось обсуждать с Львом Андреевичем в не очень приятном контексте: он мне позвонил и очень нервно стал выговаривать за то, что наши сотрудники вели себя в Ленинграде чересчур «бурно», а один даже попал не то в больницу, не то в вытрезвитель. Совершенно в несвойственном стиле академического обращения Арцимович потребовал по этому поводу «объяснения». Такого раньше никогда не было, видно, на нас в Ленинграде обратили внимание и составили серьезную «телегу». Не буду описывать подробно,



С И.В.Курчатовым. 1959 г.



С П.Л.Капицей.



С Н.С.Хрущевым в Переделкино. 1969 г.

как сочинялся «ответ запорожцев», и страдания нашего сотрудника, который так потрудился на симпозиуме, что попал в больницу. Я никогда не писал «объяснений» начальству и не хотел создавать прецедента. К счастью, на одной площадке в доме со Львом Андреевичем жил Аркадий Бейнусович Мигдал. И они дружили. Я решил «объяснение» Арцимовичу не посылать, а передать его через Мигдала «по-соседски». По-видимому, Лев Андреевич, получив «объяснение» на лестнице, почувствовал некоторую неловкость и тут же порвал его. Так закончилась деликатная история с «объяснениями». Мы сумели не опускаться до уровня написания «объяснений» о поведении уважаемых молодых ученых. Может быть, Лев Андреевич вспомнил, что когда его резкие «некорректные» высказывания

по поводу Корейской войны в 1950 г. стали известны Л.П.Берии, все обошлось «приветом», переданным через Курчатова с предупреждением Арцимовичу быть поосторожней с высказываниями.

Сам Лев Андреевич был нетерпим к моральной нечистоплотности людей. Вспоминаю такой случай. В Институте атомной энергии многие годы работал хороший теоретик Борис Давыдов, это был скромный человек, но обстоятельства его семейной жизни сложились не просто. Произошло так, что он женился на бывшей жене Брехеса, известного в то время аккомпаниатора Александра Николаевича Вертинского. Вертинский со своим аккомпаниатором часто выступал в иностранных посольствах. Соответствующие службы подозревали, что и жена Брехеса могла бывать в посоль-

ствах, а это рядовым гражданам категорически запрещалось. О женитьбе Давыдова знали только близкие друзья, однако кто-то из них информировал «кого следует». Все кончилось трагически — Давыдова лишили допуска и уволили из Курчатовского института. Многие догадывались, кто был автором доноса. И вот однажды в отделе Арцимовича происходит, как теперь говорят, «тусовка» по случаю «события» (это мог быть революционный праздник или подведение итогов успешной работы). Гуляние в разгаре, открывается дверь, и входит лицо из круга «друзей» Давыдова. Лев Андреевич смотрит на вошедшего и громким, хорошо поставленным голосом, обращаясь к аудитории, говорит: «А этот стукач что здесь делает?». Вошедший заплакал и поспешил ретироваться, закрыв лицо руками. В скором времени он перешел на основную работу в другой институт, где о нем не все знали.

На днях рождения на даче у Петра Леонидовича Капицы на Николиной горе, где собирался цвет московской интеллигенции, все по очереди произносили тосты. Очередь выступающих регулировал известный скульптор Никогосьян, говоривший с характерным армянским акцентом. Запомнилось его восклицание: «Эй! Арцемович, хотим тебя слушать!». Лев Андреевич послушно поднимался и произносил неизменно блестящий тост.

Лев Андреевич рано умер, с тех пор много воды утекло, но его улыбающееся лицо всегда у меня перед глазами. Его личная жизнь сложилась удачно, и это читалось по его улыбке. ■

Заповеди Арцимовича

Несколько советов, любимых выражений и афоризмов

Хорошая организационная проработка — это минимум затрат и максимум успеха.

Чтобы не забыть физику, нужно преподавать ее студентам.

Наука не профсоюзное собрание. Истину в ней не отыскивают голосованием.

Наука начинается с зависимостей.

Экспериментальную работу нужно вести, по возможности, параллельно. Решать все последовательно, по очереди, недопустимо медленно.

Работа экспериментатора сродни работе минера — стоит ошибиться один раз, и никто больше вам не поверит.

Экспериментаторы склонны завышать точность своих измерений.

Только зануда может быть хорошим экспериментатором.

Если вас послушать, армии нельзя давать оружие — оно все равно попадет в руки неприятеля (в защиту «молодых» от «старослужащих»).

Теоретики склонны объяснять одно непонятное двумя другими.

Самое простое объяснение, как правило, самое верное.

Вы предлагаете прыгать через пропасть в два приема.

Помните, что плазма — женского рода (наставление молодым экспериментаторам).

Мы уже прошли половину пути, правда, в логарифмическом масштабе (*оценка состояния работ по термояду в начале 70-х*).

К теории относитесь как к хорошенькой женщине. Берите с благодарностью, что она дает, но не доверяйтесь ей безрассудно.

Эти молодые люди, переспав с чужой женой, наутро считают ее своей (*по поводу «освоения» в науке чужих идей*).

Самое важное в женщине — уверенность в себе. Но и, конечно, женщина должна быть доброй. Злая женщина — нонсенс.

Выбирая подарок женщинам, никогда не ошибетесь, если выберете красное.

Начальников любят старых. В надежде, что скоро загнутся.

Плюньте в глаза тому, кто скажет, что ему важно, что будет с ним после смерти.

Наука — способ удовлетворения собственного любопытства за счет государства (*афоризм, за который Арцимовичу попадало, попадает и будет попадать долгие годы. Дело в том, что любопытство по Арцимовичу — не общепринятое любопытство подглядывания за соседкой, а болезненное любопытство естествоиспытателя: «как оно устроено», любопытство, вскрывающее новые горизонты, за которое разумному государству следовало бы платить не задумываясь*).

«Чем выше лезет обезьяна, тем дальше виден ее зад» (*любимый афоризм Черчилля и Арцимовича*).

Результаты конкурса научно–популярных статей



Подведены итоги очередного конкурса научно-популярных статей, который ежегодно проводит Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) среди держателей грантов. В этом году присуждено 56 премий. Вот список победителей (указаны руководители проектов).

МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

Ильин В.П. Математическое моделирование — это глобально!
(Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН);
Плыкин Р.В. Динамика и арифметика
(Обнинский государственный технический университет атомной энергетики);
Сергеев Я.Д. Глобальная оптимизация и условие Липшица
(Нижегородский государственный университет им.Н.И.Лобачевского).

ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Бочкарев Н.Г. Эхо активности ядер галактик
(Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга МГУ);
Лебедев А.А. Вечнозеленый полупроводник (Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе);
Мейлихов Е.З. Физика в Монте-Карло (Российский научный центр «Курчатовский институт»);
Саранин А.А. Самоорганизация металлических нанопроволок на поверхности монокристаллического кремния (Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН);
Сидоренков Н.С. Лунно-солнечные приливы и атмосферные процессы (Гидрометцентр РФ);
Сурдин В.Г. Галактический зонд: от звезды к звезде
(Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга МГУ);
Толстихина А.Л. Электричество под микроскопом (Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН).

ХИМИЯ

Волынский А.Л. Зависит ли прочность твердого тела от его размеров?
(Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова);
Еремин В.В. С чего начинается фотосинтез?
(Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова);
Завражнов А.Ю. Крылья для атомов или химические транспортные реакции
(Воронежский государственный университет);
Федин В.П. Химия за пределами молекулы (Институт неорганической химии им.А.В.Николаева СО РАН);
Хохлов А.Р. Ферментоподобные каталитические системы
(Институт элементоорганических соединений им.А.Н.Несмеянова РАН);
Шибасев В.П. Жидкокристаллические холестерики. Что это такое?
(Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова).

БИОЛОГИЯ И МЕДИЦИНСКАЯ НАУКА

Берман Д.И. Жизнь на вечной мерзлоте (Институт биологических проблем Севера ДВО РАН);
Ким А.И. Дрозofiла: новые подходы к геномике вирусов
(Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова);
Киселева Е.В. Волшебные картины микрокосмоса (Институт цитологии и генетики СО РАН);
Курочкин Е.Н. Прародители царства пернатых (Палеонтологический институт РАН);
Машенко Е.Н. Древние слоны Евразии: легенды Севера и мифы Юга (Палеонтологический институт РАН);
Мошкин М.П. Постгеномная эра или зачем нужны 300 тысяч линий мышей
(Институт цитологии и генетики СО РАН);
Резникова Ж.И. Маленькие труженики большой науки (Институт систематики и экологии животных СО РАН);
Суворов А.Н. Полезные микробы — кто они?
(Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины РАН);
Чернышев А.В. Эволюционная «гонка вооружения» у немертин
(Институт биологии моря им.А.В.Жирмунского ДВО РАН).

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Авсюк Ю.Н.** Определение приливной силы, соответствующее реальному орбитальному движению исследуемого тела (Институт физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН);
- Герман А.Б.** Палеоботаника и древний климат Земли: воспоминания о будущем (Геологический институт РАН);
- Каримова О.А.** Подземные воды — стратегический ресурс для водоснабжения населения (Институт водных проблем РАН);
- Кароль И.Л.** Климатическая модель: инструмент или игрушка? (Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова);
- Немировская И.А.** Природные и антропогенные углеводороды в океане (Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН);
- Пелиновский Е.Н.** Волны-убийцы (Институт прикладной физики РАН);
- Портнов А.М.** Аэропоиск золота, алмазов, урана (Российский государственный геологоразведочный университет им.Серго Орджоникидзе);
- Расцветаева Р.К.** От эвдиалитов к мегаэвдиалитам (Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН);
- Сарана В.А.** Ледники туманных гор (Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова);
- Сенников А.Г.** Беспокойная судьба древних окаменелостей (Палеонтологический институт РАН);
- Урусов В.С.** Нарушения принципа «бритвы Оккама» в современной минералогии (Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова);
- Уфимцев Г.Ф.** Байкал (Институт земной коры СО РАН);
- Чичагов В.П.** Сахара внедряется в Атлас (Институт географии РАН).

НАУКИ О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ

- Атаев Б.М.** Аварцы: социолингвистический портрет (Институт языка, литературы и искусства им.Г.Цадасы Дагестанского научного центра РАН);
- Доманова Н.М.** Социокультурный анализ современных экологических практик (Институт системных исследований и координации социальных процессов);
- Жабский М.И.** Художественно-коммуникативная природа киноискусства (Научно-исследовательский институт киноискусства);
- Клюев Н.Н.** Россия на мировой карте социального благополучия (Институт географии РАН);
- Кравченко С.А.** Риски в нелинейно развивающемся социуме (Московский государственный институт международных отношений (университет) МИД России);
- Мелик-Гайказян И.В.** Воздействие меняющегося мира как информационный процесс (Томский государственный педагогический университет);
- Огнев К.К.** Экранный образ в контексте современной культуры: кино, телевидение, интернет (Институт повышения квалификации работников телевидения и радиовещания);
- Рязанцев С.В.** Роль образовательной миграции в социально-экономическом и демографическом развитии России (Институт социальной-политических исследований РАН);
- Сафронова С.А.** Метаногенез и глобальные климатические процессы (Калужский филиал Московского государственного технического университета им.Н.Э.Баумана);
- Соколов К.Б.** Художественная культура России как социокультурная система (Государственный институт искусствознания).

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

- Воеводин В.В.** Экспонента суперкомпьютерных центров (Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ);
- Евстигнеева Г.А.** Научные библиотеки в информационном обеспечении науки и фундаментальных исследований. Современное состояние и тенденции развития рынка научной информации и библиотечных фондов (Государственная публичная научно-техническая библиотека России).

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК

- Браверман В.Я.** Сопутствующие излучения при электронно-лучевой сварке — источник информации о процессе (Сибирский государственный аэрокосмический университет им.М.Ф.Решетнева);
- Буйло С.И.** Трещина сама «кричит» о своем росте! (Научно-исследовательский институт механики и прикладной математики Южного федерального университета);
- Зимин Л.С.** Индукционный нагрев. Просто о сложном (Самарский государственный технический университет);
- Лоскутов Ю.В.** Прочность и жесткость криволинейных многослойных композитных труб при чистом изгибе (Марийский государственный технический университет);
- Митин А.В.** Сверхпроводящие наноканалы и их роль в экстраординарных проявлениях свойств $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+d}$ при $T \leq 1200 \text{ K}$ (Институт физических проблем им.П.Л.Капицы РАН);
- Паращук Д.Ю.** Солнечная энергетика: подрастающий игрок (Международный учебно-научный лазерный центр МГУ).

От эвдиалитов к мегаэвдиалитам

Р.К.Расцветаева

С чего все началось...

Среди известных ныне 4 тыс. минералов к числу наиболее удивительных относится цирконосиликат эвдиалит. Он широко распространен во многих регионах мира. Описан почти 200 лет назад, ему посвящены сотни публикаций, но до сих пор он привлекает внимание исследователей. Вряд ли найдется другой такой минерал, который был бы модельным почти для всех аспектов кристаллохимии и по поводу которого не прекращались бы дискуссии. Однако структура эвдиалита многие годы не поддавалась расшифровке. К началу 70-х годов XX в. были решены структуры сотни минералов, а эвдиалит никак не хотел открывать тайну своего строения. Академика Н.В.Белова очень интересовала структура этого минерала (поговаривали, что Николай Васильевич обещал за структуру эвдиалита докторскую степень).

Если принять во внимание примитивность рентгеновского оборудования того времени, то трудности рентгеноструктурного анализа были связаны со сложностью состава эвдиалита и большими размерами его тригональной ячейки. Легендарная Ирина Дмитриевна Борнеман-Старынкевич, высококлассный химик и кристаллохимик, пыталась представить кристаллохимическую формулу эвдиалита без знания его структуры. Однако разнокалиберные гетерова-



Рамиза Кераровна Расцветаева, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН. Область научных интересов — структурная минералогия. Наш постоянный автор.

лентные атомы не хотели упаковываться в задаваемые ею рамки. Как выяснилось после расшифровки структуры, такая задача была обречена на неудачу.

Наконец, в 1971 г. в лаборатории рентгеноструктурного анализа Института кристаллографии, возглавляемой Беловым, была решена аспирантом В.М.Гольшевым под руководством В.И.Симонова структура эвдиалита из Хибинского массива [1]. В ней все казалось удивительным. Особенно поражали уникальное кольцо из девяти тетраэдров кремния и квадратная позиция железа. Именно с ней Николай Васильевич долго не соглашался и настаивал на проверке результатов, задержав публикацию почти на полгода, и чуть было не лишив свой коллектив приоритета в исследовании эвдиалита. Ведь параллельно структурой этого минерала занимались и итальянские ученые, которые чуть позже опубликовали свои результаты, полученные на образце из Гренландии [2].

Строение эвдиалита Николай Васильевич с присущей ему выразительностью описал следующими словами: «В ромбоэдрической структуре эвдиалита вдоль весьма большого периода $c = 30.018 \text{ \AA}$ 12 разделенных атомами кислорода этажей распадаются на три слюдоподобных пакета, в которых сердечник из Zr(+Na)-октаэдров с обеих сторон одет кремнекислородной броней, разорванной на кольца: тройные $[\text{Si}_3\text{O}_9]$ и девятёрные $[\text{Si}_9\text{O}_{27}]$. Как и в слюдах, между пакетами сосредоточены крупные катионы Ca в октаэдрах, которые объединяются в шестерные кольца...» [1].

Расшифровав структуру, оба коллектива утратили интерес к этому минералу. Ушедшие из жизни и ныне здравствующие авторы первой структурной работы больше не возвращались к эвдиалиту. Получив ответ на вопрос, как размещаются основные элементы — Na, Zr, Si, Ca и Fe, они полагали, что остальные элементы в виде приме-

сей входят в те же позиции. Их не смутило различие в симметрии независимо полученных моделей ($R\bar{3}m$ и $R-3m$), а также вхождение в середину девятенных колец у одних авторов дополнительных (25-го и 26-го) атомов Si, а у других — дополнительного (четвертого) атома Zr. Впрочем, Белов был уверен в ошибке итальянских коллег. По его мнению, Г.Джузеппетти «обокрал сам себя», когда рассчитал состав на 24 атома кремния, и таким образом компенсировал недостающие 25-й и 26-й Si с помощью Zr. Трудно предположить, что Николая Васильевича все устраивало в структуре эвдиалита, но попыток ее пересмотра или хотя бы уточнения при его жизни не предпринималось.

И лишь спустя 15 лет мы уточнили структуру эвдиалита близкого состава [3], используя усовершенствованную к тому времени технику (автоматический дифрактометр). Результаты оказались ошеломляющими. К 37 найденным ранее позициям в цеолитной части добавилось больше 20 новых. Многие из них находились на близком расстоянии друг от друга и заполнялись частично, а распределение атомов в них было статистическим. Получалось, что большая часть примесей не вошла в установленные ранее позиции, а заняла свои собственные. Мне довелось выступить в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ) с докладом о новых данных по структуре эвдиалита. Нашим результатам не поверили, а И.М.Руманова (физик-кристаллограф, непререкаемый авторитет для минералогов) выступила с критикой доклада. Ее приговор прозвучал, как выстрел: «Такого не может быть!». И все же это была победа... Минералоги снова заинтересовались структурой эвдиалита. Некоторые припомнили, что в их коллекциях есть образцы с оригинальными составами и захотели по-

нять, как разные элементы распределялись по структурным позициям. Так началась новая эпоха в изучении эвдиалитов...

А сколько всего эвдиалитов?

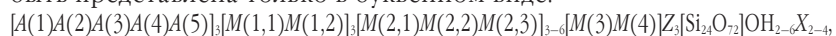
Ни один минерал не может вместить треть таблицы Менделеева. Но кто сказал, что эвдиалит один? Даже при первом взгляде на россыпь его кристаллов поражает разнообразие формы и цвета. Есть кристаллы крупные, прозрачные, с блестящими гранями, розовые и пурпурно-красные (из-за них эвдиалит и получил свое второе название «саамская, или лопарская кровь»). Другие мелкие, бесформенные мутноватые зерна, лимонно-желтые, бурые и желто-бурые. Встречаются зеленые, лиловые, фиолетовые, бесцветные и даже черные. Эвдиалит разнообразен и по другим свойствам. Он бывает оптически положительным или отрицательным, одноосным или аномально двуосным ($2V$ до 15°), электромагнитным или пьезоэлектрическим. Даже в одном зерне свойства могут меняться секториально или концентрически зонально.

И все же часть ученых считала и продолжает считать эвдиалит одним минеральным видом, а многообразные индивиды — его разновидностями. Их убеждения основаны на общем структурном сходстве этих минералов.

С расшифровкой структуры стала понятна причина сложного и изменчивого химического состава эвдиалита, который поглощает из раствора самые разные элементы с валентностью от 1 до 6. Эвдиалит по праву можно считать минералом-ловушкой или минералом-капканом. Его уникальное девятенное кольцо из кремнекислородных тетраэдров устроено так, что каждый третий тетраэдр развернут в середину кольца. В результате вместо круглой дырки получается треугольная — удобная для размещения дополнительных тетраэдров и не крупных октаэдров. Эти тетраэдры и октаэдры нанизываются на кристаллографическую ось третьего порядка, как бабочки на иголку. На эту же ось нанизаны молекулы воды, хлор, фтор и анионные группировки CO_3 , SO_4 , PO_4 (а иногда избыточные SiO_4 -тетраэдры). Получается, что, будучи силикатом, эвдиалит отбирает строительные кирпичики у карбонатов, сульфатов и фосфатов (на всякий случай — в хозяйстве все пригодится).

Вторая ловушка — квадратная щель в месте сближения шестерных колец. Она напоминает паутину, натянутую на два ребра соседних Ca-октаэдров, в которую попадают атомы железа, натрия и ряд других элементов. И если атомы оказываются не в центре квадрата, то располагаются рядом по обе его стороны, привлекая дополнительные анионы, достраивающие квадрат до пяти- или шестивершинников.

Разнообразие составов в эвдиалите не укладывается в упрощенную формулу $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{O},\text{OH})_2\text{Cl}_2$, и на сегодняшний день общая для всех эвдиалитов кристаллохимическая формула может быть представлена только в буквенном виде:



где за каждой буквой стоит не один элемент, а группа элементов:

$A = \text{Na}, \text{K}, \text{Sr}, \text{REE}, \text{Ba}, \text{Mn}, \text{H}_2\text{O}$;

$M(1,1), M(1,2) = \text{Ca}, \text{Mn}, \text{REE}, \text{Na}, \text{Fe}$;

$M(2,1) = \text{Fe}, \text{Na}, \text{Zr}, \text{Ta}$;

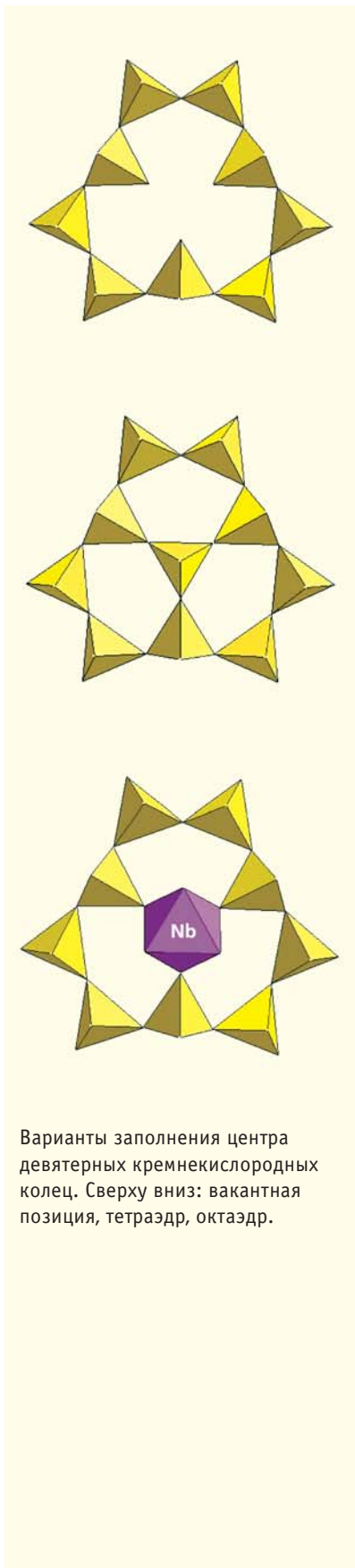
$M(2,2), M(2,3) = \text{Mn}, \text{Zr}, \text{Ti}, \text{Na}, \text{K}, \text{Ba}, \text{H}_2\text{O}$;

$M(3), M(4) = \text{Si}, \text{Nb}, \text{Ti}, \text{W}, \text{Na}$;

$Z = \text{Zr}, \text{Ti}$;

$X = \text{H}_2\text{O}, \text{Cl}, \text{F}, \text{CO}_3, \text{SO}_4$.

В одной ячейке помещаются три таких состава (формульных единиц), а набор элементов индивидуален для каждого образца.



Причем позиции с определенным набором элементов часто представляют собой группу подпозиций, расположенных на коротких расстояниях друг от друга. В некоторых позициях, являющихся ключевыми, концентрируются видообразующие элементы и осуществляются основные процессы изоморфизма и упорядочения.

Разнообразие составов дает возможность выделить наиболее яркие экземпляры в самостоятельные минеральные виды. Наше структурное исследование первой же коллекции образцов не оставило сомнений в том, что мы имеем дело с разными минералами. Но минералогии по-прежнему пребывали в плену представлений о том, что эвдиалит — единый «минерал с переменным составом и структурой». И только коллектив зарубежных исследователей (О.Йонсен, Дж.Грайс и Р.Голт) быстро оценил потенциальные возможности эвдиалита и за короткий срок с 1998 по 2006 г. открыл и утвердил шесть минеральных видов в этой группе. Их пример вдохновил некоторых российских ученых, и они догнали, а потом и перегнали зарубежных конкурентов. На счету одного лишь А.П.Хомякова (в тандеме с автором статьи) 12 минералов группы эвдиалита.

Выделение минерального вида невозможно без определения структуры (лишь в виде исключения принимаются как рассмотрение заявки на открытие минерала, по каким-либо причинам не содержащие результаты рентгеноструктурного анализа). Однако некоторые исследователи полагают, что «фантастические успехи кристаллохимии» используются не во благо минералогии, а во вред, поскольку приводят к чрезмерному росту минеральных видов. Но почему их не может быть много? Ведь синтетических соединений более 3 млн, и никто по этому поводу не сокрушается, а 4 тыс. минералов вызывают раздражение. Аргументы в пользу увеличения или уменьшения числа минеральных видов вообще, и в группе эвдиалита в частности, приводились обеими сторонами в дискуссии на страницах журнала «Природа» [4–8].

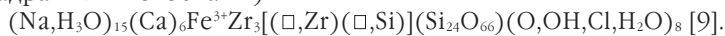
Сейчас семейство, возглавляемое эвдиалитом, насчитывает более 20 химически и структурно индивидуальных представителей. Среди них и открытые Хомяковым минералы с удвоенной ячейкой — мегаэвдиалиты, которые он выделил во «вторую главу кристаллохимии эвдиалитов» по аналогии с известной книгой Белова «Вторая глава кристаллохимии силикатов». Прежде чем приступить к описанию мегаэвдиалитов, мы рассмотрим несколько представителей «первой главы», т.к. эвдиалиты с типовой ячейкой могут служить фрагментами при формировании эвдиалитов с удвоенной ячейкой. Более подробную информацию об этих минералах и ссылки на оригинальные публикации можно найти в подробном обзоре [9].

Первая глава кристаллохимии эвдиалитов

Состав и форма вхождения химических примесей в структуру минерала непосредственно зависит от условий его образования. Поэтому кристаллохимические различия минералов группы эвдиалита важны для генетических реконструкций в минералогии. В силу своего устройства эвдиалит чутко реагирует на изменение минералообразующей среды и является прежде всего индикатором ее физико-химических условий. Для выделения минеральных видов в группе, возглавляемой эвдиалитом, действует обычная практика, при которой один из элементов должен быть доминантным в своей позиции. В структуре эвдиалита можно выделить четыре ключевые для видообразования области.

Одна из важных ключевых позиций находится в середине девятнерных колец. В обоих кольцах она занята кремнием (типовой эв-

диалит) или цирконием (эвдиалит Джузеппетти), а чаще комбинированно — ниобием и кремнием или титаном и кремнием и т.д. И очень редко одна или обе позиции преимущественно вакантны, как в **икраните** (в формуле соответствующие позиции выделены квадратными скобками)



Атомы Nb в центре девятимерного кольца — характерная особенность **кентбруксита**



изученного группой Йонсена минерала из Восточной Гренландии [9]. Но доминирование ниобия в этой позиции характерно не только для кентбруксита. Еще по крайней мере девять минералов имеют в центре одного из девятимерных колец Nb-октаэдр. Судьбу минерала в таких случаях решает комбинация из элементов в двух или нескольких ключевых позициях.

Вторая ключевая область — квадрат и позиции, расположенные в нем и по обе стороны от него. Здесь возможны варианты заселения середины квадрата атомами Fe или Na и пятивершинников и октаэдров — атомами Mn, Fe и др. Часто все варианты статистически присутствуют в одном минерале с разной степенью доминирования элементов в той или иной позиции.

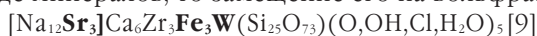
Сочетание Nb в октаэдре с Fe-пятивершинником отличает **георгбарсановит**



от кентбруксита. Среди эвдиалитов с высоким содержанием Nb георгбарсановит выделяется своими пьезоэлектрическими свойствами. Полную драматизма историю, связанную с открытием, дискредитацией и реабилитацией этого минерала, мы уже рассказывали на страницах «Природы» [10].

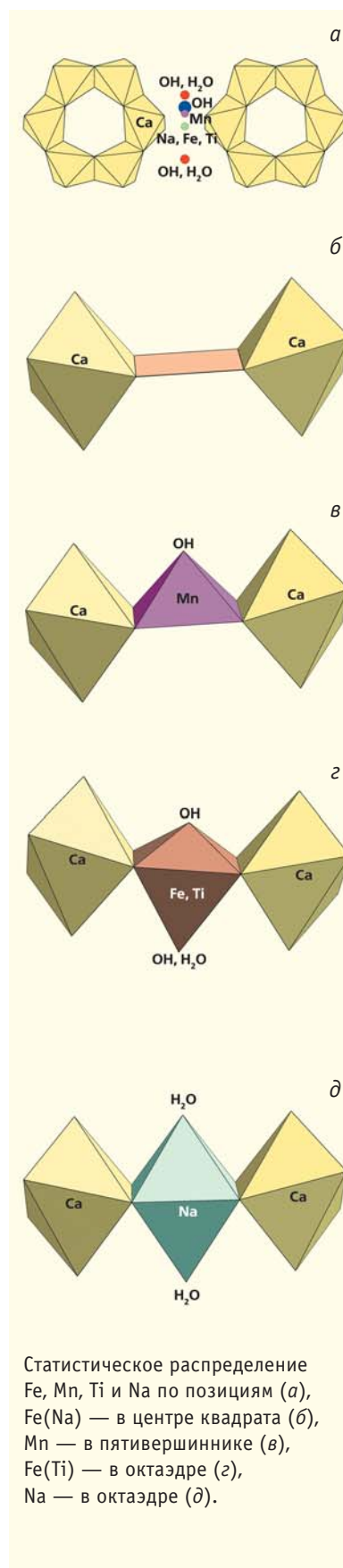
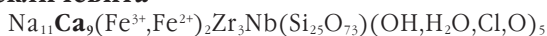
Сочетание Nb с Mn наблюдается и в минерале **андриановите**, названном в честь Валерия Ивановича Андрианова, известного российского математика-кристаллографа, создателя системы программ для структурного исследования минералов с большим числом атомных позиций переменного состава. Кристаллы андриановита найдены в Хибинах и изучены Хомяковым [11]. Структура в целом близка к структуре минералов, в которых осевой октаэдр Nb сопряжен с тремя Mn-пятивершинниками. Уникальная особенность андриановита — доминирование K в ключевой позиции A(4), наиболее изоморфоемкой среди пяти крупнокатионных A-позиций. В родственных же минералах она Na-доминантная или чисто натриевая.

Если ниобий в центре девятимерного кольца присутствует в целом ряде минералов, то замещение его на вольфрам в **хомяковите**



стало для группы Йонсена полной неожиданностью. Вторая неожиданность — одновременное замещение натрия стронцием, в то время как эти элементы редко сопровождают друг друга в природе. Атомы W и Sr представлены столь существенно, что доминируют в соответствующих позициях Nb и Na.

Из пяти Na-позиций наиболее изоморфоемкие — A(3) и A(4), прилегающие сверху и снизу к шестерным кольцам из Ca-октаэдров. Такие крупнокатионные позиции могут рассматриваться как ключевые для примесных элементов K, Sr, Ba, Mn, REE. Туда может входить и Ca. Когда его больше, чем требуется для заполнения октаэдров шестерного кольца (>6 атомов), он объединяет шестерные кольца в кальциевый слой, располагаясь в полиэдре A(3) структуры **фекличевита**

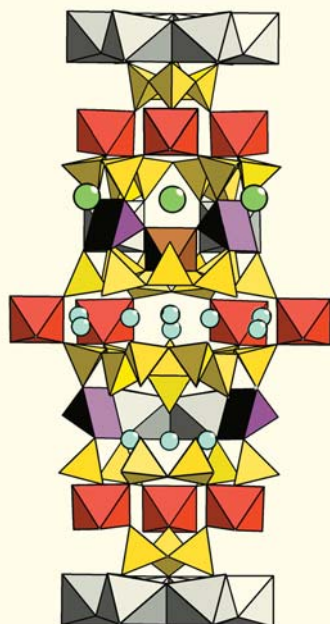
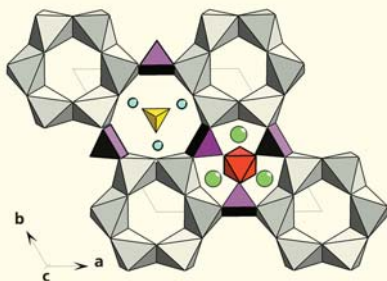


Статистическое распределение Fe, Mn, Ti и Na по позициям (а), Fe(Na) — в центре квадрата (б), Mn — в пятивершиннике (в), Fe(Ti) — в октаэдре (г), Na — в октаэдре (д).

* Здесь и далее формулы даются в упрощенном виде с исключением всех примесных элементов, кроме доминирующих в каждой изоморфной группе.

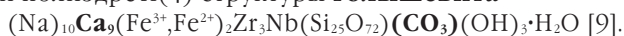


Андриановит (желтая краевая каемка толщиной 0.1—1 мм) в сростании с эвдиалитом (малиново-красный кристалл размером 1—2 см в поперечнике). Фото А.П.Хомякова

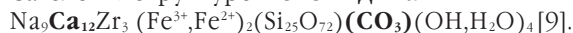


Кластер из Nb-октаэдра и трех Mn-пятивершинников и примыкающие к нему атомы К в структуре андриановита (вверху) и структура андриановита вдоль оси 3.

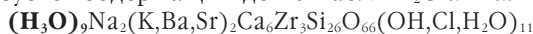
или полиэдре A(4) структуры **голышевита**



Если же Ca очень много (>10 атомов на формульную единицу), то он входит в обе ключевые A-позиции и образует двойной Ca-слой в структуре **моговидита**



Особую подгруппу составляют гидратированные минералы. Эвдиалиты формируются в высокощелочных породах на ранней (щелочной) стадии и содержат в больших количествах натрий. На более поздней стадии (с понижением температуры) высокощелочные условия минералообразования сменяются менее щелочными с последующим переходом в стадию кислотного выщелачивания. При этом эвдиалиты практически полностью теряют натрий и подвергаются гидратации. Наибольшей гидратированностью характеризуется содержащий до 10 мас. % H₂O **аквалит**

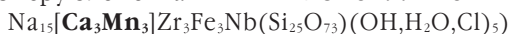


из Инаглинского массива Южной Якутии [12]. Он отличается нетипичной бледно-розовой окраской и пониженной плотностью. Однозарядные группы H₃O⁺ замещают натрий в крупнокатионных A-позициях. Полное замещение Na-катионов на H₃O⁺, по-видимому, невозможно, так как может привести к дестабилизации и аморфизации структуры.

Долгое время минералоги не могли свыкнуться с мыслью о замене натрия на оксоний. И до сих пор вхождение оксониевых групп в структуру эвдиалита является дискуссионным (хотя иногда подтверждается ИК-спектрами). Рентгеноструктурным анализом мы определяем только позицию кислорода, а найти три атома водорода вокруг него (что было бы прямым доказательством существования оксония) в структуре эвдиалита пока не получается. Вместе с тем традиционно принято считать, что натрий замещается нейтральными молекулами H₂O с параллельной заменой атомов кислорода на OH-группы. В структуре эвдиалита такая схема изоморфизма не оправданна. Декатионирование приводит к уменьшению числа положительных зарядов, а компенсация их нехватки с помощью присоединения протонов к атомам кислорода в каркасе затруднительна. Образование более крупных однозарядных группировок типа (H₅O₂)⁺, по стереическим соображениям, также исключается.

Еще сравнительно недавно считалось, что процессы изоморфизма и упорядочения протекают только в цеолитных полостях структуры, в то время как каркас, в состав которого входят Si, Zr и Ca, остается устойчивым фрагментом. Однако новые находки показали, что в эвдиалитах неизменны по составу лишь SiO-кольца, а в остальных позициях каркаса возможны изоморфные замещения.

Например, шестичленные кольца — единственный относительно жесткий фрагмент структуры эвдиалита, состоящий из реберно-сочлененных октаэдров Ca. Если Ca меньше шести атомов, кольцо не исчезает, а его октаэдры заполняются другими подходящими по размеру элементами — Mn в **онейллите**



или Fe в **раслаките**



Оставаясь доминирующим в одной тройке октаэдров, Ca оказывается в подчиненном количестве во второй. Возможно также вытеснение Ca из обоих независимых октаэдров с замещением его Mn — в одном или Na — в другом, как это недавно установлено в **воронковите**



При любом сочетании разнообъемных октаэдров шестерное кольцо (а вместе с ним и вся структура) теряет плоскость *m*, и симметрия понижается до R3.

Этот далеко не полный обзор дает представление о химическом и структурном разнообразии представителей группы эвдиалита. Нет сомнений, что мы имеем дело с полноценными минеральными видами. Однако должно соблюдаться одно важное условие — новый элемент (сколько бы его ни было) не должен «размазаться» по нескольким позициям, а обязан сконцентрироваться хотя бы в одной из них. Иначе у образца нет шансов стать самостоятельным минеральным видом при всех прочих благоприятных условиях. И понятно, что без рентгеноструктурного анализа предсказать поведение элемента в структуре невозможно.

Так минералогия в содружестве с кристаллохимией осуществила прорыв в открытии новых минералов среди относительно мелких и редко встречающихся кристаллов, которые иллюстрируют концепцию неограниченности числа минеральных видов. И очередное достижение минералогии и кристаллохимии — открытие мегаэвдиалитов.

Вторая глава кристаллохимии эвдиалитов

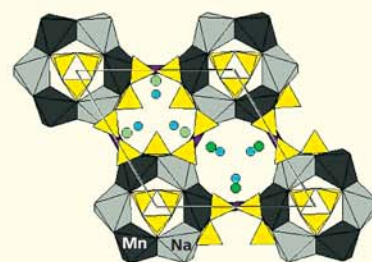
Мегаэвдиалиты, обнаруженные сравнительно недавно в Хибино-Ловозерском комплексе Хомяковым, отличаются от эвдиалитов «первой главы» высокоупорядоченной структурой с удвоенным периодом *c* и модулярным характером строения.

Отыскать в природе столь экзотические образцы, визуально и по оптическим свойствам не отличающиеся от обычных, не всем под силу. Да и на порошковой рентгенограмме не всегда регистрируются отражения, удваивающие параметр *c* элементарной ячейки минерала. Здесь нужны огромный опыт и интуиция, а такое сочетание уникально, как и сам минерал. Основной открыватель мегаэвдиалитов — Александр Петрович Хомяков. Ему удалось прямо в поле распознать (или по крайней мере заподозрить) необычные эвдиалиты по целому ряду признаков — местонахождению образца, ассоциации с другими минералами и др. И все же последнее слово остается за рентгеноструктурным анализом.

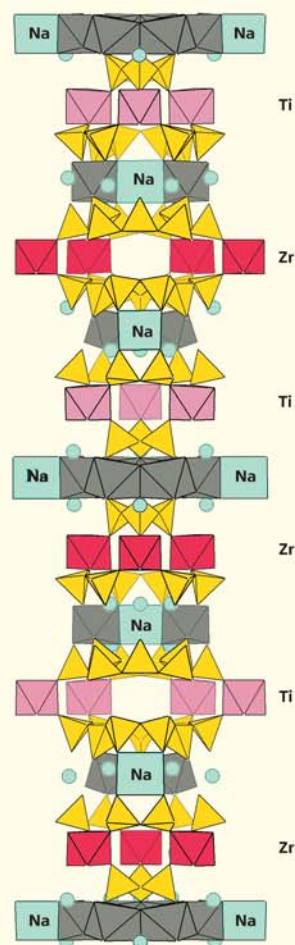
Структура любого эвдиалита состоит из одинаковых блоков толщиной 10 Å, каждый из которых содержит четыре слоя (Ca—Si—Zr—Si) и трижды повторяется по закону *R*-решетки. В случае каких-либо изменений в одном из них, исходный блок объединяется с измененным в восьмислойный блок толщиной 20 Å и становится исходным для мегаэвдиалита при трехкратном повторении *R*-трансляцией. Таким образом, поскольку в удвоенной ячейке продолжает «работать» *R*-трансляция, мегаэвдиалиты нельзя считать сверхструктурами в обычном смысле слова, когда кратное увеличение параметра обусловлено «сбоем» трансляции за счет сдвига (или замещения) одного или нескольких атомов в исходной ячейке. В данном случае удвоение *c*-периода имеет иную природу.

Происхождение мегаэвдиалитов до сих пор не совсем ясно. Возможно, некоторые из них инкорпорируют в своем развитии более простые «материнские» протоструктуры. Во всяком случае, потенциально любой из эвдиалитов «первой главы» может послужить модулем при образовании мегаэвдиалита, и теоретически вероятны любые комбинации из уже известных или гипотетических эвдиалитов с типовой ячейкой. Однако пока что найденные комбинации ограничены, главным образом, тремя минералами — собственно эвдиалитом, кентбрукситом и аллуайвитом. При этом нужно иметь в виду также, что модули лишь относительно соответствуют тем или иным прототипам, а абсолютного тождества нет.

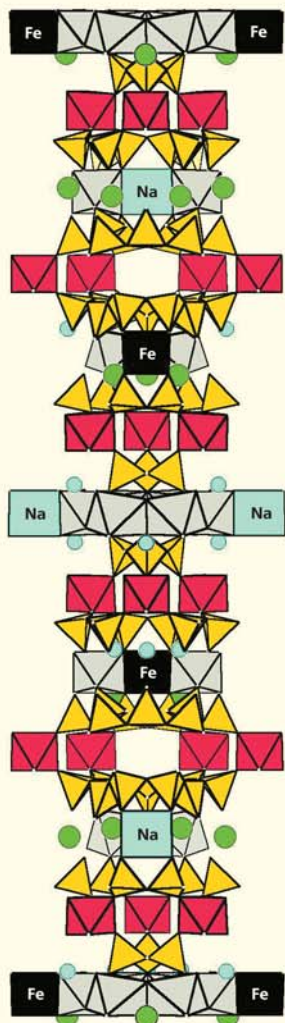
Долгое время члены Комиссии по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации



Замена атомов Ca на Mn и Na в структуре воронковита.



Чередование Zr и Ti в каркасе структуры дуалита.



Чередование Na с Fe в квадрате в структуре расцветаевита.

(КНМН ММА) не придавали значения факту удвоения ячейки эвдиалита и не признавали за мегаэвдиалитами права на выделение среди них самостоятельных минеральных видов. Около 20 лет назад Хомяков нашел первый минерал с удвоенной ячейкой, названный **аллуайвитом** по месту находки на горе Аллуайв в Ловозерском массиве [14]. Аллуайвит был утвержден Комиссией без возражений только потому, что это титановый, а не циркониевый минерал. Однако последующие образцы с удвоенной ячейкой Комиссия встретила настороженно: ведь простое удвоение периода не может быть основанием для выделения нового вида. Комиссия приостановила свою работу по рассмотрению новых минералов группы эвдиалита, и посланные в 2000 г. заявки на расцветаевит и лабиринтит (а также нескольких минералов с типовыми ячейками) дожидались утверждения два года. Приняв во внимание модулярную природу мегаэвдиалитов, состоящих из фрагментов эвдиалитов с типовой ячейкой, в 2003 г. специальный Подкомитет по номенклатуре минералов при КНМН ММА разработал соответствующую номенклатуру [15], после чего в одной только России были утверждены сразу шесть новых минеральных видов, включая мегаэвдиалиты расцветаевит и лабиринтит.

На сегодняшний день утверждено четыре минеральных вида среди мегаэвдиалитов, в то время как всего найдено и изучено 10 эвдиалитов (см. таблицу) с удвоенной ячейкой [16].

Если для большинства эвдиалитов «первой главы» характерны ацентричные тригональные группы $R\bar{3}m$ и $R\bar{3}$, а $R\bar{3}m$ и $R\bar{3}$ встречаются значительно реже, то для мегаэвдиалитов доля последних существенно возрастает, и минералы с центром симметрии составляют 40% от общего числа мегаэвдиалитов. Скорее всего centrosymmetrichnost' структуры повышает устойчивость мегаэвдиалитов с сильно вытянутой ячейкой (соотношение осей $c/a \sim 5$).

Зарубежные коллеги не нашли и не изучили ни одного минерала такого рода. При этом они сетуют на то, что структура некоторых образцов эвдиалита по непонятным причинам не поддается уточнению. Дело, возможно, в том, что они пропустили удвоение ячейки. Другая причина (в случае высококремнистых образцов с типовой ячейкой) — необоснованно навязанный центр симметрии.

Кристаллохимические предпосылки удвоения c -параметра в эвдиалитах достаточно разнообразны, и теоретически удвоить ячейку можно в любом образце. Однако на практике, даже если дифрактометр фиксирует некоторое количество удваивающих рефлексов, необходимо, чтобы они были достаточно сильными, а их число до-

Таблица

Тригональные цирконо- и титаносиликаты группы эвдиалита с удвоенной ячейкой

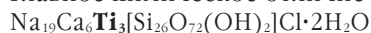
Минерал	Параметры, Å		Пространственная группа
	a	c	
Аллуайвит	14.046(2)	60.60(2)	$R\bar{3}m$
Дуалит	14.153(9)	60.72(5)	$R\bar{3}m$
Расцветаевит	14.249(1)	60.969(7)	$R\bar{3}m$
Лабиринтит	14.239(1)	60.733(7)	$R\bar{3}$
Центросимметричный лабиринтит	14.243(3)	60.907(8)	$R\bar{3}m$
Гипермарганцевый эвдиалит	14.179(1)	60.67(1)	$R\bar{3}m$
Гидратированный эвдиалит-I	14.266(1)	60.33(1)	$R\bar{3}m$
Гидратированный эвдиалит-II	14.254(1)	60.33(1)	$R\bar{3}$
Минерал 1408	14.223(1)	60.784(3)	$R\bar{3}m$
Минерал 3765	14.217(1)	60.798(3)	$R\bar{3}m$

В скобках приводится точность определения последнего знака.

статочно большим, иначе найденное упорядочение примесей по позициям будет недостаточно достоверным. Поэтому зачастую мы вынуждены пренебрегать подобными рефлексам и работать с типовой ячейкой, а «истинными» мегаэвдиалитами считать минералы с существенно упорядоченными структурами и достоверно удвоенными ячейками.

Формирование высокоупорядоченных структур в эвдиалитах обусловлено изоморфизмом, либо ориентацией тетраэдрических фрагментов, либо тем и другим, как в случае упомянутого выше алуайвита.

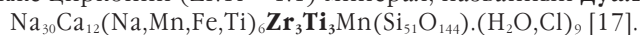
Главное химическое отличие алуайвита



от других членов группы эвдиалита — полное отсутствие циркония и железа. Замена циркония на титан — пример редкого изоморфизма, и алуайвит, оставаясь в рамках структурного типа эвдиалита, стал конечным титановым членом эвдиалитового ряда. Бесцветность кристаллов алуайвита можно объяснить его безжелезистостью, а центросимметричность его структуры исключает возможность пьезоэффекта. При избытке Na и в отсутствии Fe стало возможным размещение части атомов Na в плоском квадрате, что ранее в эвдиалитах не фиксировалось. Эта позиция дополняется двумя другими по обе стороны от квадрата, где атомы Na располагаются в семивершинниках. И такая линейная группировка $\text{Na}^{\text{VII}}\text{-Na}^{\text{IV}}\text{-Na}^{\text{VIII}}$ (здесь и далее римскими цифрами обозначены координационные числа катионов) стала своеобразной визитной карточкой алуайвита. Но главное отличие алуайвита от других эвдиалитов — удвоение *c*-параметра. Основная причина такого удвоения — высокая кремнеземистость алуайвита в сочетании с ориентационным упорядочением встроенных в девятёрные кольца дополнительных 25- и 26-го Si-тетраэдров. В одном кольце дополнительный Si-тетраэдр ориентирован так же, как и основные тетраэдры кольца, а в другом — в противоположную сторону.

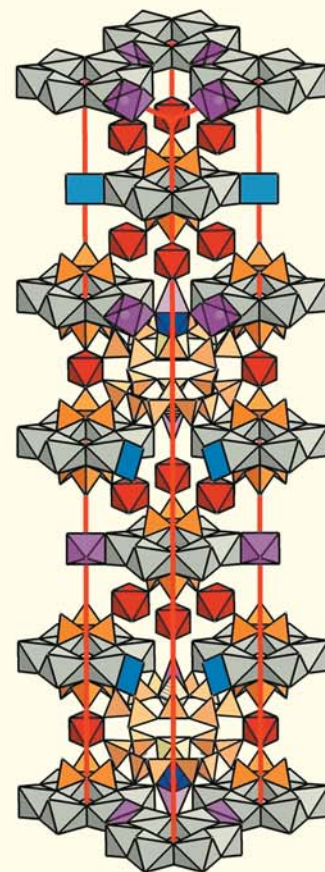
Один из руководящих работников очередного ООО, недавно созданной «Mineral group», ознакомившись с научными публикациями по минералам группы эвдиалита, позвонил мне. Он был всеерьез обеспокоен возможностью наткнуться при разработке «эвдиалитового» циркониевого месторождения на «алуайвитовое» титановое. И успокоился, когда уяснил, что такая вероятность очень мала, поскольку алуайвит очень редкий минерал. Вместе с тем, кроме алуайвита, есть ряд минералов, в той или иной степени обогащенных титаном.

Наряду с алуайвитом на той же горе Алуайв Ловозерского массива обнаружен еще один существенно титановый, но содержащий также цирконий ($\text{Zr}:\text{Ti} = 1:1$) минерал, названный **дуалитом**

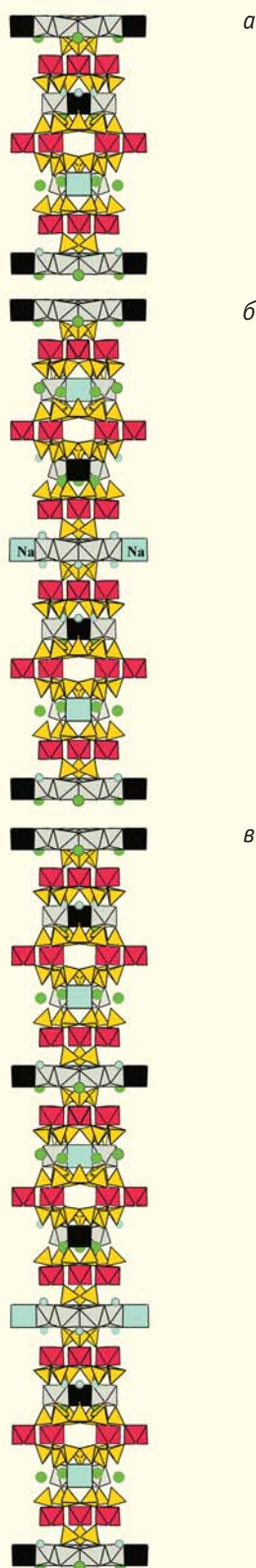


Кристаллы лимонно-желтого цвета, промежуточные по составу между алуайвитом и эвдиалитом. Изоморфизм Zr и Ti в природе встречается крайне редко, но в дуалите оба элемента представлены поровну, с чередованием их вдоль длинной трансляции, что и стало причиной удвоения ячейки.

Однако сам факт присутствия существенной примеси титана не гарантирует удвоения ячейки. В высокотитановом образце, представленном нам для исследования Н.В.Чукановым, при соотношении $\text{Zr}:\text{Ti} = 1.9:1.2$ есть предпосылки для их упорядочения. Однако, как показывают результаты рентгеноструктурного анализа, атомы титана «размазались» по четырем позициям — в октаэдре Zr (совместно с Nb), рядом с квадратом (совместно с Fe, Na и Mn) и в двух позициях в центре девятёрного кольца (совместно с Si), — не доминируя ни в одной из них [18]. Таким образом, ожидаемое удвоение ячейки не реализовалось.



Чередование Na-квадрата с Mn-пятивершинником в структуре гипермарганцевого эвдиалита.



Типовые эвдиалиты (а),
мегаэвдиалиты (б)
и гипотетические гиперэвдиалиты
с утроенной ячейкой (в).

Вместе с тем намного меньшее содержание Ti в высоконатриевом **лабиринтите**

$\text{Na}_{35}\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{Ti}(\text{Si}_{51}\text{O}_{144})(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O}, \text{Cl})_{12}$
(соотношение $\text{Zr}:\text{Ti} = 5.9:0.52$) привело к удвоению ячейки. Лабиринтит найден Хомяковым на горе Ньюоркпахк Хибинского массива и получил свое название из-за необычайно сложной структуры, элементарная ячейка которой с учетом пониженной симметрии $R3$ содержит почти 800 атомов, распределенных по более чем 100 кристаллографическим позициям [19]. Решающим фактором, удваивающим ячейку, стало то обстоятельство, что титан концентрируется в одном модуле и доминирует в позиции $M(3)$ в центре одного девятичленного кольца. В другом же модуле центр обоих колец занят Si-тетраэдрами. Титансодержащий модуль характеризуется также наличием Na в планарной координации и по этому признаку является аллуайтовым. Второй модуль содержит железо в пятивершиннике, что сближает его с георгбарсановитом, а присутствие K в крупнокатионной $A(3)$ -позиции — с расцветаевитом.

Но чаще всего причина удвоения c -периода — не связанное с титаном упорядочение катионов в ключевых гомологических позициях. Пример тому **расцветаевит**

$\text{Na}_{26}\text{K}_4\text{Ca}_{12}\text{Zr}_6\{\text{Na}^{\text{IV}}\text{K}^{\text{VII}}_4\}\{(\text{Fe}^{\text{IV}}, \text{Mn}^{\text{V}})_3\}(\text{Si}_{52}\text{O}_{144})(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O}, \text{Cl})_8$ — красновато-розовый минерал, характерный для обогащенных калием ультраагпаитовых пегматитов Хибинского массива [20]. Он обнаружен Хомяковым на горе Расвумчорр. Уникальные диагностические признаки, отличающие расцветаевит от других эвдиалитов, — ярко выраженные ионообменные свойства и легкая гидратируемость; а кристаллохимические факторы, удваивающие ячейку, — упорядочение железа и натрия (с калием) по модулям на разных этажах. Для одного модуля характерно полное отсутствие железа — позиция квадрата занята Na с доминированием четырех атомов калия по обе стороны от квадрата. Атомы железа целиком сосредоточены во втором модуле, где они распределены как в квадрате, так и рядом с ним в пятивершиннике (но при доминировании Mn). Таким образом, в структуре расцветаевита статистически присутствуют три модуля с характерными признаками аллуайвита (линейная группировка K-Na-K), эвдиалита (железо в планарной координации) и кентбруксита (Mn-пятивершинник), а содержание каждого модуля составляет 50, 40 и 10% соответственно.

Кристаллохимические особенности расцветаевита Хомяков связывает со специфическими условиями его образования. Предполагается, что расцветаевит кристаллизуется не из расплавов или растворов, а «путем твердофазных превращений соответствующих минералов-предшественников (протофаз), от которых новообразованные фазы наследуют особенности состава и структуры» [20]. Расцветаевит, по определению Хомякова, относится к «особой генетической группе трансформационных минеральных видов».

Еще один минерал — **гипермарганцевый эвдиалит**

$\text{Na}_{29}\text{Ca}_{12}\text{Zr}_6\{[\text{Na}]^{\text{IV}}\}\{[\text{Mn}_3]^{\text{V}}[\text{Mn}_2]^{\text{IV}}\}\{\text{Si}_{50}\text{O}_{144}\}(\text{OH}, \text{H}_2\text{O}, \text{Cl})_{10}$ — пока не прошел процедуру утверждения в качестве самостоятельного минерального вида, хотя по оригинальности своих кристаллохимических свойств он не имеет аналогов среди мегаэвдиалитов [21]. Марганец относится к числу примесных элементов в минералах данной группы, однако в некоторых образцах он может содержаться до трех (и даже более) атомов на формульную единицу ($Z = 3$) и доминировать в ряде ключевых позиций. Повышенное содержание марганца (более 11 атомов на удвоенную ячейку) при крайне низком содержании железа найдено в одном из образцов Ловозерского массива. Мы дважды исследовали этот минерал. Первая попытка, предпринятая в рамках обычной для эвдиалитов

ячейки, успехом не увенчалась. И только удвоение ячейки позволило определить структуру в деталях. На одном этаже в квадрате доминирует натрий (аллуайвитовый модуль), а на другом, рядом с квадратом (в пятивершиннике), преобладает марганец (кентбрукситовый модуль), что и стало главной причиной удвоения ячейки.

И чем пока еще не кончилось...

Опасения ряда исследователей насчет чрезмерного разрастания кадастра минеральных видов в группе эвдиалита вряд ли оправданы. Хотя, как уже отмечалось, потенциальные возможности видообразования эвдиалита практически исчерпаемы, число минеральных видов ограничено возможностями минералогов найти что-либо новое среди визуально од-

нотипных зерен. После 10-летнего бума, когда в данной группе было открыто 22 минерала, наступило относительное затишье. Открытия продолжают, но не столь интенсивно и в основном силами отечественных ученых. Причем группа эвдиалита пополняется минералами не только с типовой, но и удвоенной ячейкой. Мегаэвдиалиты не так широко распространены в природе, как эвдиалиты, для их образования нужны специфические условия. Однако открытие новых представителей «второй главы кристаллохимии эвдиалитов» дело времени. Более того, мы предполагаем, что ячейка эвдиалита может утроиться. Кристаллохимических запретов на образование гиперэвдиалитов нет. Они будут состоять из трех модулей, в пределах каждого из них возможны свои смешанные каркасы.

Нельзя исключать возможность аллуайвитового аналога гиперэвдиалита с полностью титановым каркасом $\{Ti_9[Si_9O_{27}]_6[Si_3O_9]_6\}^{108}$. Для титансодержащих циркониевых минералов при условии упорядочения Zr и Ti возможно чередование эвдиалитовых и аллуайвитовых каркасов в последовательности $\{Zr_3[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2\}^{36}$ - $\{Zr_3[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2\}^{36}$ - $\{Ti_3[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2\}^{36}$ или $\{Zr_3[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2\}^{36}$ - $\{Ti_3[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2\}^{36}$ - $\{Ti_3[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2\}^{36}$. В циркониевых (как и титановых) гиперэвдиалитах можно ожидать упорядочения Na и Fe в квадрате, чередующихся в последовательности Na^{IV} - Na^{IV} - Fe^{IV} или Na^{IV} - Fe^{IV} - Fe^{IV} . Модули могут различаться также типом кластеров — $[NbMn_3]$, $[NbFe_3]$ и т.д.

Таким образом, теоретически существует вероятность нового достижения кристаллохимии — открытия максимально упорядоченных 36-слойных «гиперэвдиалитов», принадлежащих «третьей главе кристаллохимии эвдиалитов». ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 07-05-00094.

Литература

1. Гольшев В.М., Симонов В.И., Белов Н.В. // Кристаллография. 1971. Т. 16. №1. С.93—97.
2. Giuseppetti G., Mazzi F., Tadini C. // Tshermaks Min. Petr. Mitt. 1971. V.16. S.105—127.
3. Расцветаева Р.К., Андрианов В.И. // Докл. АН СССР. 1987. Т.293. №5. С.1122—1126.
4. Урусов В.С. Почему их только две тысячи? // Природа. 1983. №10. С.82—88.
5. Хомяков А.П. Почему их больше чем две тысячи? // Природа. 1996. №5. С.62—74.
6. Расцветаева Р.К. Царь эвдиалит и его династия // Природа. 2001. №4. С.63—67.
7. Расцветаева Р.К. Вид и разновидности // Природа. 2006. №4. С.27—31.
8. Боруцкий Б.Е., Урусов В.С. Нарушения принципа «бритвы Оккама» в современной минералогии // Природа. 2008. №6. С.21—32.
9. Расцветаева Р.К. // Кристаллография. 2007. Т.52. №1. С.50—67.
10. Хомяков А.П., Расцветаева Р.К. Как мы потеряли барсановит и обрели георгбарсановит // Природа. 2005. №12. С.25—28.
11. Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Расцветаева Р.К., Розенберг К.А. // ЗРМО. 2008. №2. С.43—52.
12. Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Расцветаева Р.К. // ЗРМО. 2007. №2. С.39—55.
13. Расцветаева Р.К., Хомяков А.П. // Кристаллография. 2000. Т.45. №4. С.649—652.
14. Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Расцветаева Р.К. // ЗВМО. 1990. №1. С.117—120.
15. Johnsen O., Ferraris G., Gault R.A. et al. // Canad. Min. 2003. V.41. P.785—794.
16. Расцветаева Р.К., Хомяков А.П. // Кристаллография. 2003. Т.48. №6 (Приложение). С.78—90.
17. Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Расцветаева Р.К. // ЗРМО. 2007. Т.136. №4. С.31—42.
18. Расцветаева Р.К., Карипидис Т.К. Особенности упорядочения катионов в структуре высокотитанового эвдиалита // Сборник трудов 11-го Международного симпозиума «Упорядочение в минералах и сплавах». 16—21 сентября 2008 г. Т.2. Ростов-на-Дону; пос.Лоо, Россия. С.138—141.
19. Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Расцветаева Р.К. // ЗРМО. 2006. №2. С.38—49.
20. Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Аракчеева А.В. // ЗРМО. 2006. №1. С.49—65.
21. Расцветаева Р.К., Иванова А.Г., Хомяков А.П. // Докл. АН. 2006. Т.410. №1. С.101—105.

Одиссея мужской хромосомы

*Ты же теперь мне скажи, ничего не скрывая:
Кто ты? Родители кто? Из какого ты города родом?
И на каком корабле ты приехал, какою дорогой?*

Гомер. «Одиссея».

Л.А.Животовский, А.Г.Имашева

В последнее время во всем мире появилось новое увлечение — составление родословной своей семьи. Особенную популярность оно приобрело в России — ведь нас столько лет поощряли быть «Иванами, родства не помнящими» (в советскую эпоху знание своей родословной было не только ненужным, но зачастую и опасным). Люди собирают сведения о своих предках, роются в старых письмах и альбомах, прочесывают базы данных в Интернете, делают запросы в архивы. Большинство из нас дедушек и бабушек худо-бедно помнит, прабабушек и прадедушек вспоминаем уже с трудом, а дальше — туман... Кто они были? Где жили? Откуда приехали? Чем занимались? Спрос рождает предложение — появились специальные фирмы, которые за соответствующую мзду вычислят (или выдумают) вам ваших предков.

В наш век стремительных перемен хочется обрести опору, обернуться вспять, узнать историю своей семьи. У французского импрессиониста Поля Гогена есть картина под названием «Кто мы? Откуда? Куда мы идем?» Похоже, эти вопросы взаимосвязаны — знание своих корней и истоков помогает понять нас сегодняшних, а значит, влияет и на наше будущее. Находя на них ответы, мы каким-то непостижимым образом приближаемся к пониманию своей собствен-



Лев Анатольевич Животовский, доктор биологических наук, заведующий лабораторией генетической идентификации Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН. Лауреат Государственной премии РФ и премии им.И.И.Шмальгаузена РАН в области эволюционной биологии. Занимается изменчивостью ДНК у человека, популяционной и эволюционной генетикой, биоинформатикой.



Александра Григорьевна Имашева, старший научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — популяционная и экологическая генетика животных и человека, генетика полигенных признаков.

венной личности — ведь без моих предков не было бы и меня, во мне есть частичка каждого из них.

Неудивительно, что теми же вопросами, но в более глобальном масштабе, задаются и ученые, изучающие историю человечества. От кого произошли эти люди, откуда они пришли на нынешнее место жительства? Откуда взялся здесь этот народ, может быть, он жил тут всегда? А если нет, то когда и откуда он пришел? И, наконец, вопрос вопросов — где истоки, колыбель всего человечества? Кто были прародители каждого из нас и всех нас вместе? Какова семейная история рода людского?

Раньше подобные задачи решали антропологи, археологи и этнографы, но в последнее время к ним присоединились генетики. Генетика отвечает на вопросы происхождения и древних перемещений (миграций) людей, изучая распространение в современном населении мутаций определенного типа. В данном случае ученые используют не те мутации, которые приводят к наследственным болезням, а мутации, которые не оказывают на работу генов заметного влия-

ния, их называют нейтральными. Определяя географическое распространение таких мутаций, можно отследить как происхождение людей, так и их географическое перемещение. Происхождение — потому что мутации передаются во времени, как говорят, вертикально — от родителей к детям и далее в поколениях. Но они распространяются и в пространстве, т.е. при географических передвижениях людей. Ведь переезжая с места на место, мы перевозим с собой и свои гены!

В арсенале методов, которые применяют генетики для ответа на эти вопросы, почетное место занимает изучение мутаций, расположенных в Y-хромосоме, определяющей принадлежность человека к мужскому полу. Чтобы понять, почему эта хромосома оказалась такой полезной для генетико-антропологических исследований, поговорим о ней подробнее.

О чем расскажет Y-хромосома

*С виду иной совершенно как будто ничтожен,
Слову ж его божество придает несказанную
прелесть.*

Гомер. «Одиссея»

Хромосомный набор человека состоит из 23 пар хромосом, из которых 22 пары — «обычные» хромосомы, или аутосомы, и одна пара — половые, определяющие принадлежность к женскому или мужскому полу. У женщин они представлены парой одинаковых X-хромосом, а у мужчин — одной X- и одной Y-хромосомой, от наличия или отсутствия которой зависит, будет ребенок мальчиком или девочкой. При зачатии будущий ребенок наследует половину своих хромосом от отца, а половину — от матери; что касается половых хромосом, то от матери могут наследоваться только X, а от отца — либо X, либо Y. Таким образом и происходит определение пола ребенка.

Y-хромосома — самая маленькая и самая неинформативная в человеческом геноме, она содержит всего около 80 генов (рис.1). Другие хромосомы намного больше — в среднем каждая из них несет около 1.5 тыс. генов. Y-хромосома не только мала, но еще и узко специализирована — почти все ее гены ответственны за чисто мужские признаки (развитие эмбриона по мужскому типу, продукцию и жизнеспособность сперматозоидов). Y-хромосому с полным правом можно назвать «мужской хромосомой» — ведь именно она определяет то, что мужчины выглядят и ведут себя как мужчины.

Долгое время из-за скромных размеров и небольшого числа генов Y-хромосома считалась «генетической пустышкой», малоинтересной для ученых, разве что только в связи с проблемами мужского бесплодия. Однако к концу прошлого века исследователи заинтересовались этой хромосомой с неожиданной стороны. Оказалось, что ее особые свойства таят в себе немало сюрпризов

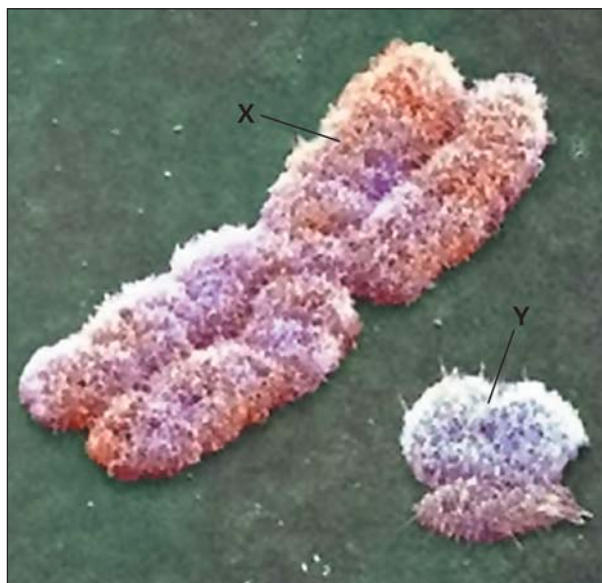


Рис.1. Электронная микрофотография X- и Y-хромосом (<http://fig.cox.miami.edu/~cmallery/150/mendel>, с изменениями).

и неожиданных возможностей для генеалогических исследований. Этот кусочек наследственного вещества оказался «мал, да удал». Y-хромосома передается по отцовской линии, т.е. исключительно от отца к сыну. Поэтому, маркируя эту хромосому, т.е. пометив ее каким-либо образом, теоретически можно отследить ее происхождение по мужской линии до далеких предков. Маркерами Y-хромосомы служат ее мутации, возникающие в разное время и в разных географических регионах.

Вторая важная особенность Y-хромосомы — непарность: она единственная хромосома человеческого генома, не имеющая пары. В обычных, парных хромосомах, в каждом поколении гены перемешиваются благодаря тому, что хромосомы обмениваются своими частями (рекомбинируют). Если в такой хромосоме возникает мутация, то в результате рекомбинации она может перейти в пару этой хромосомы, т.е. потеряться. Но бедной одинокой Y-хромосоме не с кем обмениваться генами, поэтому в ней любые изменения сохраняются в течение неограниченного времени.

Другими словами, каждый мужчина несет в своей Y-хромосоме генетическую память в виде всех тех мутаций, которые возникали у всех его прямых предков по мужской линии: его отца, деда, прадеда... тех, кто десятки тысяч лет назад каменными орудиями начал завоевывать планету, и далее к нашим общим с человекообразными обезьянами предкам. Эти особенности «мужской хромосомы» открывают широкие перспективы для изучения родственных взаимоотношений людей, древних миграций народов и генетической истории человечества. Подобные возможности

для исследования существуют и по женской линии. Их предоставляет изменчивость так называемой митохондриальной ДНК (мтДНК).

Древо мутаций

И произрастил Господь Бог из земли всякое дерево, приятное на вид...

Библия. «Бытие 2:9».

Генеалогическую историю семьи традиционно записывают в виде дерева, на ветках которого расположены представители разных поколений. Построением подобных генеалогических деревьев занимаются и генетики, изучающие генетическое родство; деревья, которые они строят, называются филогенетическими. Как и обычное дерево, филогенетическое «растет» от корней к ветвям: чем ближе к корням, тем ветви старше, а ветви кроны — более молодые. Такое древо можно построить не только для индивидов, но и для мутаций. Все мутации, возникающие в Y-хромосоме, располагаются на развилках веток. Если в Y-хромосоме отца появилась новая мутация, он передает ее своим сыновьям, становясь основателем новой ветки Y-хромосомного дерева. Более ранние мутации находятся ближе к корню дерева и соответственно содержатся в большем числе его ветвей.

Выделено около двух десятков основных типов Y-хромосомы, так называемых гаплогрупп. Они отличаются друг от друга по набору содержащихся в них мутаций и обозначаются заглавными буквами латинского алфавита. На Y-хромосомном древе они соответствуют самым крупным прикорневым ветвям (рис.2). Как и у настоящего дерева,

эти ветви делятся на более мелкие веточки, которые обозначаются цифрами и прописными буквами; их в настоящее время известно более 300.

Для датировки конкретных мутаций следует измерить длину всех ветвей и веточек дерева: от развилки, где эта мутация возникла, до последних листочков кроны. Для этого используют так называемые «молекулярные часы», в которых время измеряется через скорость накопления мутаций в Y-хромосоме. Правда, точность этих часов оставляет желать лучшего, ведь мутации появляются случайно и с разной скоростью в разных участках генома и в разных ветвях дерева.

Африканский Адам и его потомки

Вот родословие Адама: ...

Адам, Сиф, Енос, Каинан, Малалеил, Иаред, Енох, Мафусал, Ламех, Ной...

Библия. «Бытие 5:1; Паралипоменон 1:1-4».

Изучая мутации Y-хромосомы, генетики смогли совершить увлекательное путешествие вглубь времен — проследить весь путь от современного человека до его далекого предка. Проанализировав множество образцов ДНК, взятых у мужчин всех рас и со всех континентов, в 2000 г. группа американских исследователей построила генеалогическое древо для Y-хромосом всего человечества. Оказалось, что оно укоренено в Африке. Как показала датировка, человек, от которого все ныне живущие мужчины получили свою Y-хромосому и к которому сошлись бы генеалогические деревья всех мужчин на планете, имел они документы о всех их предках по мужской линии, жил в Аф-

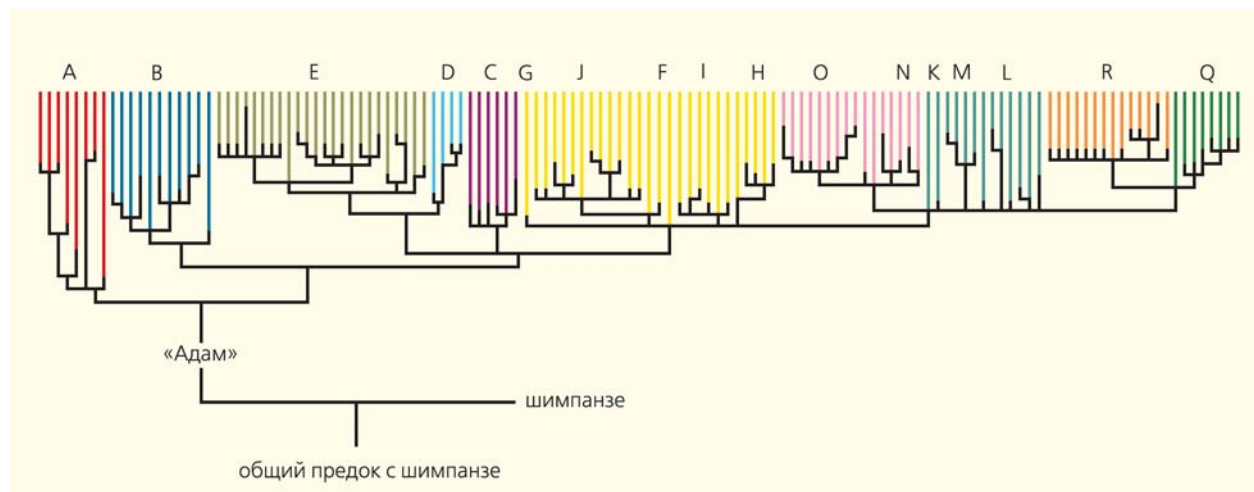


Рис.2. Древо гаплогрупп Y-хромосомы (из статьи Underhill 2004, с изменениями). Веточки этого дерева представляют собой различные типы (гаплогруппы) Y-хромосом, отличающиеся друг от друга наборами мутаций в различных участках хромосомы. У гаплогрупп, «сидящих» на одной ветви, некоторые мутации тождественны, унаследованы от общего предка. Ветви сидят на стволе, основанном Y-хромосомным «Адамом», а он растет из корня, общего с человекообразными обезьянами, а еще глубже — уходя к предкам млекопитающих и других организмов. Различными цветами обозначены основные, прикорневые гаплогруппы.

рике около 100–120 тыс. лет назад. По аналогии с нашим библейским прародителем, общего предка Y-хромосомного генома всех ныне живущих мужчин назвали Y-хромосомным Адамом (рис.2).

К тому времени уже построили аналогичное древо по данным о разнообразии митохондриальной ДНК. И по женской линии все дороги привели в Африку — праматерь человечества, митохондриальная Ева, оказалась оттуда же! Итак, генетические данные говорят о том, что человечество имеет единое происхождение. К большому огорчению сторонников превосходства белой расы, далекие предки каждого из нас — уроженцы африканского континента.

Однако наши «научные» Адам и Ева принципиально отличаются от своих тезок из Библии. Прежде всего, наименование «Y-хромосомный Адам» относится не к человеку, а к его Y-хромосоме, от которой действительно произошли все Y-хромосомы современных представителей мужского пола. Гены остальных хромосом человека (и мужчин, и женщин) могут происходить от самых разных людей, живших в то же время, что и Y-хромосомный Адам. Далее, Y-хромосомный Адам не был первым мужчиной на Земле. В те времена жило еще множество других людей, просто их Y-хромосомы не дожили до наших дней, а «мужские хромосомы» нашего Адама распространились по всей ойкумене. Используя генетические методы исследования и двигаясь по Y-хромосомному древу человечества от ветвей к корням, мы в конце концов наткнулись на ствол единственного существующего в настоящее время дерева. Однако во времена Y-хромосомного Адама росток его дерева взошел не в пустыне, а в лесу среди других деревьев — но все остальные деревья засохли, и только это одно выжило. Взойдя из одного семени, дерево Адама росло, мужало, давало новые ветви. Некоторые ветви засыхали, другие пышно разрастались, и сегодня раскидистая крона «древа Y-хромосомы Адамовой» вмещает все человечество. То же самое относится и к митохондриальной Еве. Все нынешние женщины Земли несут мтДНК, которая произошла от одной женщины, жившей в Африке много тысяч лет тому назад.

В отличие от библейских, «научные» Адам и Ева не только не имели общих детей, но вообще не были знакомы друг с другом, хотя бы просто потому, что время их жизни разделяют многие тысячелетия: Y-хромосомный Адам жил 100–120 тыс. лет назад, а митохондриальная Ева — на 60–80 тыс. лет раньше. Почему так получилось, что наша Ева оказалась старше нашего Адама на десятки тысячелетий? Дело в том, что для их идентификации использовались разные части генома, обладающие разными свойствами. Митохондриальная ДНК, по которой определили Еву, гораздо изменчивее (несет больше мутаций), чем Y-хромосома, и потому позволяет дальше заглянуть в прошлое.

А где жили наши Адам и Ева? Выражаясь языком Библии, где был Эдемский сад — прародина рода человеческого? Вообще говоря, этот вопрос не совсем корректный, ведь в то время кроме «научных» Адама и Евы жило еще множество людей. Однако на основе генетического разнообразия Y-хромосомы и мтДНК коренного населения Африки предполагается, что «научный» Эдем находился где-то в юго-восточной части Африки, на месте нынешних Эфиопии и Кении.

В Африке и ныне проживают племена — остатки древнейших популяций Земли (рис.3). Одно из них, сан (раньше его представителей называли бушменами), сегодня занимает не слишком много места в Юго-Восточной Африке. Однако в прошлом они были распространены по гораздо большей территории, которая, вероятно, включала и гипотетический Эдем. Типы Y-хромосомы, встречающиеся у сан, содержат самые древние, прикорневые мутации. Вдобавок и языки койсанской лингвистической группы, к которым принадлежит сан, также относятся к самым древним и самым необычным на нашей планете. Эти языки — единственные в мире, в которых использу-

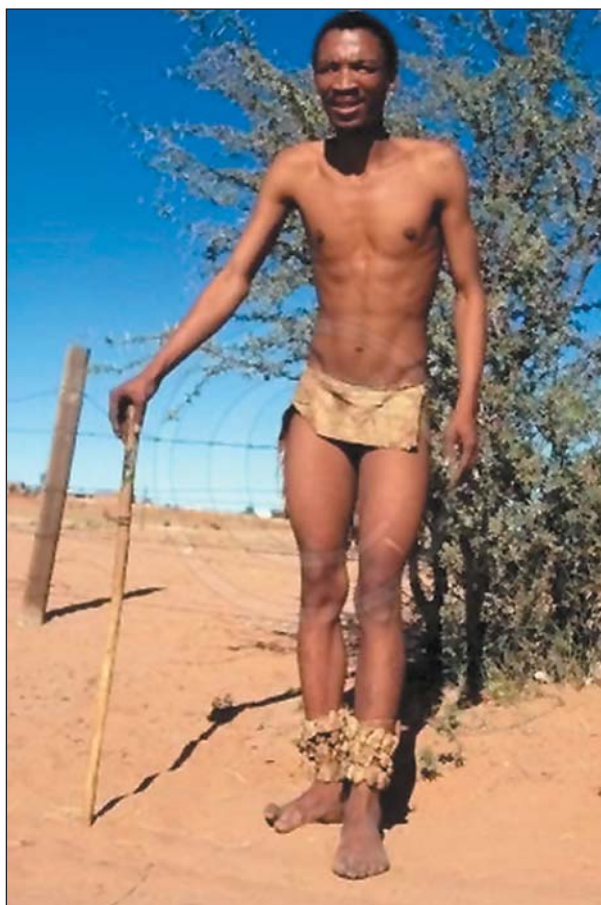


Рис.3. Мужчина племени сан в праздничном наряде (<http://www.stockphotofinder.com/stock-photos/s/sanfribe.html>).

ются разнообразные щелкающие звуки (один из них, к примеру, напоминает звук пробки, вылетающей из бутылки). Может быть, на сходном щелкающем и стрекочущем языке говорили наши предки много тысяч лет тому назад.

Библейских Адама и Еву изображало множество известных художников, включая Рембрандта, Дюрера и Кранаха Старшего. А как выглядели Y-хромосомный Адам и митохондриальная Ева? Пожилая родственница одного из авторов статьи, узнав об этих открытиях, сразу спросила, были ли наши африканские предки волосатыми и страшными, как обезьяны. К счастью, дело обстоит не столь ужасно. Конечно, ничего определенного о внешности людей, живших десятки тысяч лет назад, сказать нельзя, однако есть кое-какие обоснованные догадки на этот счет. Сопоставив генетические, антропологические и физиологические данные, исследователи предположили, что Адам и Ева имели гладкую (безволосую) кожу, курчавые волосы, немного раскосые азиатские глаза (говоря точнее, эпикантус — кожную складку на верхнем веке, характерную для азиатской расы). Цвет кожи у них, скорее всего, был смуглым (хотя не таким черным, как у многих современных африканцев). Ген, определяющий темный цвет кожи, MC1R (melanocortin receptor), считается более древним, чем ген, контролирующей белую кожу людей европеоидного типа. Люди того времени имели стройное телосложение и примерно тот же рост, что и мы с вами. Согласитесь, что портрет наших прародителей вырисовывается вполне привлекательный.

Путешествие длиной в тысячелетия

Странники, кто вы?

Откуда плывете дорогою влажной?

Едете вы по делам или блуждаете в море без цели?

Гомер. «Одиссея».

Триумфальное шествие вида *Homo sapiens* по свету началось уже в эпоху Y-хромосомного Адама. Можно сказать, не успел наш Адам появиться на свет, как отправился завоевывать мир. Если бы Y-хромосомы могли повествовать, каждая из них рассказала бы увлекательную историю своих странствий. Но проделывать эту работу приходится генетикам. Устанавливая порядок появления мутаций в Y-хромосоме, их географическое распространение и сопоставляя их с археологическими, лингвистическими и другими данными, исследователи проясняют детали путешествия «мужской хромосомы» по земному шару.

Вернемся к Y-хромосомному дереву генетического родства. Корни, ствол и нижние ветви дерева появились тогда, когда дерево только начало расти; они самые старые, африканские. В течение многих десятков тысяч лет до Y-хромосомного Адама область обитания человека ограничивалась

африканским континентом. У многих племен современной Африки (например, у сан) встречаются древнейшие гаплогруппы Y-хромосомы — А и В, отсутствующие у аборигенов других континентов. Сегодня численность этих древнейших племен, ведущих образ жизни охотников-собирателей, сокращается, и сейчас для африканского населения в целом наиболее характерна гаплогруппа Е — хоть и менее древняя, чем А и В, но все же одна из старейших прикорневых ветвей. Численность же ее стала возрастать примерно 10–15 тыс. лет назад — распространяли ее расселявшиеся по Африке в период сельскохозяйственной революции банту-говорящие народности, сейчас составляющие основную часть коренного населения Черного континента.

Первые ветви неафриканского происхождения появляются на нашем дереве приблизительно 60–70 тыс. лет назад. Примерно тогда представители африканских племен вышли за пределы континента. Началась великая колонизация мира человечеством. Данные по изменчивости Y-хромосомы говорят, что первый маршрут древних людей, покинувших Африку, пролегал вдоль побережья Южной Азии (рис.4). Эта миграционная волна докатилась до Юго-Восточной Азии и, пройдя Индию и обогнув северное побережье Индийского океана, свернула в Австралию. Она оставила на своем пути характерные гаплогруппы, позволяющие судить об этом маршруте. Действительно, основное разнообразие гаплогрупп С, D, М и О наиболее типично для населения Юго-Восточной Азии и Австралии, редко встречаются в других регионах Земли и отличаются от гаплогрупп, распространенных в остальной части Евразии. Гаплогруппа D, вероятно, возникла одной из первых после выхода человечества из Африки.

Древние люди, впервые покинувшие Африку, передвигались по побережью. Для них дорога вдоль побережья была аналогом современного скоростного шоссе — на берегу сравнительно ровный ландшафт, нет пустынь и горных хребтов, затрудняющих движение, а также всегда можно быстро и без особых проблем перекусить. Придорожными «Макдональдсами» для древних людей служили прибрежные воды. Согласно археологическим данным, люди с древнейших времен широко использовали море как источник пищевых ресурсов. В Эритрее на морском берегу найдены кучи раковин моллюсков (включая устриц) и панцирей ракообразных, а также каменные орудия, сделанные человеком в эпоху палеолита. Поистине любовь гурманов к устрицам и омарам имеет весьма давнее и почтенное происхождение.

Генетические свидетельства о маршрутах заселения Евразийского материка и Австралии подтверждаются антропологическими данными. В древнейших народностях и племенах, живущих сегодня на этой территории, сохранились следы первопроходцев, оставленные там десятки тысяч

лет назад. Австралийские аборигены и некоторые племена Юго-Восточной Азии, объединенные в группу с говорящим названием «негрито», внешне напоминают современных древнейших африканцев (таких, как сан): у них темный цвет кожи, курчавые волосы и раскосые глаза. Возможно, так выглядели и древние люди, впервые прошедшие этим путем, направляясь на юго-восток. Некоторые племена негрито, обитающие на Андаманских о-вах близ Таиланда (например, онге и ярава), считаются «живыми ископаемыми», т.е. ныне живущими реликтовыми остатками архаичных популяций. Благодаря своему изолированному островному положению они избежали притока новых генов с континента.

Естественно, Ближний Восток — этот перекресток Африки, Азии и Европы — был оживленным местом не только по выходе человечества из Африки, но и при возвратных миграциях из Азии в Африку: их маркируют гаплогруппы G, J и R. Европа заселялась несколько позже, начиная со Средиземноморья. Генетическая история колыбели западной цивилизации отмечена различными гаплогруппами, основу которых составляют ветви E и J. Миграционный маршрут с юга на север Европы после последнего оледенения маркирован гаплогруппой I; в то же время в Восточной Европе присутствуют ветви гаплогруппы R, пришедшие из Центральной и Южной Азии.

Последней заселялась Америка. Хотя точное время и число миграционных волн здесь остаются спорными, исследователи считают, что в Аме-

рику пришли выходцы из Северо-Восточной Азии приблизительно 12—15 тыс. лет назад, когда в гигантских массивах ледников Аляски возник проход в глубь континента. Большинство Y-хромосом коренных американцев (индейцев) принадлежит гаплогруппе Q, которая характерна для современного коренного населения Северо-Восточной Азии (Сибири и Дальнего Востока). Именно отсюда, как предполагают ученые, люди в древности проникли в Америку, пройдя по Берингову мосту в пору его существования в конце последнего оледенения. Кроме того, среди индейцев Северной Америки имеется ветвь гаплогруппы C, возникшая уже на американском континенте и не проникшей обратно в Азию из-за образовавшегося к этому времени Берингова пролива. Надо иметь в виду, что у аборигенов всех континентов встречаются европеоидные Y-гаплогруппы, такие как ветви R и др., привнесенные туда со времен открытий Колумба и Магеллана, африканские гаплогруппы от чернокожих рабов и др. (рис.5).

К I в. до н.э. все континенты (за исключением Антарктиды) были уже заселены, а за последние несколько тысячелетий человек смог невероятным образом достичь даже разбросанные за сотни километров друг от друга крохотные острова Полинезии.

За 50 тыс. лет вид *H.sapiens*, преодолев пустыни, горные хребты и снега, прошел путь от Восточной Африки до южной части современной Аргентины. Такому путешествию позавидовал бы и сам Одиссей!



Рис.4. Вероятные маршруты расселения человека по земному шару, определенные по данным о мировом распределении Y-гаплогрупп (<http://www.dnaroa.com>, с изменениями). Сплошными стрелками указаны древние пути расселения человечества по планете, пунктиром — недавние миграции после великих географических открытий второй половины нашего тысячелетия.

Ойкумена — многоцветный ковер

*Между живущих людей безыменным
никто не бывает.*

Гомер. Одиссея.

Вернемся из глубины тысячелетий к более близкому прошлому. И здесь Y-хромосома может рассказать нам немало интересного.

Представим, что Y-хромосома каждого живущего сейчас на Земле мужчины — это узелок на ковре, расстеленном по континентам и покрывающем всю ойкумену, причем каждая гаплогруппа имеет свой цвет, отличный от цвета других гаплогрупп. Тогда ойкумена предстанет гигантским ковром с пестрым, сложным рисунком, созданным разнообразием гаплогрупп проживающих здесь людей (рис.5). Узор такого «Y-хромосомного» ковра в каждой местности будет зависеть от распределения в ней гаплогрупп. Цвет будет гуще там, где данная гаплогруппа встречается в большей концентрации (там, где данная мутация возникла давно и ее носитель имел много потомков); сменяясь на другую, близкую гаплогруппу, он постепенно перейдет в другой оттенок. Разнообразные цвета, сплетаясь и сменяясь, составляют уникальный рисунок, характерный для каждой местности, точнее, для населяющих ее этнических групп.

В больших и оседлых популяциях в силу вероятностного закона больших чисел частоты гаплогрупп (цвет участков ковра) будут медленно изменяться из-за вновь возникающих мутаций, а также из-за перемещений людей. Поскольку в таких популяциях перемещения не слишком интенсивны, цвета будут плавно переходить один в другой, а рисунок ковра покажется размытым. Такая ситуация — плавные изменения частот Y-хромосомных гаплогрупп, например распространенных ветвей гаплогрупп E, J, R, наблюдается в Европе и Западной Азии.

А вот в Сибири из-за холодного и резко континентального климата численность населения всегда была достаточно низкой. Здесь частоты гаплогрупп во многом определялись случайными причинами, и узор ковра соответственно состоит из отдельных ярких и резко разграниченных пятен, а каждая этническая группа имеет свой четкий генетический портрет.

Распутывание нитей Y-хромосомного ковра открывает очень любопытные факты истории разных народов и позволяет реконструировать некоторые события прошлого. Например, результаты исследования Y-хромосомы заставили пересмотреть некоторые факты британской истории. Традиционно считалось, что жители Туманного Альбиона — по преимуществу англосаксонского происхождения, т.е. потомки завоевателей, вытеснившие населявшие остров древние племена кельтов с их исконных земель. Однако сравнительный анализ гаплотипов Y-хромосом англичан и потомков завоевателей Британии показал,

что английские хромосомы гораздо больше похожи на кельтские, чем предполагалось ранее. По этим данным, кельтская компонента составляет в генофонде британцев не меньше 50%. Получается, что кельты не исчезли под напором завоевателей, а растворились в них — кельтские гены выстояли!

Перенесемся теперь в другой регион земли, Центральную Азию. Если вы посетите Казахстан или Киргизию, то наверняка познакомитесь с множеством представителей коренной национальности, претендующих на родство с Чингизханом по прямой линии. Такие заявления всегда казались, мягко говоря, сомнительными именно из-за огромного числа предполагаемых потомков Чингизхана — если принимать их слова на веру, то регион просто кишит чингизидами. Однако исследования Y-хромосомы показали, что утверждения местных жителей о родстве с великим завоевателем прошлого имеют под собой основания. Оказалось, что около 8% Y-хромосом в выборке из обширного региона Центральной Азии принадлежит к близкородственным линиям одной из ветвей гаплогруппы C, причем границы распространения этих линий приблизительно совпадают с границами Монгольской империи времен Чингизхана. Это означает, что по сути дела одна предковая гаплогруппа внесла непропорционально большой вклад в население данной территории. Построив для этих линий гаплогрупп филогенетическое древо, обнаружили их общего предка, который жил около тысячи лет назад. Приблизительное время жизни Чингизхана — 1162—1227 гг.; поэтому и было предположено, что это именно он и является родоначальником этих гаплотипов. Традиции многоженства и неограниченная власть позволяли Чингизхану и его сыновьям иметь огромное число детей, а значит, они активно распространяли свою Y-хромосому среди населения. К сожалению, захоронение Чингизхана неизвестно, а отсутствие его останков не позволяет провести генетический анализ и напрямую проверить эту любопытную гипотезу.

А что же рассказала Y-хромосома о прошлом народов России? Здесь исследования только начались, но уже принесли интригующие результаты. Например, гаплогруппа N, предшественник которой возник 12—14 тыс. лет назад в Юго-Восточной Азии/Китае, стала распространяться не на юг, как ее сестринская гаплогруппа O (она появилась там же, но существенно раньше), а на север евразийского континента, через несколько тысяч лет дойдя до Сибири. Однако, в отличие от гаплогруппы Q, в Америку ей проникнуть не удалось. Путь туда был отрезан Беринговым проливом, затопившим из-за таяния ледников «Берингов мост» — перешеек, соединявший Азию и Америку. Именно по нему, как мы уже говорили, ранее прошли люди, заселившие Америку и принесшие туда более старую гаплогруппу Q. Вместо путешествия в Америку

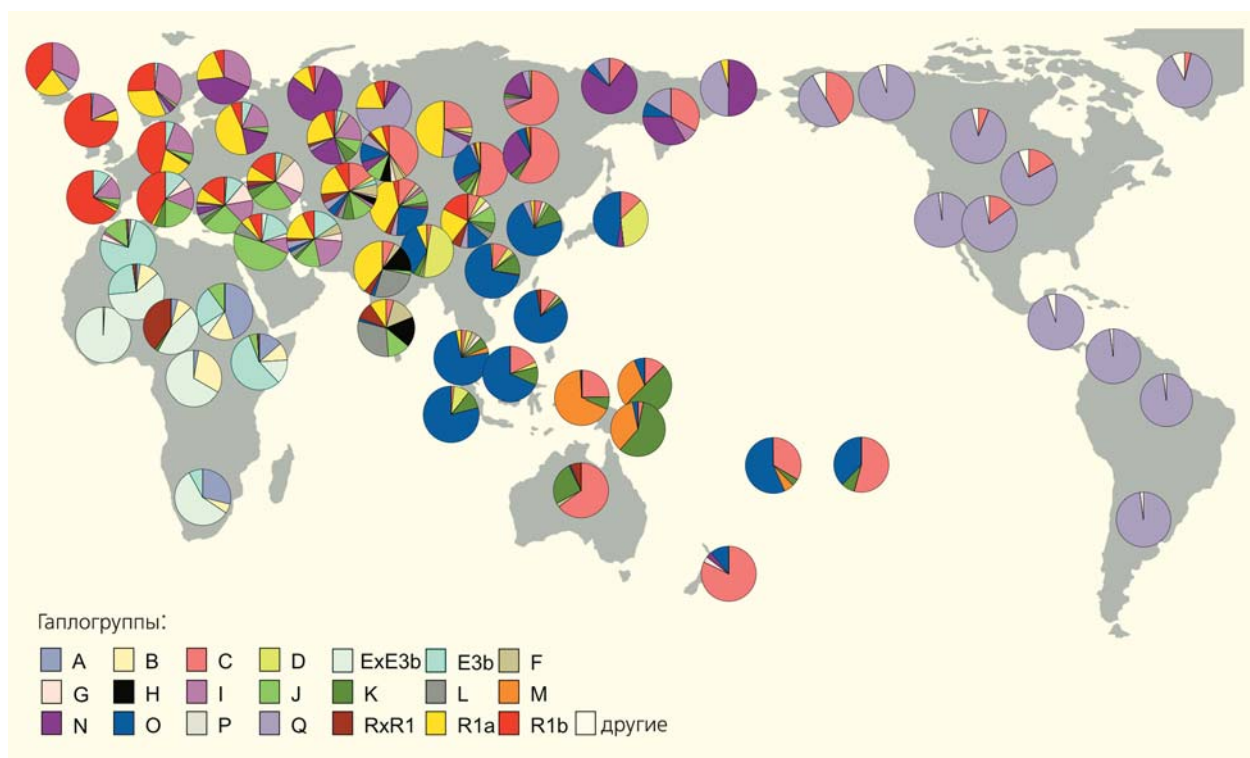


Рис.5. Географическое распределение Y-гаплогрупп (<http://commons.wikimedia.org/wiki/>, с изменениями). Каждый кружок показывает соотношение различных гаплогрупп в населении данного региона (расцветка гаплогрупп здесь отличается от той, что представлена на рис.2). Если бы на эту карту были нанесены данные по всем народам и районам мира, мы получили бы тот самый «многоцветный ковер», о котором говорится в тексте.

ку гаплогруппа N повернула на запад и, пройдя всю Сибирь, оказалась в Восточной Европе. Сейчас следы этого масштабного переселения людей можно найти у народов Северной Евразии. Многие сибирские народности имеют до 30–50% гаплогруппы N, а якуты — более 80%! Большой процент этой гаплогруппы присутствует у угро-финских народов Волжско-Уральского региона, финнов, эстонцев и других балтийских народов, и даже у русских, особенно на севере евразийской части России. Так что Рюрики, если их копнуть поглубже, родом из Юго-Восточной Азии, а если заглянуть еще дальше в глубь времен — то и вовсе из Африки, как и все люди на Земле.

В начале статьи мы упомянули об овладевшей миром страсти к составлению семейных родословных. Оказывается, и в реконструкции истории отдельной семьи, по крайней мере мужской ее части, маленькая Y-хромосома может оказать неоценимую помощь. Она, как и фамилия, передается по мужской линии, от отца к сыну. Другими словами, фамилия как бы «наследуется» вместе с Y-хромосомой. Таким образом, зная свой гаплотип, можно

найти своего родственника среди однофамильцев. Достаточно взять соскоб ткани с внутренней стороны щеки, проанализировать его в надежной генетической лаборатории, сравнить с соответствующей базой данных (во многих странах такие базы данных уже существуют) — и внезапно обрести четвероюродного деда, троюродного дядю, кузена средних лет и кучу племянников, о которых до сих пор не имели понятия. Так Y-хромосома служит благородному делу восстановления родственных связей, нарушенных современным мобильным и беспокойным образом жизни.

Если еще недавно ученые пренебрегали Y-хромосомой: и ростом не вышла, и знаний никаких — функциональной информации в ней кот наплакал, то теперь, познакомившись с мужской хромосомой поближе, понимаешь, что такое отношение к ней несправедливо. Скорее, эту хромосому можно сравнить с дотошным и усердным архивариусом, скрупулезно сохраняющим сведения о давно прошедших событиях и ведущим генетическую летопись минувших дней, только малую часть которой пока удалось прочесть. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 07-04-00171 и 08-04-90016-Бел_а) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Происхождение биосферы и эволюция геобиологических систем (подпрограмма 2).

Скалы Валаама через века и тысячелетия

«История, природа и искусство — три мощные воспитательные силы в нашем обществе. На Валааме они соединены с необычайной прочностью...».

Д.С.Лихачев

А.А.Никонов

Валаамский архипелаг (свыше 50 островов общей площадью 36 км²) расположен в северной части Ладожского озера. На самом крупном из них, о.Валааме, находится величественный Спасо-Преображенский монастырь, основанный в начале XIV в. Недаром Валаам — природное образование и историко-культурный объект — хорошо известен в стране как национальное достояние и святыня. Его называли Северным Афоном; русским Ерусалимом; жемчужиной Севера; земным раем; островом-бриллиантом со множеством удивительных граней, вставленным в голубую оправу Ладожского озера. Скалы Валаама — одна из таких граней.

Один из многочисленных паломников, укрывшийся под инициалами И.И.И., писал в XIX в. так: «подъезжаете к нему [Валааму]... видите отвесные, высокие, нагие скалы, гордо выходящие из бездны: они стоят как исполины на передовой страже» [1]. Высота скал даже на высоком северо-западе острова, положим, всего-то 20—25 м, до исполинов далеко, но выглядят они впечатляюще.

В художественных произведениях скалы Валаама называют гранитными, хотя на самих островах граниты на поверхности не выходят, их блоки привозят с материка и иногда используют при строительстве. Между тем о гранитах на Валааме случается прочесть и в некоторых геоло-



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

гических очерках. Наверное, потому, что гранит обычно служит символом прочности, долговечности. Неспециалисту невдомек, что иная разновидность гранита крошится и разрушается легче, чем кирпич или слабый бетон. Между тем среди пород глубинных, изверженных, немало таких, что прочнее гранита. Скалы Валаама, точнее все «темя земли» Валаамского архипелага, сложены диабазами — семейством пород монолитных, необычайно прочных. Имея геологически весьма солидный возраст, 1,2—1,5 млрд лет, диабазы Валаамской интрузии (силла) держат удары разных стихий неколебимо. Потому и кажутся скалы Валаама вечными, несокрушимыми.

Но, оказывается, иногда и они колеблются. И даже рушатся. Вот об этих-то критических моментах, а точнее, об их следах, которые стали распознавать давно, но понимать только недавно, и пойдет речь.

Святые среди скал

«Иногда тьма бесов плясала вокруг кельи, и келья сотрясалась как мельница». Это из жизнеописания игумена Валаамского монастыря Иоанна Дамаскина (1795—1881) [2]. Написано, можно не сомневаться, со слов самого настоятеля, вспоминавшего времена, когда он еще послушником выдерживал в одиночестве многолетнюю схиму в избушке близ Коневского скита в шести верстах от самого Валаамского монастыря.

А обычным мирянам как понимать бесовские пляски и вздрагивание избушки отшельника? Еще труднее понять ученому, привыкшему иметь дело с фактами и обязанному искать их объяснение. Если принимать это сообщение о сотрясении за факт, необходимо постараться его проверить и оценить.

Прежде всего, речь идет о сотрясениях явно не единичных, нет оснований относить их за

счет бури или шторма, признаки которых сохранились бы в памяти святого, и привлекать божественные силы не потребовалось бы. Да и маловероятно, чтобы затерянную в глухом лесу избушку (как-никак убежище схимника) потрепала буря. Что остается? Пока, не форсируя ответа, заметим только, что Коневский скит располагается в северо-западной части о.Валаам.

Тут впору вспомнить о других подобных случаях. Коль скоро нас интересует, что делалось на Северной Ладоге и, в первую очередь, на Валааме, то естественно обратиться к его постоянным обитателям, монахам и послушникам святой обители. Еще 10 лет назад, только начав интересоваться Валаамским архипелагом, монастырем и его историей, я натолкнулся на такие рассказы.

В первой половине XIX в. католический пастор из Сердоболя (Сортавалы), упоминая о пещерах в береговых утесах Валаама, населял их «в отдаленной древности» некими «номадами» и сообщал, что «ныне эти жилища номадов засыпаны или обвалились от времени и, если некоторые еще заметны, то разве знаток может указать их» [1. С.XIV].

А вот что рассказывал приезжий паломник, спускавшийся к берегу от Предтеченского скита на одноименном острове архипелага вместе с отцом Иринею — схимомонахом о.Иоанном, проводившим на острове до того уже 20 лет. «Мы спустились вниз. Тропинка то и дело огибает громадные, свалившиеся сверху скалы... Осыпи здесь подозревать нельзя. Нужно было остановиться на землетрясении, несмотря на северное положение Валаама.

Я сообщил это отцу Иринею.

— По Вашему... А по-моему, это когда на кресте Христос дух испустил. Земля потряслась и камни распадашся. Только вдумать, везде следы этого найдутся» [3. С.203].

Разговор с приезжим паломником происходил в 1880 г., т.е.



Виды о.Дивного на гравюрах художника П.И.Балашова. Литографии XIX в. Репродукция из журнала «Родина» (1999. №10).

около 40 лет после того, что прежил отец Дамаскин на о.Валааме. Вряд ли схимомонах о.Иоанн что-либо слышал о землетрясениях, кроме сведений из Священного писания. Но описанный в нем факт 1850-летней давности не только хорошо знал, но и готов был считать его действие общеземным.

Пройдет еще немного времени, и монахам Валаамской обители с землетрясениями придется познакомиться гораздо ближе.

Так, на исходе 1914 г. делопроизводитель Валаамского мо-

настыря монах Поликарп сообщил в Петербург: «28 минувшего сентября и 9 сего октября, подземный гул, слышанный в западной части острова Валаама, сопровождался чуть заметным содроганием почвы». Позднее монах Иувиан записал: «Канцелярия монастыря спешит сообщить, что сегодня [5 марта 1917 г.] в два часа 17 мин утра был наблюдаем очень сильный подземный удар, центральная сила которого была очень слышна на главном острове, где раскинут монастырь... Впечатле-

ние от этого удара получилось такое, что как будто после разразившегося подземного звука вблизи монастыря отзвук этого явления покати́лся на восток, постепенно замирая в своей силе и звучности» [4. С.73].

Сотрясения на Валааме и островах к западу от него монахи отмечали вплоть до 1932 г. Да и в последние десятилетия подземные толчки иногда случались и фиксировались независимо от разного рода военных подводных экспериментов. Отдельные сотрясения ощущали в 50-х годах, например в г.Сортавале (сообщение Л.С.Воскресенской), а в 90-х годах — опять на острове [5].

Между прочим, еще в 1777 г. некий богобоязненный капитан Яков Мордвинов, совершивший «тракт» на Валаам, на о.Святом заметил, что над входом в пещеру «висят отломившиеся от горы камня, и некоторые лежат при входе, и видно, что упали они с верха и расшиблись» [6. С.46]. Капитан попал на остров (тогда он еще назывался Старым Валаамом), потому что, по преданию, на нем поселились преподобные Сергей и Герман. Поселились именно в указанной «пещере». Интересно, что предание во многом подтвердилось, когда в 1990 г. историк Н.Охотина обнаружила неизвестную рукопись XVI в. «Сказание краткое о пречистой обители», в которой, в частности, сообщается о ее возникновении при епископе Иоанне (1388—1415) и о той самой «каменной весьма чудной пещере». Мы к ней еще вернемся.

Важно обратить внимание на сам факт и еще важнее на место. Именно здесь, на скалистом склоне северной экспозиции о.Святой, геолог М.Н.Миклуха-Маклай, первым обследовавший Валаамские о-ва в конце XIX в., отметил скальную террасовую площадку. Она возвышается на 9—10,3 м над озером, и на ней навалены свалившиеся с ближайшего обрыва глыбы [7]. Запомним и этот факт.

Скалы Валаама на первый взгляд кажутся мертвыми. На самом деле их жизнь идет своим чередом. Спокойные, благостные периоды внезапно сменяются драматическими. Вот ими мы и займемся. А для этого сначала привлечем «в свидетели» художника И.И.Шишкина. Да-да, того самого.

Валаамские скалы у Шишкина

Художник приезжал на Валаам неоднократно, начиная со времени обучения в Академии художеств, — в 1858, 1859, 1860 гг. и позднее. Здесь он работал на этюдах и, надо сказать, вполне удачно: в 1860 г. за две картины под общим названием «Вид на Валааме. Местность Кукко» художник был награжден Большой золотой медалью. Более того — получил право пенсионерской поездки в Европу на три года. За что, можно получить представление воочию, посетив Русский музей в Петербурге и Государственную Третьяковскую галерею (ГТГ) в Москве. Но увы, не по самим картинам (они не сохранились), а по этюдам и авторским повторам.

Академия предоставила художнику возможность свободного выбора местности, и вот что он писал в автобиографии: «Валаам был школа, Валаам действительно суровый, величавый» [8, 9]. На самом деле Валаам бывает и мягким, и благостным. Но художник выбирает свое: дикость, глушь, скалы, просветляя, правда, строгость и первозданную суровость скал солнечными бликами, пробивающимися сквозь заросли, и едва видимой вдаль полоской озера. На картинах все так вещественно, что хочется потрогать эти камни. Карандашный рисунок «Скалы на Валааме. Кукко» (ГТК), по мнению специалистов, служит одним из вариантов живописной композиции.

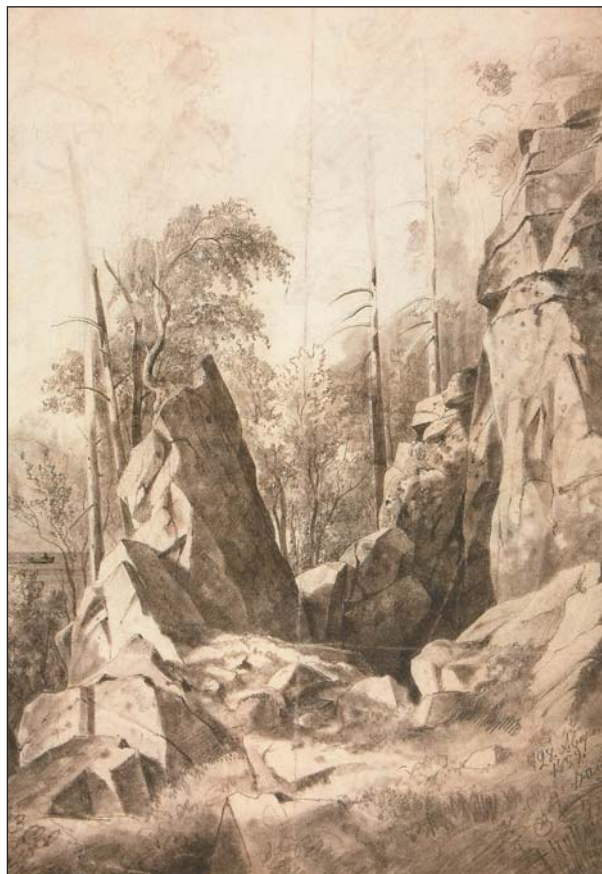
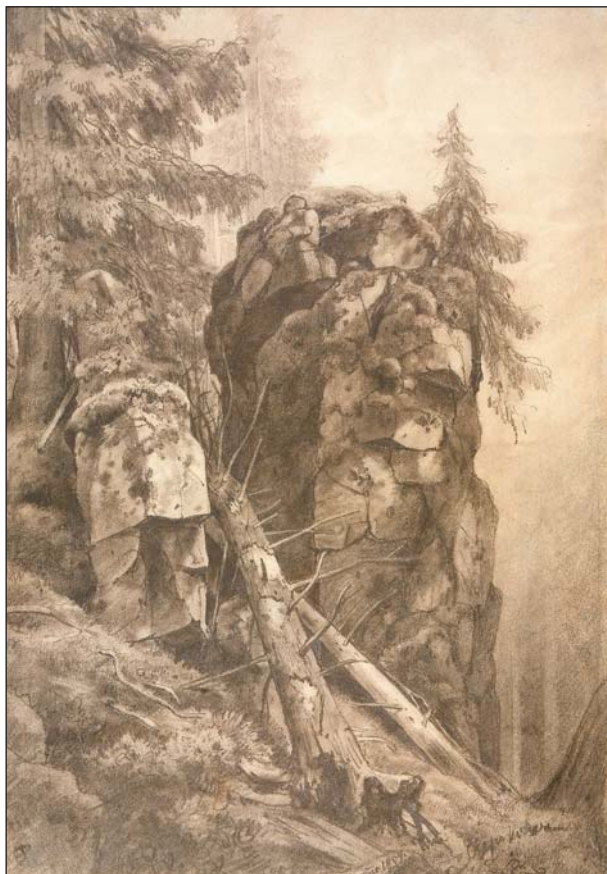
Искусствоведы называют шишкинские скалы причудли-

выми. Действительно, на одном из рисунков они необычны, торчат вверх остриями, как перья. Эти-то «перья» и шели специалисту говорят очень много. «Расшифруем» их позже. Но сначала напомним о другой картине Шишкина, которую в конце XIX в. увидел И.С.Шмелев, а нам увидеть, увы, не удастся, поскольку и эта работа пропала.

«У игумена в гостинной над столом большая картина Шишкина, изображена группа островов Валаамских, писанная художником версты за 2 в море. Видна вся грандиозная прелесть архипелага: дремучие леса над проливами и белый монастырь на скалистых утесах. Виден скит Никольский, черный гранит гор, зелень вечного леса, и колокольня скита всех святых, и серебряная чайка над голубой поверхностью Ладоги. Видно, как лепятся один к другому островки, сливаясь в одну общую группу... Видно только общее, прекрасное, но не видно многого, что трудно показать сразу взмахом или мазком кисти» [10. С.93]. Столь поэтичное описание могло выйти из-под пера только под впечатлением поэтичного изображения из-под кисти. Как хотелось бы видеть саму картину! Но остается вернуться к тому, что сохранилось [8, 9].

Сравним небольшую картину «Вид на о. Валааме» (1858, Киевский музей русского искусства) и карандашный рисунок «Скалы на о. Валааме, Кукко» (иначе «Деревья на скалах», 1859, ГТК). На картине видим обрывистый скальный уступ, спускающийся к одному из узких, довольно обычных на северных и северо-западных берегах острова заливов. Высота скальной стенки 8 м, смотрится она как бастион. На рисунке — тоже справа — скальный обрыв, а слева, но уже несколько поодаль видна вода Ладоги. Высота каменной стенки, приближенной к зрителю, пожалуй, около 10 м. Все, вроде бы, то же самое, но нет...

На картине скальная стенка ровная, вертикальная, хотя



Скалы на о. Валаам. Кукко. Рисунки И. И. Шишкина. 1859 г.

и «зубчатая» в плане, оглаженная, обветренная, точнее обмытая водами Ладоги, которые еще 3—5 тыс. лет назад здесь поднимались выше современного зеркала на 16—17 м. И валуны на переднем плане оглаженные, наполовину утопленные в землю. На рисунке же основная, обращенная к озеру стенка имеет обратный, т.е. от озера уклон и крупную выщербленность. Остаток прежнего, спускающегося к озеру ее фаса на заднем плане явно сохраняет профиль прежнего, «нормального» склона. Только вот порода, его слагающая, сильно расколота, раздроблена, и получившиеся многогранные блоки разделены щелями и несколько смещены друг относительно друга.

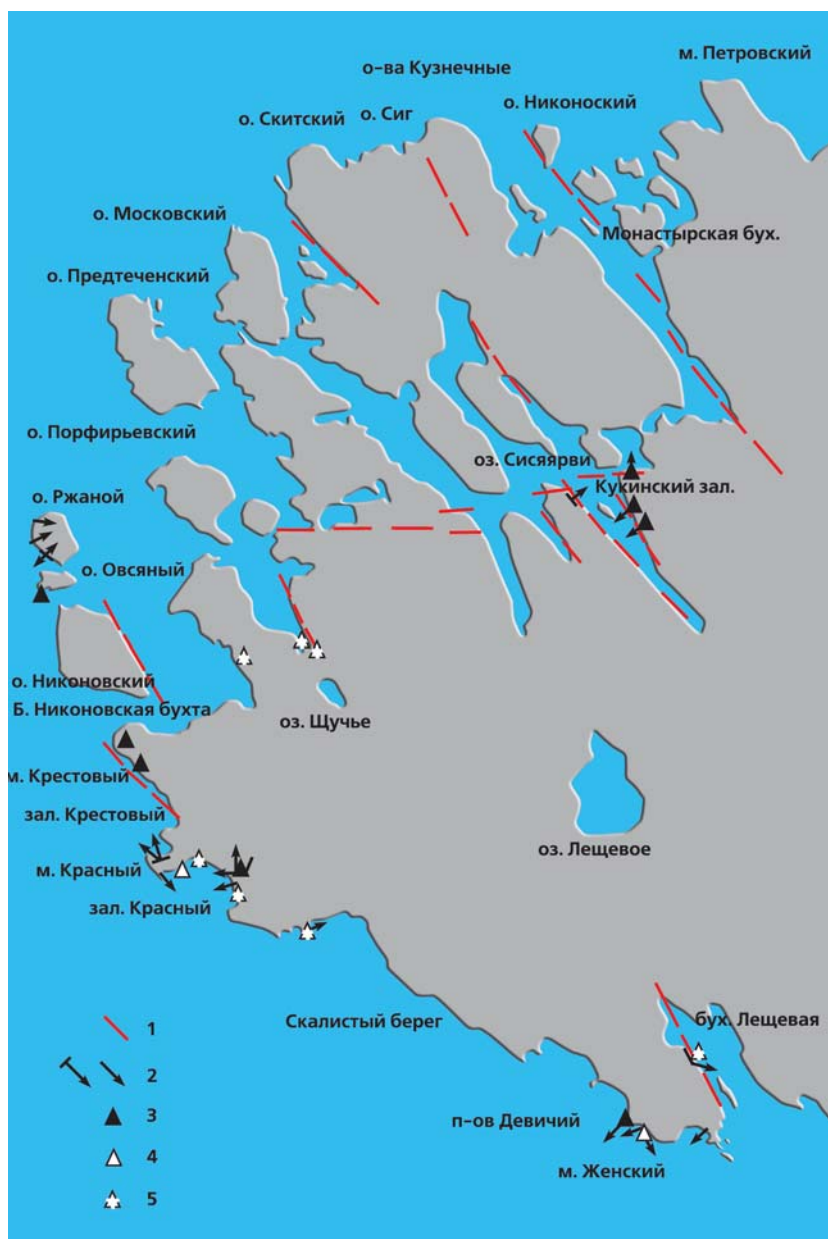
Новообразованная главная стенка с обратным уклоном в верхней части также расколота, но трещины в ней почти горизонтальные. Верх скалы со-

хранился, только плоская плита у вершины слабо и несколько наискосок выдвинута в сторону озера, образуя узкий козырек. Здесь же, всего в 3—5 м от новообразованной стенки, торчит острым выступом вверх кусок скалы как «перст указующий». При этом он запрокинут от стенки в сторону озера. Между ним и главной стенкой видна сужающаяся книзу щель глубиной не менее 3—5 м. Обращенные друг к другу поверхности скальной щели, судя по ряду мелких неровностей, хорошо «прикладываются» друг к другу и явно еще совсем недавно смыкались. О молодости расщелины свидетельствует и острогранность внешних поверхностей откола, и свежесть обеих, раньше прижатых друг к другу плоскостей. Все говорит о том, что «перст указующий» отвалился от «руки», т.е. основной скалы, и не просто отвалился, но оторван, ото-

двинут, отброшен на 2—3 м. О скольжении по какой-то подстилающей плоскости здесь не может быть и речи.

Такой типичный скальный развал для палеосейсмолога — палеосейсмодеформация. Положение и наклон «перста» определенно показывают направление горизонтального удара, создавшего расселину, да примерно и его силу — не менее VII—VIII баллов. Да и возраст можно примерно оценить. Подножье скального уступа возвышается над озером не более чем на 5—6 м, т.е. заведомо ниже уровня, существовавшего 3 тыс. лет назад. А грани развала даже не сглажены водой, значит, он моложе.

А вот другой карандашный рисунок, сделанный двумя неделями раньше (а поступивший в Третьяковскую галерею 30 годами позже), названный просто «Скалы». На самом деле скалы не



Обвалы и разломы северо-западной части о. Валаама (карта составлена автором). 1 — стенки отрыва в скалах; 2 — направления смещения обвальных тел; 3 — обвалы древние (до 3 тыс. лет); 4 — моложе 3 тыс. лет; 5 — неопределенного возраста.

простые (во всяком случае, на Валаама), а разбитые, расщеленные, частью смещенные. И тоже — не случайно. Если бы я видел только этот шишкинский рисунок, вряд ли я мог сказать что-то определенное с геологических позиций. Но мне, видимо, повезло. Еще не зная ранних рисунков художника, начав работать на Валаама, я наткнулся

именно на этот участок с разбитыми и смещенными скалами и его как следует обследовал. И квалифицировал как следствие сильного землетрясения. Конечно, Шишкин не мог этого знать, но обостренным чутьем художника, видимо, почувствовал какую-то необычность, поэтичную драматичность этого скалистого уголка Валаама, и,

спасибо художнику, запечатлел. Теперь в пору рисунки помещать в учебники палеосейсмологии.

Скалы и обрушения глазами специалиста

На северных и западных берегах островов архипелага скальные (диабазовые, а не гранитные, как нередко пишут) уступы и стенки особенно часто встречаются и служат основным элементом рельефа, образующим ландшафт. Их близость к берегам очень важна для определения времени возникновения обвалов и других нарушений. Дело в том, что на Ладоге имеется почти уникальная для внутренних озер возможность оценивать возраст обрушений по соотношению с маркирующим водным уровнем (около 3 тыс. лет назад). Тогда, до образования Невы, на берегах Южной Ладоги относительная высота водного зеркала составляла 14–16 м, а на Северной — 17–18 м (в современных высотных отметках). Это уровень максимума так называемой ладожской трансгрессии.

На западном берегу о. Валаама к воде подходит протяженный скальный уступ высотой 7–20 м, который на нескольких участках сильно разрушен трещинами, дроблением и, главное, раздвижением и смещением отдельных блоков, что уже ранее объяснено сильными (VII–VIII баллов) сейсмическими воздействиями [5]. С тех пор удалось собрать гораздо больше сейсмических фактов в разных частях архипелага.

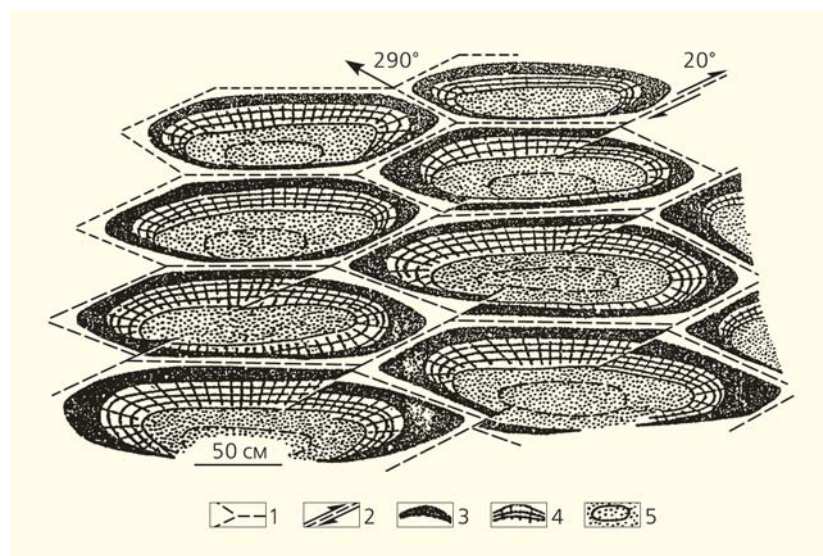
На севере главного острова архипелага отчетливо выделяется широтный линеамент по берегам оз. Сисяярви. Вдоль него заметны пересечения свежих скальных уступов северо-западного и субширотного простирания, которые отчетливо маркируются контурами скальных озерных берегов и следами недавних нарушений.

С точки зрения молодых сейсмодетекторов показатель

лен целый ряд мест. Например, обращенный к северо-востоку уступ наверху имеет две ступени. На нижнюю, относительной высотой около 15 м над озером, со стенки верхнего уступа высотой 10 м перпендикулярно ей свалился глыбовый обвал шириной 20 м, длиной 10 м (поперек стенки уступа, т.е. на расстояние, равное высоте последнего). Глыбы оглаженные, т.е. обвал древний, вероятно, до времени максимума ладожской трансгрессии. Отдельные щели, заколы, скалистые «столбы» со смещениями распространены вдоль борта залива к югу. Все эти нарушения и смещения объясняются не гравитационным сползанием, а сильными боковыми импульсами. Несколько южнее, но еще на траверсе оз. Сисяярви, на высоком 30-метровом обрыве, обращенном к северо-востоку, выделяются столбы диабазы 1×2×3 м в поперечнике, отошедшие и отклоненные от основного массива, но не перпендикулярно к склону, а наискосок — по азимуту 100°. В двух столбах щели достигают 10–15 см, а наискосок к склону к востоку — до 1.1 м.

Сильно разрушенные скальные склоны прослеживаются и далее к юго-востоку. Так, в 0.7 км от вершины открытого к северо-западу узкого залива, у обращенного к озеру края плоской вершинной гряды высотой над озером 20–22 м, видны небольшие выемчатые уступы высотой около 3 м, экспонированные к востоку. В их выемках заметны навалы отброшенных от стенок глыб размером больше, чем высота бортов, от которых они оторваны (1–3 м), что указывает на их возникновение в результате динамических воздействий, а не под влиянием гравитации.

Подобные же явления обнаружены и на противоположном берегу залива. На расстоянии 0.5 км от его вершины скальный выход высотой над водой 10 м разбит трещинами, а под ним располагается уходящий под воду на глубину более 1.5 м навал



«Котлы» на Баевых о-вах со следами молодых горизонтальных подвижек (по данным А.П.Светова, Л.П.Свириденко [11]). 1 — столбчато-призматическая отдельность; 2 — сдвиговые смещения; 3 — устойчивые к выветриванию бортовые части котлов; 4 — зоны морозного выветривания; 5 — донные части ванн с продуктами выветривания габбро-долеритов.

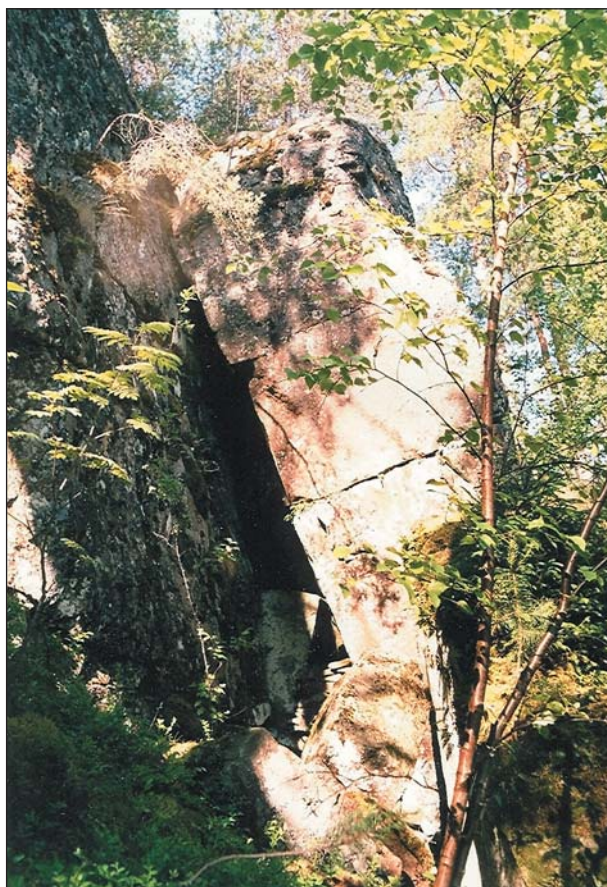
длиной около 40 м и шириной 4–5 м. На центральном его участке, где видны столбы диабазов, глыбы оторваны от стенки высотой 7–8 м примерно перпендикулярно ее простиранию. В теле навала немало заклиненных сверху остроугольных глыб, создающих внутренние полости — «пещеры». Этот массив возник, несомненно, за счет латерального, по-видимому, перпендикулярного к простиранию стенки, динамического воздействия по линии северо-восток–юго-запад. Возраст его моложе максимума ладожской трансгрессии, поскольку глыбы угловаты (в том числе и в воде), не несут следов выветривания и абразии. Сила породившего навал события ~VIII баллов.

Восточный участок широтно-го линеамента западнее залива Московский имеет стенку высотой над озером до 25 м. И здесь на протяжении около 30 м породы сильно раздроблены щелями и трещинами продольно и поперечно (к обрыву) так, что выделяются крупные столбы-пластины строго широтного простирания.

Современная стенка представляет крупный продольный блок длиной 10 м, толщиной 3 м, перекошенный по вертикали и отделенный щелями от основного массива на высоту не менее 5–7 м. В восточной части структуры выделяется блок-столб высотой 7–8 м при ширине 2–3 м (он утолщается книзу) и длиной вдоль уступа примерно 6 м. Поскольку верх столба прислонен к основному скальному массиву, а низ отодвинут от него на 1.0–1.7 м, между блоком и массивом получилась «пещера» в поперечнике шатровой формы. Весь этот восточный блок отодвинут от главного на 1–1.3 м к востоку.

Между тем выдвигание обоих рассеченных ею фрагментов блока одинаковое, что говорит о более молодом возрасте трещины.

Весь блок опустился к северу на 1–1.3 м в сторону склона. Об этом же свидетельствует и такая же (1.2 м) разница в высоте залегания субгоризонтальной аплитовой жилы толщиной 6 см на обеих сторонах «пещеры». Блок осел и наклонился,



1600 лет назад произошел отрыв и сбрасывание скального блока с образованием «пещеры» в тыловой части, у входа в Кукинский залив. Там же под скальным уступом возник глыбовый обвал.

Здесь и далее фото автора

нижняя его часть смещалась к северу монолитом так, что выдвинута к северу над основанием по плоскости, наклоненной внутрь всего склона, т.е. против силы тяжести. Ясно, что речь идет не об отседании склона и не о его гравитационном смещении, но о его отделении трещинами от массива и перекосе в результате сейсмического толчка (возможно, с вертикальной составляющей), импульс которого распространялся по северо-западному направлению. Несомненно, что он произошел после дегляциации массива Валаамских о-вов (т.е. 18–15 тыс. лет назад).

Вместе с тем автономность, другая направленность смещений и относительная молодость смещений верхних плит, во всяком случае на восточном блоке-столбе, определенно указывают

на возникновение по меньшей мере еще одного импульса, направленного по оси северо-восток—юго-запад, скорее с юго-запада. Ниже восточного края главной продольной расщелины (под входом в «пещеру») располагается скальный навал общим объемом $\geq 100 \text{ м}^3$. Он залегает на склоне крутизной 45° на высоте над озером 6–10 м, т.е. ниже верхнего уровня трансгрессии, между тем как дно «пещеры» (полости) находится на абс. высоте около 18 м, т.е. вероятного максимального уровня ладожской трансгрессии здесь, воды которой в период ее максимума, вероятно, и отмыли полость. Обвал, без сомнения, сейсмогравитационный, о чем можно судить и по его вытянутости не поперек склона, по направлению силы тяжести, но на 30° вбок и по пространственно-геометрическому

соотношению с восточным блоком-столбом и соответственно направлению смещения верхних блоков на нем.

Судя по поверхности глыб, обвал обновлялся после максимума ладожской трансгрессии, т.е. после 3 тыс. лет назад. Изпод глыб и обломков под озером на относительной высоте 7 м извлечен комель можжевельника (возрастом >100 лет). Отсюда можно сделать вывод о том, что когда дерево росло на абс. высоте ниже 18–15 м, на этом уровне после максимума ладожской трансгрессии уже была суша. Иными словами, таким способом возраст обвала определяется моложе 3 тыс. лет назад. Время гибели можжевельника (под обвалом) $1600 \pm 40 \text{ } ^{14}\text{C}$ (ГИН—11495), т.е. IV в. Это и есть возраст обвала. Так как обвал порожден землетрясением, также

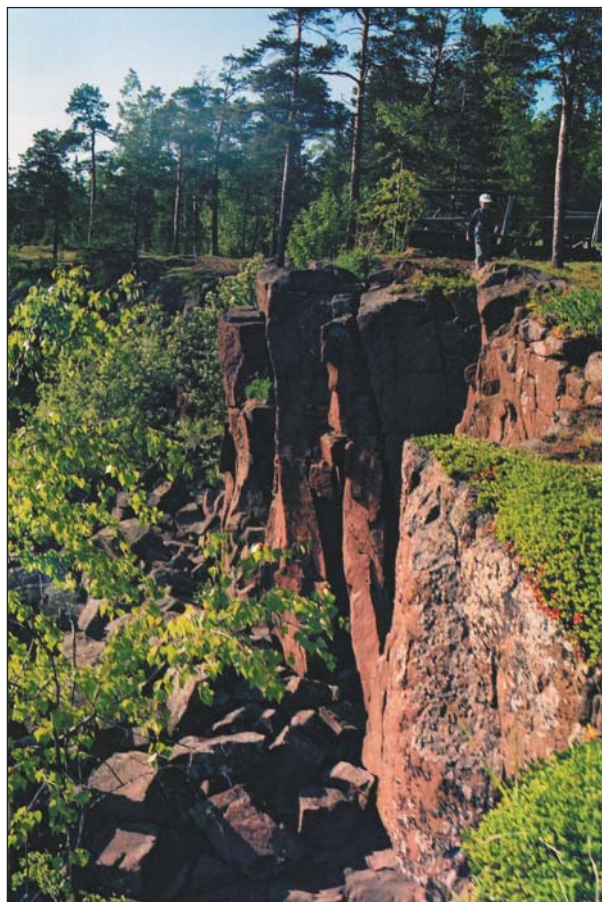
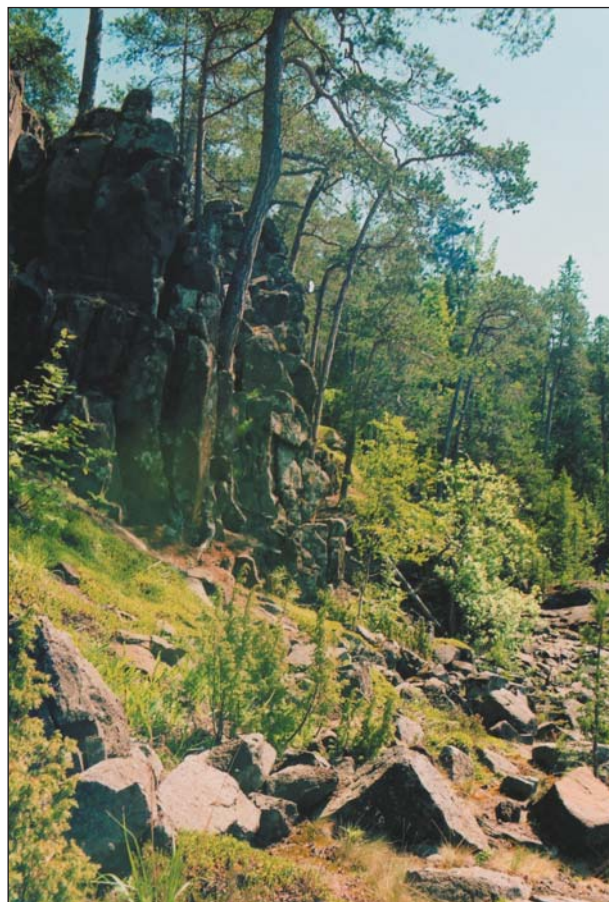
как и молодая (не последняя!) генерация сейсмодетформаций вверх скального выступа, возраст гибели дерева соответствует времени землетрясения. Сила его, судя по очертаниям глыб, величине смещения верхних блоков на козырьках, дальности отброса (не простого сваливания под обрыв), не менее как 7—8 или 8 баллов. Естественно при этом считать, что целый ряд скальных сейсмодетформаций и обвалов того же направления и схожих размеров, обследованных на севере и северо-западе Валаама, а также на северном склоне о.Святого, порождены этим же мощным событием. Между прочим, последний из рассмотренных участков и есть местность Кукко (ныне Куккинский залив). Да-да, та самая Шишкинская. Запечатленная на двух его ранних рисунках 1859 г. Так что все сходится.

По имеющимся сведениям, наиболее вероятно, что очаг землетрясения располагался к юго-западу от о.Валаама под акваторией Ладожского озера, на участке, где помещается и источник слабых колебаний в первой половине XX в. [4, 5].

Свидетельства геологов

Все приведенные наблюдения идут, так сказать, по разряду морфологических. А нет ли признаков собственно геологических? Автору таковых обнаружить не удалось. Более наблюдательными были геологи А.П.Светов и Л.П.Свириденко, много лет отдавшие изучению Карелии и Северного Приладожья [11]. На Байевых о-вах, что восточнее о.Валаама, на высоком берегу они обнаружили выходы габбро-долеритов с гори-

зонтальным срезом столбчатой призматической отдельности древнего интрузива. Это выглядит как срез росших впритык друг к другу деревьев, или лучше — как искусственная выкладка деревянной брусчатки мостовой из поперечно распиленных стволов. Только поперечник каждого «ствола» около 2 м. Настоящая «мостовая гигантов». И вот эти-то «стволы» оказались рассечены системой вертикальных взаимопересекающихся трещин. По трещинам края «стволов» сместились на 5—10 см по горизонтали. Такое могло произойти только при резком горизонтально направленном импульсе, проще говоря, при землетрясении. Но самое интересное для нас состоит в том, что дислокации оказались очень молодыми. Исследователи заметили, что поверхность «мостовой гигантов» не-



Скальные обрывы в диабазах с обвалами у подножия в северо-западной части о.Валаама.

ровная, выступы соответствуют внешним кольцам столбов, тогда как углубления — внутренним частям столбов. Несомненно, такое «выветривание» могло возникнуть только, когда мостовая оказалась отмытой от покрывающего рыхлого покрова волнами или уже совсем осушилась. Авторы полагают, что виновато «морозное выветривание». В данных условиях это могло произойти только после 3 тыс. лет назад или еще ближе к нашему времени. Чтобы так рассечь «плиты» мостовой гигантов, нужен, само собой разумеется, очень мощный горизонтальный импульс, пожалуй, около IX баллов. Уместно заметить, что указанные авторы приводят немало и других случаев новейших и молодых тектонических нарушений в разных местах Северного Приладожья [11].

А если вернуться к ранним свидетельствам и прочитать внимательно первую, ныне, можно сказать, забытую геологическую публикацию по Валааму, то уже в ней обнаружим указания на трещины в скальных диабазах на нескольких островах архипелага, по которым «иные параллелепипеды» подняты и сдвинуты со своего места [7]. Миклуха-Маклай относил это за счет воздействия припайного льда. Такое не исключено. Но и сейсмическая причина не менее вероятна.

Назад в пещеру

Ну, а что мы имеем на о.Святом, том самом, где, по преданию, еще в XI—XIV вв. в «пещере» поселились преподобные Сергей и Герман, и где 230 лет назад капитан Яков Мордвинов заметил каменья, что «упали с верха и расшились»?

Северный и частично западный берега о.Святой выделяются даже по отношению к северным берегам о.Валаама своей высотой и крутизной. Здесь перепад высот (глубин) у берега

достигает 150—160 м на заложении первых сотен метров. В нижней половине надводных частей это скальные стенки высотой в целом до 30 м, частью отвесные. Берег простирается субширотно, а на северо-западе по азимуту 70°, наиболее вероятно, в согласии с тектонической (разрывной) структурой, отделяющей скальный массив этого острова от глубокой впадины Северной Ладogi. На высоте 12 м над озером стенки разделены уступом, площадку которого по наличию на южном берегу песчаных отложений есть основания считать террасой (верхним уровнем ладожской трансгрессии). Пещера располагается как раз у подножья уступа в тыловой части террасы, поэтому, вероятно, она выработана прибоем во время максимума ладожской трансгрессии вдоль уходящей в глубь массива зоны трещиноватости и выветривания. Сама она представляет собой щель, проход длиной около 15 м, высотой 2—2.5 м при ширине около 1.5 м. У входа щель напоминает искусственные проходы к погребальным камерам (дромосы) в захоронениях античного времени в Средиземноморье. Вокруг входа по склону действительно разбросаны обломки и глыбы разного размера и степени угловатости. В 2001 г. нависающих над пещерой каменьев уже не было. Трудно решить, убрали ли их при подновлении входа или они свалились на террасу при одном из последующих сотрясений, например, около 1800 г., следы которого обнаружены на северо-западных берегах Ладogi [12]. Во всяком случае, после образования пещеры за счет расширения первичной трещины в диабазах волнами озера во время максимума ладожской трансгрессии около 3 тыс. лет назад сильные сотрясения острова происходили. Их признаки заметны, во-первых, в самой пещере. Ее стенки обложены колотыми и тесаными блоками друг на друге по 3-5 рядов, естест-

венно положенными на плоские стороны горизонтально. Между тем в настоящее время и справа и слева по ходу два-три верхних ряда наклонены к западу (т.е. на правой по ходу стенке внутрь (!) стены), а торцы блоков вдвинуты и выдвинуты на несколько сантиметров по отношению к линии отвеса. Если каждое такое отдельное смещение слева можно было бы объяснить выдавливанием в пустое пространство прохода, то справа, внутрь кладки, его не объяснить без воздействия направленного импульса.

Помимо обвала возле пещеры примечательны два скальных обвала на северном склоне о.Святой. Один из них находится в плановом углублении верхнего обрыва на обращенном к северо-востоку 40° его участке, он сорвался по этому азимуту с обрыва и лег на промежуточную площадку (абразионную террасу) так, что его поверхность наклонена к воде под углом 15°. Скальный продольный (вдоль уступа на данном участке) обвал имеет размеры 20×5—6×2 м, т.е. объем около 220 м³, и состоит из крупных, разного объема глыб.

У подножья склона на скальном берегу наблюдается другой обвал из плит, по размерам отдельности соответствующих видимым в прилежащей стенке диабазов. Он свалился по азимуту северо-восток 20°, т.е. наискосок к местному простиранию берега и стенки. Имеются основания считать оба обвала сейсмообвалами, которые могли случиться при сотрясениях не менее 7 баллов. Верхний обвал (без следов водной обработки глыб) и породивший его импульс явно моложе времени максимума ладожской трансгрессии, а нижний может быть еще моложе. Ориентировка обвалов к северо-северо-востоку может указывать на направление импульса или оттуда, или, скорее, с юго-юго-запада, где под глубинами Ладogi резонно помещать очаговую область [4, 5].

Теперь и много позже

Итак, автор беретя утверждать, кстати, не первый раз [5, 12], что Валаамские о-ва в прошлом, и не столь уж далеко, подвергались воздействию сильных землетрясений. И валаамские скалы тому надежные свидетели. Только надо уметь читать потаенную «клинопись скал». Это вовсе не значит, что землетрясения виноваты во всех случаях повреждения и обрушения валаамских скальных бастионов. Несомненно, обвалы глыб и крупных фрагментов скальных обрывов могут возникать спонтанно и совершенно независимо от землетрясений.

К таким относительно недавним случаям относится, например, отмеченный в июле 1998 г. в Сортавальских шхерах на о. Корнетсаари (вблизи о. Орьятсаари). Обвал возник ночью, разбудил спящих туристов, утром они увидели упавший кусок

скалы и ощутили характерный запах от соударения скальных изверженных пород (запись М.В. и И.В. Петровых). Передают сведения и о других случаях. Капитан судна «Посейдон» рассказал о новом «обвале горы» в хорошо знакомой ему бухте Якимлахта. Скала торчала над водой, под ней большая глубина, куда все и ушло. Было это в 90-х годах прошлого века. Но все это частности в жизни валаамских скал по сравнению тем, что с ними происходило при толчках интенсивностью VII, VIII (и более?) баллов. Разумеется, редко, но как рельефно и значительно для ландшафта и его обитателей. И тут нельзя не заметить: Валаам с рассматриваемой точки зрения вовсе не исключение, подобные и еще более впечатляющие сейсмодеформации во множестве обнаружены за годы работы в Северном Приладожье моими предшественниками и автором этих строк [12].

Впервые я попал на Валаам в 1997 г. Моему спутнику и помощнику внуку Виктору было тогда восемь лет. По Валаамским скалам он лазил проворно и с энтузиазмом помогал в замерах. В маршрутах же, особенно на обратном пути, валился с ног и «пищал». С ним вместе, а затем и без него работал я на Валааме позднее еще и еще... Теперь Виктору скоро 20 лет. Он на полторы головы выше деда, добрый молодец. Его интересы и области их применения от Валаама весьма далеки. И вряд ли он до скал Валаама доберется. Но вечным скалам не к спеху. Со своими сокровениями они подождут других природолюбцев и природознатцев. Такие придут. И узнают несравненно больше, чем удалось нам.

А сами скалы Валаама, что бы о них не узнали нового, останутся и вечными, и изменчивыми, и священными. ■

Литература

1. Валаамский монастырь. СПб., 1864.
2. Замечательная жизнь и деятельность настоятеля Валаамского монастыря игумена Дамаскина. СПб., 1904.
3. Валаамский патерик. Схимомонах о. Иоанн / Спасо-Преображенский Валаамский монастырь. «Паломник». 2001. С.188—216.
4. Ассиновская БА. Сейсмические события на Ладогe в XX веке // Изв. РГО. 2005. Т.137. Вып.4. С.70—77.
5. Ассиновская БА, Никонов АА. Загадочные явления на Ладожском озере // Природа. 1998. №5. С.49—53.
6. Тракт в Валаамский монастырь капитана Якова Мордвинова с товарищи, водою, Ладожского уезда из Рождественского Пашского погоста, учиненный 1777 года. Записки капитана Якова Яковлевича Мордвинова. Ч.1. СПб., 1888. С.41—48.
7. Миклуха-Маклай М.Н. Геологический очерк Олонецкого уезда и островов Ладожского озера, расположенных вокруг Валаама. Матер. для геол. России. Т.18. СПб., 1897. С.175—264.
8. Пиккулев И. И.И. Шишкин. М., 1955.
9. Иван Иванович Шишкин, 1832—1898. М., 2007.
10. Шмелев И. На скалах Валаама, 1897.
11. Светов А.П., Свириденко Л.П. Рифейский вулканоплутонизм Фенноскандинавского щита. Петрозаводск. 1995.
12. Никонов АА. Сейсмогравитационные склоновые нарушения в Северном Приладожье // Сортавальский краеведческий сборник. Вып.2. Материалы II международной научно-практической конференции. Петрозаводск, 2008. С.7—25.

Стресс, психическое здоровье и гены

В.Е.Голимбет

«Стресс — бездна, безмолвно поглощающая тысячи жизней, скрытые яды, подводные камни, о которые столько жизней терпят крушение или навсегда получают неизлечимые раны...»*. Это весьма драматичное определение, принадлежащее Ф.Мюллер-Лиеру, не оставляет сомнений в пагубности стресса для здоровья человека, как физического, так и психического. В жизни каждого из нас стрессовые ситуации, травмирующие психику события, да и просто жизненные трудности — частые гости. Специфика факторов, которые считаются стрессовыми и служат причиной негативного эмоционального состояния, называемого дистрессом, меняется на протяжении жизни человека. У детей и подростков это чаще всего психосоциальные ситуации, связанные с отношениями в семье и в кругу сверстников, у людей более старшего возраста — экономические трудности и заболевания близких родственников, а у пожилых — собственные недомогания и болезни.

В то же время совершенно очевидно, что реакция на стресс индивидуальна. Одни люди обладают значительной психофизиологической устойчивостью, у других стресс вызывает невротические реакции вплоть до клинических симптомов депрессии и в худшем случае хрониче-



Вера Евгеньевна Голимбет, доктор биологических наук, руководитель лаборатории клинической генетики Научного центра психического здоровья РАМН. Круг научных интересов включает молекулярную генетику, генетику психических заболеваний, генетико-математический анализ.

ские психические расстройства. Подобные межиндивидуальные различия могут быть связаны с генетическими особенностями. Какова же роль генов в их проявлении и вообще, можно ли эти гены выявить и помочь людям, особо восприимчивым к воздействию стрессовых факторов, справляться с ними?

Физиологические механизмы, вызывающие реакции на стресс у животных и у человека, изучены достаточно подробно. Первой на стрессовое воздействие реагирует симпатическая система: учащается сердцебиение и растет кровяное давление. Обеспечивают такую активность медиаторы адреналин и норадреналин, которые начинают вырабатывать мозговое вещество надпочечных желез. Одновременно подключается гипофизарная надпочечниковая система: кора надпочечников выделяет гормоны и глюкокортикоиды. За работу этой системы отвечает гипоталамус, в котором синте-

зируется кортикотропин, стимулирующий гипофиз. Тот, в свою очередь, вырабатывает адренокортикотропный гормон, активирующий кору надпочечников, которая секретирует глюкокортикоиды. Когда их содержание значительно повышается, секреция адренокортикотропного гормона прекращается. Таким образом, замыкается круг так называемой негативной обратной связи, в котором главные действующие лица — гипоталамус, гипофиз и надпочечники (в литературе их часто объединяют одним термином — гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая ось).

При нарушении работы физиологической системы, определяющей реакцию на стресс, в организме развиваются соматические и психические расстройства. Нас интересует именно психическая реакция на воздействие стрессовых факторов, и в первую очередь ее связь с индивидуальными генетическими особен-

* Цит. по: Татевосян А. // Российский психологический журнал. 2006. №6. С.88.

ностями. Как ни странно, имеющиеся сегодня экспериментальные данные говорят о том, что гены, определяющие устойчивость к стрессу, непосредственно в работу указанной выше системы не вовлечены. Эксперименты на животных и эпидемиологические исследования в группах людей, оказавшихся в стрессовых ситуациях, выявили гены, имеющие отношение к нейрохимическим системам мозга, прежде всего к обмену серотонина. В целом первые сообщения не были столь удивительными, поскольку важная роль этого биогенного амина в регуляции активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси хорошо известна.

В моделях на животных серотонин стимулирует выработку кортикотропина и соответственно адренокортикотропного гормона с последующей секрецией кортикостероидов. В головном мозге он способствует передаче сигнала по нейронам, играя важную роль в становлении развивающегося мозга. Передача сигнала включает в себя несколько этапов: синтез серотонина из аминокислоты триптофана, его транспорт в специальных пузырьках (везикулах) к синапсам, где и происходит передача сигнала от одного нейрона к другому. Из везикул серотонин высвобождается в синаптическую щель, находящуюся на стыке двух нейронов, пресинаптического и постсинаптического. Попадая в постсинаптический нейрон, серотонин соединяется с рецепторами, а избыток его захватывается специальным белком, транспортером серотонина, и возвращается в пресинаптический нейрон (рис.1).

Именно ген, кодирующий переносчик серотонина, оказался в центре внимания исследователей всего мира. Обнаруженные в его структуре особенности привели в дальнейшем к интригующим открытиям. Но прежде чем рассказать о них, остановимся на общих представлениях о структуре гена. Любой ген мо-

жет существовать в виде нескольких вариантов. Такой полиморфизм обусловлен изменениями в последовательности нуклеотидов, например заменой одного нуклеотида на другой, потерей или вставкой одного нуклеотида или целого фрагмента ДНК. Часто полиморфизм связан с присутствием участков, включающих в себя один и тот же фрагмент ДНК (например, сочетание из 10 пар нуклеотидов AGTCTTAACG), число копий (повторов) которого может различаться. Разнообразие вариантов одного гена может быть достаточно большим (рис.2). Однако в практике молекулярно-генетических исследований обычно используют полиморфные участки, представленные двумя аллелями или тремя генотипами (возможное сочетание аллелей).

В гене переносчика серотонина в области, прилегающей к промотору (она запускает работу гена), обнаружили участок, в котором содержалось различное число повторов, каждый длиной 22 пары нуклеотидов

(рис.3). У человека наиболее распространены аллели, имеющие либо 18 повторов (длинный аллель), либо 16 (короткий аллель). Когда ДНК, включающую разные аллели, вводили в клетки лимфобластов и затем культивировали их для оценки транскрипции и трансляции каждого варианта, выяснилось, что в случае короткого аллеля активность гена ниже, чем в случае длинного. У людей европейской расы длинный аллель встречается чаще, чем короткий (60% и 40% соответственно); у азиатов, наоборот, короткого аллеля больше.

Поскольку серотонин, как многим, наверное, известно, определяет наш эмоциональный настрой, интересно сравнить некоторые психологические характеристики у людей, имеющих различные варианты гена переносчика серотонина. Первая работа в этом направлении касалась черт темперамента. Оказалось, что у носителей одного или двух коротких аллелей больше выражены так называемые признаки тревожного ряда,

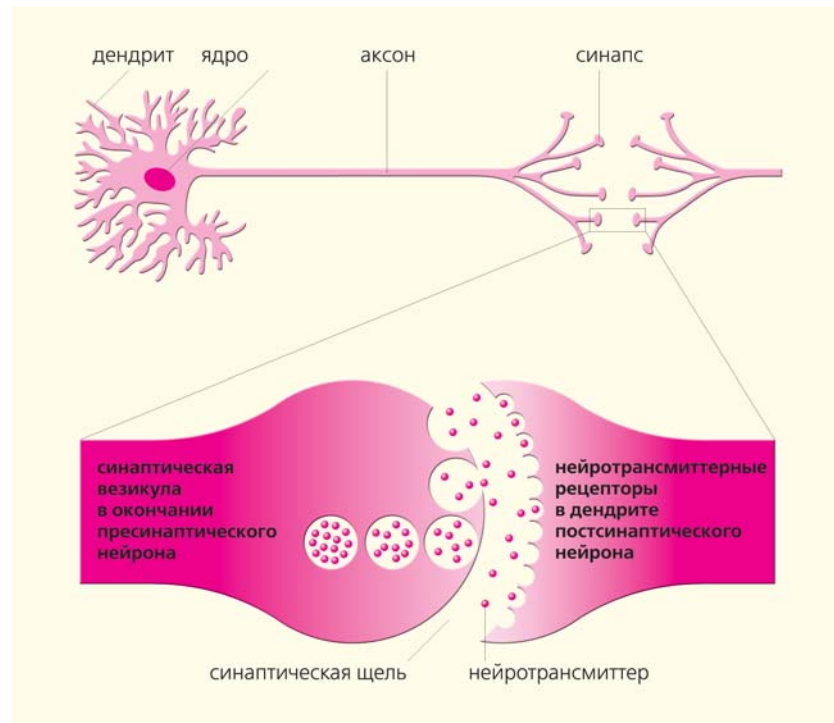


Рис.1. Схема передачи сигнала от одного нейрона к другому. Внизу — структура синапса.



Рис.2. Полиморфизм генов, обусловленный изменениями в последовательности нуклеотидов. Справа — электрофореграмма ДНК с разными аллелями. 1 — от каждого родителя унаследован аллель 1; 2 — от одного из родителей наследуется аллель 1, а от другого аллель 2; 3 — от каждого родителя унаследован аллель 2.

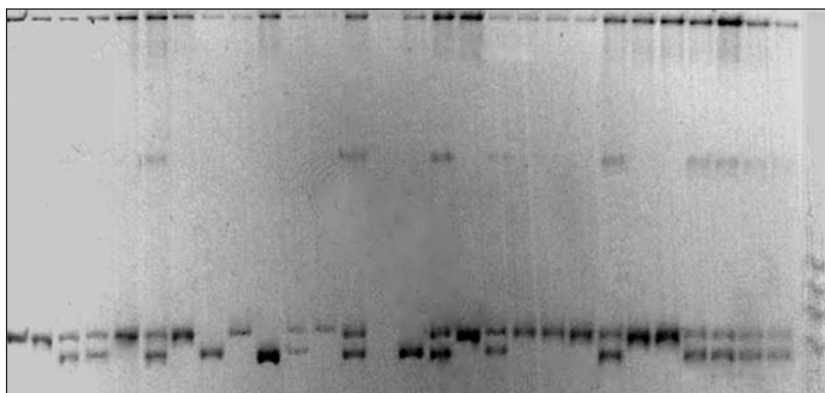


Рис.3. Электрофореграмма генотипов, содержащих длинные и короткие аллели.

в том числе нейротизм, тревожность, избегание вреда*. Изуче-

* *Нейротизм* (невротизм) — черта личности, для которой характерны эмоциональная неустойчивость, тревога, низкое самоуважение, вегетативные расстройства; *тревожность* — склонность индивида к переживанию тревоги, характеризующаяся низким порогом возникновения реакции тревоги; один из основных параметров индивидуальных различий; *избегание вреда* — черта темперамента, выделяемая в рамках психобиологической модели С.Р.Клонинджера, которая характеризует степень антиципационной тревожности, застенчивости, угрюмости, страха перед опасностью и неизвестностью.

ние аллельного полиморфизма переносчика серотонина у приматов также выявило его связь с особенностями поведения. Установлено, что этот полиморфизм появился на поздних ступенях эволюции, а его возникновение некоторые исследователи гипотетически связали с социальной адаптацией. В частности, предположили, что носительство короткого аллеля предопределяет приспособление человека и других приматов к жизни в сложных социальных группах. Высказывались и более спекулятивные гипотезы о его

роли в формировании национального характера, точнее для японской популяции, в которой преобладают короткие аллели. Японские исследователи предположили, что увеличение частоты короткого аллеля обуславливает эмоциональную сдержанность и межличностную чувствительность. Эти типичные для японцев черты способствуют адаптации, нацеленной на сохранение социума.

Использование методов нейровизуализации позволило буквально увидеть различия в эмоциональных реакциях у носителей разных форм гена. Как это было сделано? Физиологическую активность мозга у носителей разных генотипов изучали методом компьютерной томографии. У испытуемых, получивших эмоционально негативную информацию (им показывали изображения разгневанных и испуганных лиц), регистрировали физиологическую активность участков головного мозга, связанных с обработкой эмоционально значимой информации. Оказалось, что у носителей хотя бы одного короткого аллеля активность миндалины была самой высокой. В последующих работах выяснилось, что носители этого аллеля отличались и повышенной метаболической активностью в области поясной извилины. Негативный эмоциональный стимул вызывал у них нарушения в системе обратной связи. Приятные ощущения такой реакции не давали.

Еще одну анатомическую особенность, связанную с полиморфизмом гена, обнаружили при изучении объема подушки таламуса. Эта важная структура головного мозга участвует в подсознательной работе мозга — ощущении опасности, интуиции, эмоциональной чувствительности. У людей, имеющих два коротких аллеля, объем подушки таламуса увеличен по сравнению с носителями длинного варианта. И число нейронов (как показатель активно-

сти этого органа) у носителей коротких аллелей почти на 1.5 млн больше. Это может быть причиной увеличения нагрузки на лимбическую систему мозга, отвечающую за обработку эмоциональной информации. Если же такая нагрузка еще и усиливается за счет сильного стресса, срабатывает принцип «где тонко, там и рвется», т.е. возникает нарушение психики. И действительно, носительство короткого аллеля связано с предрасположением к депрессии. Во многих исследованиях показано, что у депрессивных больных частота короткого аллеля выше, чем в контрольных группах. Кроме того, такие больные реагируют на лечение иначе, чем носители длинного аллеля. И хотя еще рано говорить об использовании этого открытия в практической медицине, но первый шаг в индивидуальном подходе к лечению депрессии с учетом генотипа больного уже сделан.

Может ли определенный генотип в условиях стресса привести человека к депрессии? Этому вопросу посвящено несколько сложных по замыслу и исполнению исследований. В пионерской работе группы ученых из Великобритании под руководством профессора А.Каспи участвовало более 800 молодых людей, у которых определили генотип переносчика серотонина. Все испытуемые на протяжении нескольких лет вели записи о происходивших в их жизни стрессовых ситуациях и периодически отвечали на вопросы анкеты, позволяющей выявить признаки депрессивного состояния. В ходе эксперимента некоторым участникам поставили диагноз клинической депрессии. Оказалось, что развитие такого состояния действительно зависело не только от стрессовых событий, но и от генотипа индивида. У людей, имевших одну или две копии короткого аллеля, стрессовые ситуации вызывали депрессивное состояние или клиническую депрессию,

а у носителей двух длинных аллелей подобной реакции на стресс не наблюдали.

Полученные результаты настолько воодушевили ученых, что вслед за первым сообщением последовали публикации о модулирующей роли гена переносчика серотонина в развитии депрессивного состояния, вызванного стрессом. Эти работы различались по демографическим и социальным характеристикам исследуемых групп, а также по видам стрессовых воздействий. Например, признаки депрессии изучали у детей, выросших в социально неблагополучных семьях или испытавших жестокое обращение в раннем детстве; у взрослых людей среднего возраста, потерявших работу или вынужденных ухаживать за тяжелобольным родственником; у пожилых, перенесших травму (перелом шейки бедра) или пораженных тяжелым недугом (инфаркт миокарда, инсульт, болезнь Паркинсона). А в исследовании, проведенном в США, в качестве стрессора рассматривали ураганы, которые в последние годы нанесли значительный ущерб жителям штата Флорида. Во всех случаях налицо был схожий результат — носительство короткого аллеля под влиянием психо-социального стрессора повышает риск развития депрессии. Надо отметить, что не во всех случаях исходной мерой было депрессивное состояние. Психическую реакцию оценивали по уровню выраженности невротических симптомов, тревожности, психологическому восприятию стресса.

Естественно, зависимость между генотипом, стрессовым фактором и признаками депрессии оказалась более сложной, чем это представлялось в начале исследований. Выяснилось, что генотип играет опосредующую роль только в том случае, если стрессовое воздействие достаточно значимо для субъекта (ее степень оценивал сам участник исследования, проставляя число

баллов в соответствующем опроснике). Результаты других исследований показали, что очень важно количество стрессовых событий, случившихся в жизни индивида за последний год: чем больше неприятностей переживается, тем сильнее проявляется роль короткого аллеля в проявлении дистресса.

Судя по результатам некоторых работ, взаимодействие между генотипом и стрессовыми событиями по-разному реализуется у мужчин и женщин. Так, в одном исследовании опосредующее влияние короткого аллеля обнаружили только у женщин. У мужчин же наблюдалась прямо противоположная картина: признаки депрессии под влиянием стрессовых ситуаций проявлялись у них только при наличии в генотипе длинного аллеля. Причем авторы последней работы получили сходные результаты при изучении двух независимых групп испытуемых. Одна из них включала людей, ухаживающих за страдающим болезнью Альцгеймера родственником, а в другой рассматривали стрессовый фактор, относящийся к детству испытуемого, а именно низкий социальный статус отца семейства (по данным психосоциальных исследований, он оказывает негативное влияние на психическое состояние взрослого человека). Тем не менее, пока описанная выше взаимосвязь не подтверждена другими исследовательскими группами, ее следует трактовать с осторожностью.

Еще одним опосредующим фактором, но уже не демографическим, а социальным, служит моральная и экономическая поддержка людей, подверженных повышенному риску развития психических заболеваний в силу своих генетических особенностей (в данном случае речь идет о носительстве коротких аллелей переносчика серотонина). Так, при обследовании жертв ураганов риск развития посттравматического

стрессового расстройства оказался в 4.5 раза выше среди людей, у которых носительство короткого варианта гена переносчика серотонина сочеталось с высоким уровнем стресса (в наиболее опасной зоне действия урагана) и отсутствием должной социальной поддержки после пережитого ими потрясения.

К сожалению, пока непонятно, какие физиологические механизмы обуславливают повышенную чувствительность к стрессовым событиям у людей с короткими аллелями переносчика серотонина. Как мы уже говорили, серотонин участвует в активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси. Поскольку уровень этого медиатора в клетках в значительной мере зависит от эффективности работы его переносчика, предположили, что последний играет роль в физиологическом ответе на стрессовое воздействие. Действительно, эксперименты на животных показали, что у мышей, у которых ген переносчика серотонина выключен, при воздействии стрессовых факторов резко увеличивается уровень адренкортикотропного гормона. Изучали обезьян, в геноме которых ген переносчика серотонина также представлен длинным и коротким аллелями. Интересно, что у носителей короткого аллеля уровень этого гормона повышался, только если животные находились в стрессовой ситуации, например воспитывались не матерью, а в общей стае. У детенышей, имевших длинный аллель, также разлученных с матерью при рождении, или с коротким аллелем, но выращенных под материнским присмотром, таких гормональных изменений не наблюдалось.

В исследованиях, оценивающих влияние стресса на биохимические показатели человека, у участников эксперимента, испытывающих стресс, измеряли уровень кортизола до, во время

и после теста. Носители двух коротких аллелей (гомозиготы) отвечали на стрессовое воздействие повышенным уровнем кортизола. В другом исследовании показана связь между носительством этого аллеля и выведением норадреналина с мочой. Известно, что воздействие различных стрессоров повышает выделение этого вещества с мочой. Люди с коротким аллелем продемонстрировали большую реактивность по отношению к стрессовым факторам — уровень норадреналина у них был выше, чем у гомозигот по длинному аллелю.

Психические проявления обусловлены совместным влиянием многих генов. Поэтому неудивительно, что после обнаружения первого из них начались поиски следующих кандидатов, способных влиять на устойчивость к стрессу. Им оказался ген мозгового нейротрофического фактора (МНТФ), который находят в нейронах и глиальных клетках — гиппокампе, миндалине, таламусе, нохой коре. В соответствии со своим названием он оказывает трофическое действие на нейроны с различной специализацией, в том числе и серотонинергические. Мозговой нейротрофический фактор также имеет отношение к работе гипоталамус-гипофиз-надпочечниковой оси. Показано, что повышение уровня глюкокортикоидов снижает активность этого трофического фактора в гиппокампе при стрессе.

Интенсивно изучать ген МНТФ стали совсем недавно. Лет пять назад появились статьи, в которых сообщалось о присутствии в нем полиморфного маркера Вал66Мет (Val66Met), с помощью которого появилась возможность выявить людей с различными формами гена. Оказалось, что примерно 80% европеоидов обладают аллелем Вал (по названию аминокислоты соответствующего белка — валин), а 20% — аллелем Мет (метионин). В зависи-

мости от наличия той или иной формы гена различается выраженность психических проявлений. Например, у людей, имеющих аллель Мет, объемы некоторых отделов мозга (лобной коры и гиппокампа) в среднем меньше, чем у носителей двух копий аллеля Вал. Такие морфологические особенности могли повлиять на познавательные способности, связанные с указанными отделами. Действительно, обнаружено, что носители двух копий аллеля Мет хуже выполняют некоторые психологические тесты, оценивающие память. При изучении черт темперамента у носителей различных генотипов установлено, что люди с двумя аллелями Вал более тревожны. Ученые решили посмотреть, в какой степени комбинации аллелей двух генов влияют на устойчивость к стрессу.

Первые работы проводились на мышах — двойных мутантах, у которых полностью выключили ген переносчика серотонина и частично ген МНТФ. Предпологалось, что недостаток мозгового нейротрофического фактора в процессе развития мозга животных при отсутствии функции переноса серотонина скажется на их поведении. Действительно, мыши-мутанты проявляли повышенную тревожность при проведении различных тестов, например, при прохождении по водному лабиринту. У них также при воздействии различных стрессовых факторов повышался уровень адренкортикотропного гормона, а в зонах гипоталамуса и гиппокампа уменьшалось число нейронов. У людей сочетание аллелей этих двух генов, в частности двух коротких аллелей переносчика серотонина и двух аллелей Вал, оказывалось весьма неблагоприятным для их носителей, если они попадали в стрессовые ситуации.

Мы исследовали родителей, у которых ребенок страдает тяжелым психическим заболеванием (шизофренией или маниа-

кально-депрессивным психозом). Психологи давно сообщали о высокой частоте эмоционального стресса и невротических состояний у родственников таких больных, объясняя это высокой степенью психологической и физической нагрузки. Показано, что родственники больного страдают от эмоционального истощения, испытывают тревогу и гнев, нередко ощущают себя «полностью уничтоженными». Для оценки их психо-эмоционального состояния использовали известный психологический опросник — стандартизированный многофакторный метод исследования личности (СМИЛ*, в английской литературе используют сокращенное название ММРІ). С помощью такого опросника можно количественно определить, в какой степени у индивида выражены черты депрессии и тревожности.

В исследовании участвовало более 200 человек, в контрольную группу вошли 100 человек, не имеющих родственника, страдающего каким-либо тяжелым заболеванием. У всех участников определяли генотипы переносчика серотонина и МНТФ. Оказалось, что носители двух копий короткого аллеля переносчика серотонина и двух аллелей Вал МНТФ по сравнению с носителями других аллельных сочетаний отличались самыми высокими показателями по шкалам Ипохондрия (Hy), Депрессия (D) и Психастения (Pt) (рис.4). В целом интерпретация теста указывает на снижение порога толерантности к стрессу. При этом в контрольной группе аналогичной закономерности выявлено не было.

Совсем недавно в зарубежной печати появилась работа, в которой методом нейровизуа-

* Подробнее узнать о возможностях этого теста можно в книге Л.Н.Собчик «СМИЛ (ММРІ). Стандартизированный многофакторный метод исследования личности» (СПб., 2006).

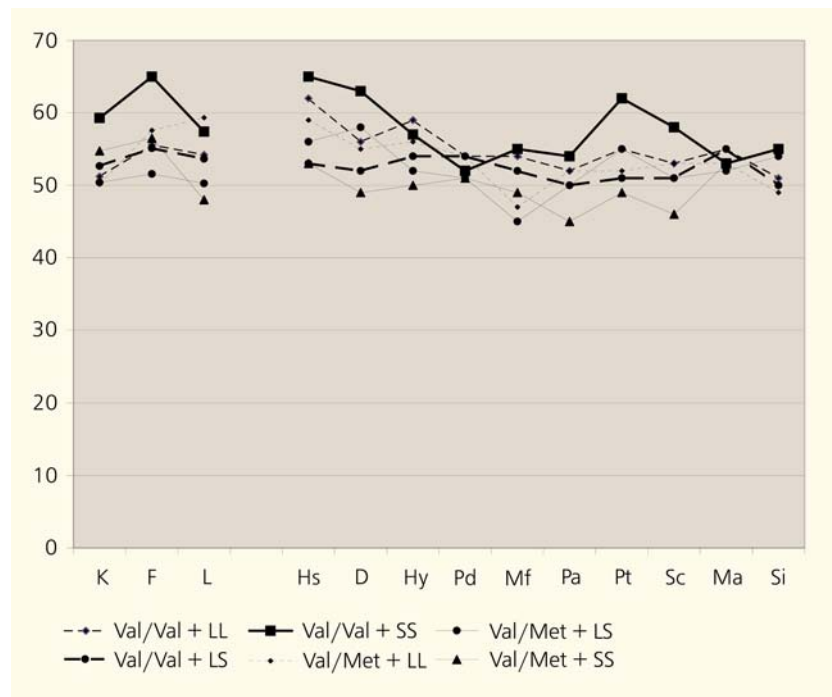


Рис.4. Оценка психо-эмоционального состояния с помощью метода СМИЛ у носителей различных аллельных комбинаций переносчика серотонина и мозгового нейротрофического фактора. У носителей генотипов, содержащих два длинных аллеля (LL) переносчика серотонина и два аллеля Вал (Val/Val), отмечены наиболее высокие значения по шкалам Ипохондрия (Hy), Депрессия (D) и Психастения (Pt).

лизации изучались некоторые анатомические особенности мозга у носителей вышеприведенного сочетания аллелей. Оказалось, что присутствие хотя бы одной копии короткого аллеля переносчика серотонина и двух копий аллеля Вал гена МНТФ уменьшало объем серого вещества в участке поясной коры и миндаины по сравнению с носителями аллеля Met. Такие нейроморфологические особенности влияют на целостность связей между двумя мозговыми структурами, что, по мнению авторов работы, формирует биологическую основу для возникновения негативных эмоций и депрессии.

Наверное, читателю стало понятно, что поиск генетических предпосылок устойчивости к психосоциальным стрессорам далек от завершения. Но уже сегодня на основании по-

лученных результатов можно говорить, что обнаруженные закономерности чрезвычайно важны для практической медицины. Информация о генотипе человека может помочь выявить предрасположенность к депрессии у пациентов с различными соматическими заболеваниями, в том числе и с сердечно-сосудистыми заболеваниями, от которых в мире страдают десятки миллионов человек. Депрессивные состояния, возникающие примерно у 20% таких больных, составляют большую проблему для кардиологов, поскольку увеличивают риск повторных приступов и влияют на уровень смертности в целом. Своевременное выявление признаков депрессии могло бы помочь выбрать стратегию лечения людей с генотипами риска уже на ранних этапах заболевания. ■

Научные сообщения

Совки-вампиры

В.С.Кононенко,

кандидат биологических наук

Биолого-почвенный институт ДВО РАН

Владивосток

Д.М.Заспел

Университет штата Флорида

Таллахасси (США)

Совки-вампиры — тривиальное название бабочек подсемейства кальпин (Calpinae) семейства совок, или ночниц (Noctuidae). Столь кровожадное имя кальпины получили из-за необычного для бабочек (чешуекрылых насекомых, Lepidoptera) поведения

самцов рода калиптра (*Calyptra*), которые способны питаться кровью млекопитающих животных. На этот феномен геморафагии у чешуекрылых насекомых впервые обратил внимание швейцарский энтомолог Х.Банзигер: путешествуя в 1967 г. по Юго-Восточной Азии, он обнаружил в дождевых лесах Малайзии кровососущих бабочек

Calyptra eustrigata на теле крупных млекопитающих (слонов, тапиров, зебу, буйволов и домашних животных) [1]. Банзигер окончательно убедился в достоверности увиденного в природе явления, проведя соответствующие эксперименты, в которых калиптры прокалывали кожу и сосали кровь животных и человека.

© Кононенко В.С., Заспел Д.М., 2009



Широколиственные леса и обширные поляны — характерные биотопы видов рода калиптра в Приморье.

Здесь и далее фото авторов

Этот тип питания — исключение из общего правила. Подавляющее большинство бабочек, в том числе и совок — наиболее крупного и разнообразного семейства чешуекрылых, в котором более 35 тыс. видов (из них около 2 тыс. — в России), относящихся к 25—30 подсемействам, — кормятся нектаром цветов, вытекающим соком деревьев, реже соком сочных спелых или разлагающихся плодов. Известно также, что чешуекрылых насекомых могут привлекать выделения человека и животных (пот, слюна, моча, экскременты и т.д.), однако неспециализированным и относительно мягким хоботком бабочки способны лишь слизывать выделения теплокровных животных. Таким образом, например, получают дополнительное питание совки (в их числе и большинство кальпин) и огневки (Pyalidae) [2]. И лишь некоторые калиптры могут атаковать животных и человека и питаться их кровью.

Банзигер выяснил, что к бабочкам-вампирам относится восемь восточноазиатских видов рода калиптра, распространенных в южной части субтропиче-

ской и северной части тропической зон в горных лесах на высотах 1000—1600 м над ур.м. от Северо-Восточной Индии до Непала, Таиланда и Малайзии [3—5]. За 20 лет наблюдений и опытов в природе и в зоологических садах Таиланда и Малайзии Банзигер подробно изучил поведение кровососущих видов [3,6,7].

Кальпины (сравнительно небольшое подсемейство совок в основном тропических и субтропических регионов Старого и Нового Света) отличаются от других чешуекрылых насекомых не только характерной формой крыльев, но и рядом специализированных морфологических признаков, в частности — особым строением хоботка. Жесткий хоботок этих бабочек приспособлен для прокалывания довольно плотной оболочки плодов. Поврежденные фрукты поражаются бактериями и загнивают, поэтому в Юго-Восточной Азии и Австралии многие виды кальпин считаются злостными, экономически значимыми вредителями плодов сельскохозяйственных культур (цитрусовых, персиков, слив, яблонь, груш, бананов, манго, литчи, дуриана, рамбутана и др.) [8—13].

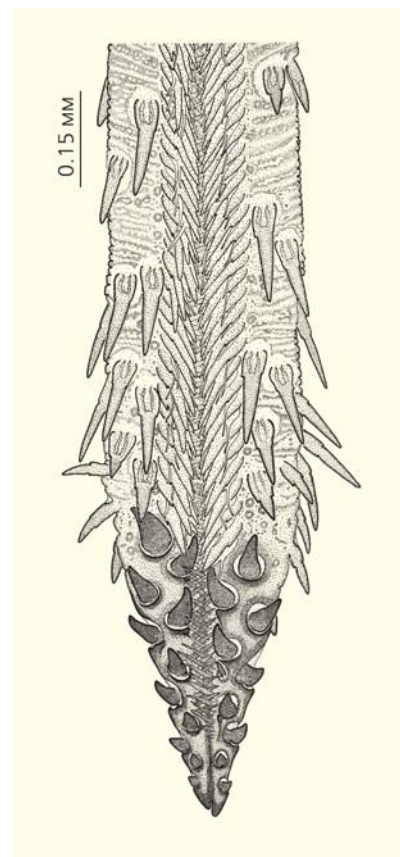
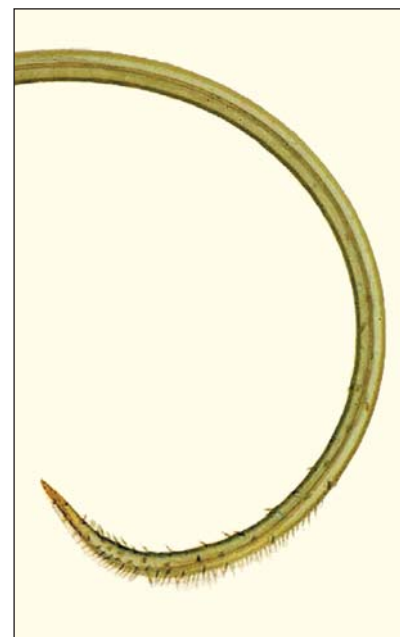
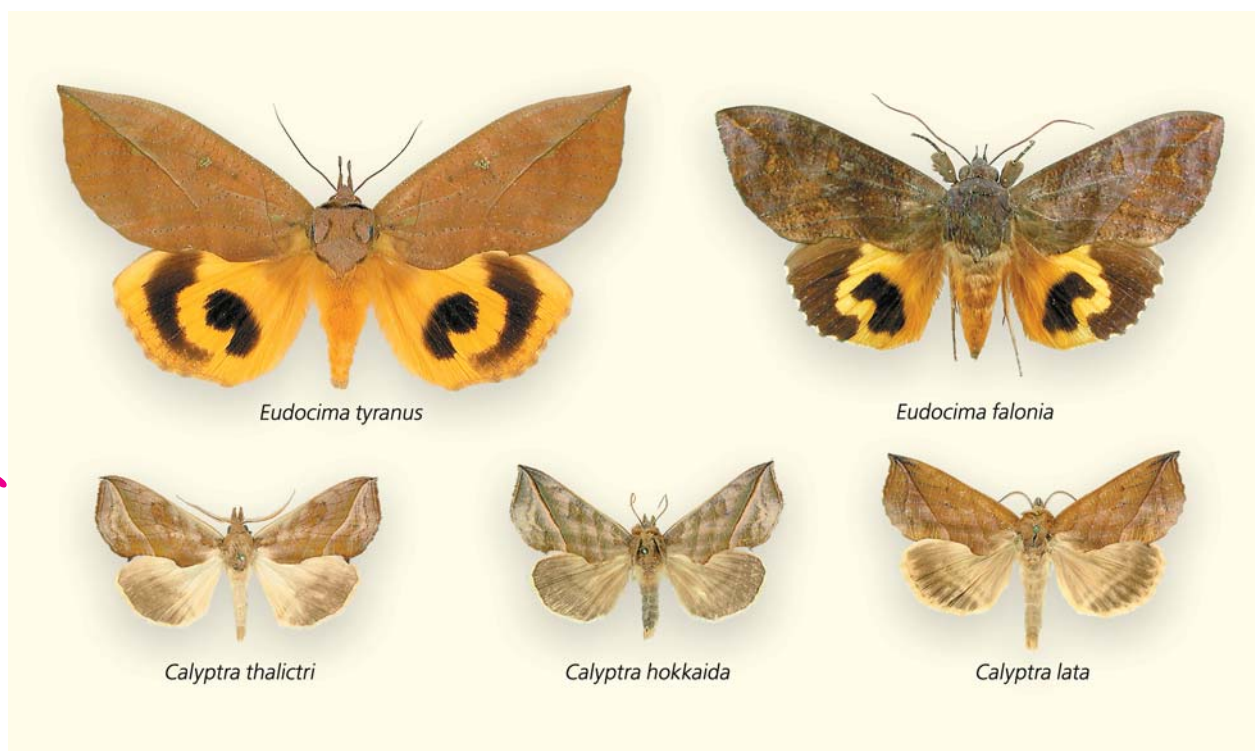


Схема строения хоботка бабочки *Calyptra eustrigata*. Твердые острые крючки на конце хоботка позволяют калиптрам прокалывать кожу млекопитающих животных.



Бабочка калиптры василистниковой на кормовом растении. Справа — микрофотография ее хоботка.



Дальневосточные виды семейства кальпин.

У бабочек калиптр (род состоит из 21 вида, распространенных в основном в Восточной Азии) модифицированный сильно склеротизированный на конце хоботок оснащен к тому же мощными заостренными крючками, которые позволяют проникать не только сквозь твердую поверхность фруктов, но и кожу крупных млекопитающих.

На территории России (в основном на юге Дальнего Востока) обитает 14 видов подсемейства кальпин. В их числе два вида рода *Eudocima* — змеинокрылая совка (*E. tyrannus*) и совка фалония (*E. falonia*). Эти одни из самых крупных видов чешуекрылых фауны России, достигающие более 85 мм в размахе крыльев, распространены в Восточной Азии от Борнео до Приморья и Приамурья. Два вида рода калиптра (*C. lata* и *C. hokkaida*) встречаются только на Дальнем Востоке. Третий дальневосточный вид — калиптра василистниковая (*C. thalictri*) — распространен также в европей-

ской части России, Центральной и Южной Европе, где обитает еще один вид кальпин — зубчатокрылая совка (*Scoliopteryx libatrix*).

Следует отметить, что ареал калиптры василистниковой в последнее время расширяется: недавно этот вид был обнаружен на севере Европы — в Финляндии и Швеции, где ранее не встречался. Биология и поведение *C. thalictri* довольно хорошо изучены — известно, что в Европе и Японии бабочки этого вида могут прокалывать хоботком ягоды малины и винограда и питаться соком плодов. Однако в «вампирических наклонностях» эти бабочки, как и другие виды умеренной зоны, никогда ранее уличены не были.

В июле 2006 г. один из авторов этих строк (Д.Заспел) приехала в Приморский край, чтобы собрать материал для диссертационной работы, посвященной таксономии и филогении подсемейства кальпин мировой фауны. Помимо генетических исследова-

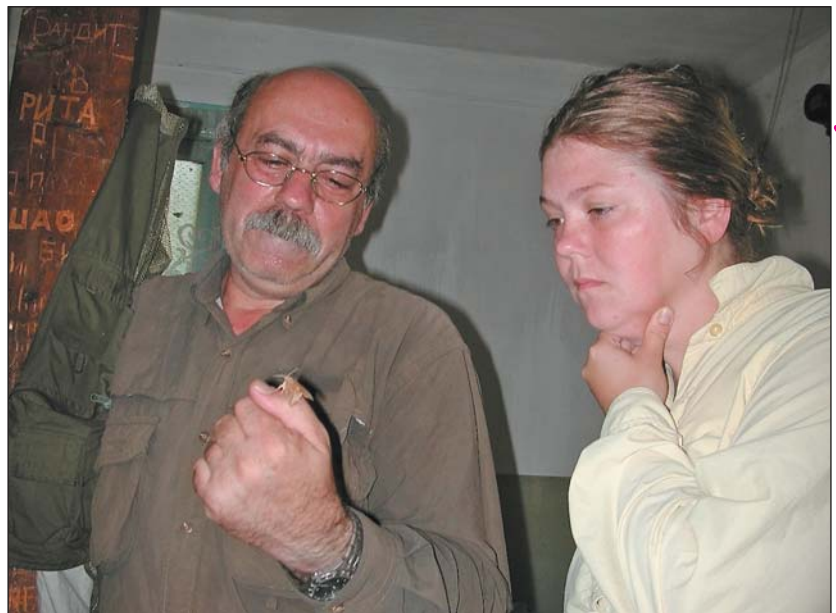
ний интересно было изучить поведение бабочек в разных популяциях и выяснить, способны ли местные, обитающие в условиях умеренной зоны, виды рода калиптра питаться кровью человека и животных.

Мы провели совместные полевые работы в зоне хвойно-широколиственных лесов южного Приморья и собрали бабочек двух видов — *C. thalictri* и *C. lata*. Ловили их на свет ультрафиолетовой лампы и помещали в садок, а затем в широкую пробирку. Дважды в день (на «завтрак» и «ужин») бабочкам предлагали напиток крови «подопытного» исследователя, который подносил к пробирке большой палец руки таким образом, чтобы бабочка не могла вылететь. Из 16 экземпляров *C. thalictri* четыре бабочки прокалывали кожу и сосали кровь в течение 8–10 минут, при этом ни одна из 10 бабочек *C. lata* даже не пыталась сделать это.

В середине июля мы оказались на территории Борисов-

ского охотничьего хозяйства под Уссурийском. Наш лагерь располагался на опушке долинного широколиственного леса с обширными полянами — характерным биотопом калиптр с обилием кормовых растений гусениц обоих видов — василистника (*Thalicttrum* spp.) и луносемянника даурского (*Menispermum daburicum*).

В первый же вечер в охотхозяйстве второй соавтор (В.С.Конonenko) обнаружил калиптру, сидящую на стволе войлочной вишни. Осторожно зажав бабочку в кулаке, исследователь собирался поместить ее в садок, однако она выбралась на свободу, но не улетела. Бабочка уселась на большом пальце и начала пальпировать кожу хоботком, затем вонзила заостренный его кончик в 5–6 мм от ногтя, проколола кожу и начала совершать вращательно-поступательные движения, вонзая хоботок все глубже и глубже. Боль от этого была сравнима с укусом слепня. Около 10 мин бабочка несколько раз погружала до середины хоботок в ранку, затем наполовину вынимала его, при этом было видно, как по нему поднимается кровь. Бабочка не собиралась улететь и позволила вой-

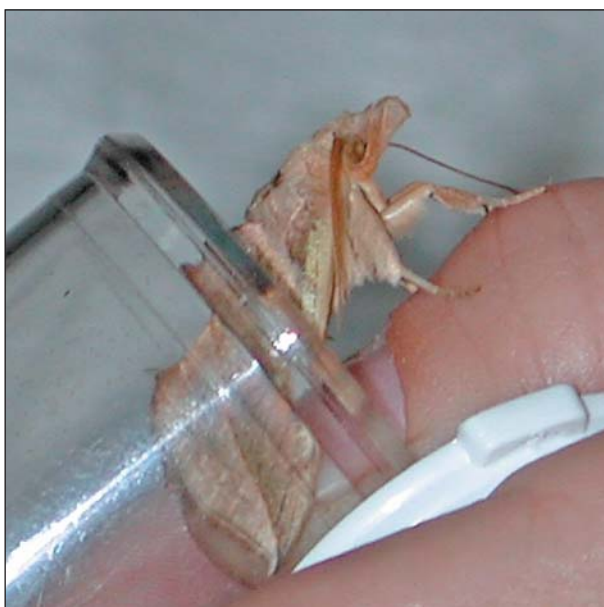


Авторы статьи, наблюдающие за самцом калиптры василистниковой.

ти в дом, чтобы предстать перед заинтересованными взорами американских ученых. Как и в предыдущих случаях, это оказался самец калиптры василистниковой. В течение всего времени он спокойно сидел на пальце, не реагируя даже на прикосновения, и мы успели запечатлеть его на камеры в разных ракурсах. Насытившись, бабочка

вынула хоботок, место на пальце вокруг ранки немного опухло; след от «укуса» в виде красного пятна и легкая боль сохранялись еще два дня.

Так впервые был зафиксирован случай нападения *C. thalictri* на человека в естественных условиях и отмечено явление геморрафгии у чешуекрылых в умеренных широтах [14].



Калиптра василистниковая прокалывает кожу пальца во время эксперимента и в естественных условиях.

Такое необычное поведение бабочек, естественно, вызывает у человека страх. Пока неизвестно, могут ли виды *C. thalictri* переносить патогенные микроорганизмы. Заспел обнаружила в желудке *C. thalictri* бактерии из того же рода, который встречается в желудках тропических пиявок. Патогенное значение «укусов» калиптра несомненно заслуживает дальнейшего исследования. Вероятно, может развиваться аллергическая реакция у людей с повышенной чувствительностью кожи. Осенью того же года в лабораторию энтомологии Биолого-почвенного института ДВО РАН обратилась пожилая женщина, которой бабочка нанесла в предплечье 10–12 «укусов»; следы от них и раздражение на коже, по описанию потерпевшей, сохранялись две-

три недели. Можно предположить, что бабочка красновато-коричневого цвета, с хохолком и характерной косой линией на передних крыльях принадлежала к роду калиптра и, скорее всего, *C. thalictri*.

К счастью, нападение бабочек на человека случается чрезвычайно редко: в наших опытах 2006–2008 гг. прокалывали кожу и сосали кровь не более 1% от всех пойманных бабочек. Повидимому, питание кровью совок рода калиптра носит факультативный характер и несравнимо с облигатным паразитированием кровососущих насекомых — комаров и слепней, самкам которых кровь млекопитающих необходима для созревания яиц. Напомним, что у видов рода калиптра во всех случаях (и в тропиках, и в умерен-

ных широтах) питаются кровью только самцы, да и то не все. Поскольку они при оплодотворении самок, как известно, вместе со сперматофором передают питательные вещества, естественно, что самцы-вампиры обеспечивают будущее потомство более полноценным питанием по сравнению с собратьями-вегетарианцами. Не исключено, что геморрафagia, как факультативное питание, у совок-вампиров — очень важное эволюционное приобретение, позволяющее поддерживать численность популяции при недостатке традиционного корма в неурожайные годы. Кроме того, на примере этой группы насекомых можно проследить один из возможных путей становления и эволюции паразитизма у чешуекрылых. ■

Литература

1. Bänziger H. // Bull. Entomol. Res. 1968. V.58. № 1. P.159–163.
2. Bänziger H. // Rev. Suisse. Zool. 1972. V.79. № 4. P.1381–1469.
3. Bänziger H. // Acta Trop. 1970. V.27. № 1. P.54–88.
4. Bänziger H. Bloodsucking moths of Malaya // Fauna 1. 1971. P.3–16.
5. Bänziger H. // Mitteil. Schweiz. Entomol. Ges. 1980. V.53. P.127–142.
6. Bänziger H. // Acta. Trop. 1979. V.36. P.23–37.
7. Bänziger H. // Mitteil. Schweiz. Entomol. Ges. 1989. V.62. P.215–233.
8. Todd E.L. The fruit-piercing moths of the genus *Gonodonta* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) // Tech. Bull. Agr. Res. Serv. US Dpt. of Agr. № 1201. Washington, 1959.
9. Yoon J.K., Lee D.K. // Korean J. Plant Protect. 1974. V.13. № 4. P.217–225.
10. Bänziger H. // Mitteil. Schweiz. Entomol. Ges. 1982. V.55. P.213–240.
11. Kuroko H., Lewvanich A. Lepidopterous pests of tropical fruits in Thailand // Japan International Cooperation Society. Bangkok, 1993. 1–132 + 34 pls.
12. Sands D., Leibregts W., Broe R.J. // J. Insect Behav. 1993. P.25–31
13. Fay H., Halfpaff K. // Int. J. Pest. Manag. 2006. V.52. № 4. P.317–324.
14. Zaspel J.M., Kononenko V.S., Goldstein P.Z. // J. Insect. Behav. 2007. V.20. №5. P.437–451.

Новости науки

Астрофизика

Исследование солнечных нейтрино в эксперименте «Борексино»

В подземной лаборатории Гран-Сассо (Италия) начала работу экспериментальная установка нового поколения «Борексино». Этот массивный сверхнизкофонный детектор нейтрино создавался более 15 лет совместными усилиями ведущих мировых научных центров Венгрии, Германии, Италии, Польши, России, США и Франции. Установка предназначена для наблюдения сигналов, возникающих при взаимодействии электронов мишени детектора с нейтрино, которые рождаются глубоко в недрах Солнца в ходе термоядерных реакций синтеза при температуре 15 млн градусов. В этих реакциях протоны и ядра легких элементов сливаются друг с другом, а водород преобразуется в гелий с выделением энергии, примерно в 25 млн раз большей, чем при горении нефти, угля или тринитротолуола.

Нейтрино уносят с собой около 3% энергии, выделяемой Солнцем. В отличие от фотонов (которые после своего рождения покидают наше светило лишь через ≈ 40 тыс. лет, двигаясь к поверхности внутри плотного солнечного вещества), нейтрино вырываются из недр звезды всего за несколько секунд и уже через 8 мин беспрепятственно достигают Земли — сквозь каждый квадратный сантиметр ее поверхности ежесекундно пролетает 60 млрд этих частиц. Такое различие в «возрасте» прилетающих на Землю фотонов и нейтрино позволяет судить о выработке солнечной энергии за геологические времена. Единст-

венный способ доказать справедливость термоядерной модели генерации солнечной энергии также опирается на регистрацию солнечных нейтрино.

Глубоко под землю детектор поместили для того, чтобы подавить влияние космического излучения. Структура установки напоминает русскую матрешку: внутри стального цилиндрического бака диаметром 18 м и высотой 16,9 м помещается стальная сфера диаметром 13,7 м. Бак заполнен 2100 т сверхчистой воды, которая защищает детектор от собственной радиоактивности материалов внешних конструкций и природной радиоактивности окружающих горных пород. Благодаря этому слою воды детектор регистрирует также редкие космические мюоны, не поглотившиеся в более чем 1000-метровой толще скал, под которыми расположена лаборатория. Стальная сфера заполнена 1000 т сверхчистого псевдокумола — углеводородного соединения, используемого для защиты центральной части детектора. На внутренней поверхности стальной сферы установлены 2212 фотоэлектронных умножителей — чувствительных приборов, способных улавливать очень слабые вспышки света, которые происходят при взаимодействии нейтрино. Наконец, в центральной части детектора находится прозрачный нейлоновый шар толщиной всего 125 мкм и радиусом 4,25 м. Он-то и содержит 300 т сцинтиллирующей жидкости — мишени для нейтрино. Вода и углеводородные соединения, используемые в детекторе, очищены до рекордно низких уровней собственной радиоактивности.

В детекторе «Борексино» впервые в результате прямых измере-

ний наблюдались нейтрино с энергиями менее 1 МэВ (отметим, что именно в этой области энергий сосредоточено более 99% потока нейтрино от Солнца). Предыдущие технологии не позволяли отличать сигналы столь низких энергий от фонового излучения из-за природной радиоактивности окружающей среды. Чтобы решить эту проблему, потребовалось разработать новые технологии очистки материалов от радиоактивных примесей, в несколько миллионов раз более эффективные, чем применяющиеся в индустрии полупроводников! Достиженный успех открыл путь к построению крупномасштабных детекторов для спектроскопии нейтрино низких энергий. (Кстати, разработанные технологии можно адаптировать для нужд любой промышленности, в которой использование особо чистых веществ имеет принципиальное значение — для фармацевтики и медицины, индустрии производства наноматериалов и электронных компонентов нового поколения.)

Измеряя поток нейтрино, можно не только изучать механизм работы Солнца, но исследовать также массы нейтрино, смешивание ароматов, эффекты осцилляций при распространении нейтрино в вакууме и веществе. Эксперименты, проводившиеся ранее как с природными, так и с искусственными источниками нейтрино, продемонстрировали проявление вакуумных нейтринных осцилляций, гипотеза о существовании которых была выдвинута Б.М.Понтекорво еще в середине 1950-х годов. В случае солнечных нейтрино особенный интерес к этой гипотезе вызвала выдвинутая С.П.Михеевым, А.Ю.Смирновым (Институт ядерных исследований РАН, Моск-

ва) и Л.Вольфенштейном (США) теория усиления осцилляций при движении нейтрино в плотной среде (ее называют эффектом MSW), согласно которой для нейтрино с энергией в области менее 1—2 МэВ доминируют эффекты вакуумных осцилляций, а у нейтрино с большими энергиями усиливаются осцилляции при распространении внутри Солнца.

В эксперименте «Борексина» впервые стали возможны необходимые для проверки эффекта MSW одновременные спектрометрические измерения потоков солнечных нейтрино в широком диапазоне энергий, в частности частиц с энергией 0.86 МэВ, рождающихся в реакции $e^{-}(\text{Be}, {}^7\text{Li})\nu_e$, и нейтрино с энергиями до 15 МэВ, возникающих при распаде ${}^8\text{B}$. Данные, полученные более чем за год, позволили экспериментально установить влияние вакуумных осцилляций на поток бериллиевых нейтрино и усиление осцилляций в веществе для более энергетичных борных нейтрино.

Исследования с помощью установки «Борексина» открывают и другие возможности для экспериментальной нейтринной физики. Детектор обладает высокой чувствительностью к так называемым геонейтрино, т.е. антинейтрино, излучаемым продуктами распада изотопов урана и тория, которые содержатся в недрах Земли. К числу научных целей проекта относятся также регистрация антинейтрино от удаленных ядерных реакторов Европы, мониторинг пучка нейтрино, направляемого в лабораторию Гран-Сассо из ЦЕРНа в рамках проекта CNGS, и даже регистрация нейтрино от вспышек сверхновых на расстояниях до 100 кпс от Земли. Комплекс «Борексина» будет включен в мировую сеть для регистрации нейтринного излучения, сопровождающего вспышки сверхновых.

© Скорохватов М.Д.,

доктор физико-математических наук

© Литвинович Е.А.

РНЦ «Курчатовский институт»

Москва

Астрономия

Где родилось Солнце?

Традиционно считается, что звезды Галактики, родившись в какой-либо ее области, до конца жизни примерно там же и остаются. Это предположение очень важно с точки зрения исследований химической эволюции Галактики: оно означает, что элементный состав отдельной звезды можно отнести и ко всей «галактической местности», в которой она обитает. Однако компьютерная модель, построенная Р.Роскаром (R.Roskar; Вашингтонский университет, США) и его коллегами, показала, что в галактиках, подобных Млечному Пути, звезды на протяжении жизни способны мигрировать на значительные расстояния.

Модель Роскара и его соавторов позволяет изучать движение звезд в спиральной галактике на протяжении длительных интервалов времени, начиная с того момента, когда она не являлась еще ни спиральной, ни вообще дисковой. Точнее, в начальный момент времени будущий галактический диск представляет собою сферическое газовое облако, погруженное в сферическое гало из темного вещества. С течением времени гравитация заставляет газ сжиматься, превращаясь в диск. Поскольку в модель включены все основные процессы в Галактике — образование звезд, вспышки сверхновых, формирование спирального узора, — она позволяет с большими подробностями исследовать движение индивидуальных звезд диска, в частности их взаимодействие со спиральными рукавами и последующую миграцию по Галактике.

До сих пор считалось, что звезды после вхождения в структуру рукава либо остаются примерно на той же круговой орбите, что и до вхождения, либо переходят на хаотическую вытянутую орбиту. Благодаря этому «оседлые» звезды и звезды-«мигранты» легко отличить друг от друга: если звезда находится на круговой орбите, значит, в ее истории существен-

ных перемещений по Галактике не было, и ее параметры можно считать представительными для данного галактоцентрического расстояния.

Расчеты Роскара показывают, что спиральная волна действительно способна сильно изменить размер звездной орбиты, однако орбита в этом случае вполне может остаться круговой. При этом в солнечную окрестность попадают звезды практически со всей Галактики. В основном они приходят из центральных областей диска, но и периферийным звездам путь в солнечную окрестность не заказан. Иными словами, миграция в основном удаляет звезды от центра, но в некоторых случаях способна и приблизить их к нему. В числе звезд, мигрировавших из других областей Галактики на галактоцентрическое расстояние, равное солнечному радиусу, может, разумеется, оказаться и Солнце. Оно также могло образоваться как ближе к центру Млечного Пути, так и дальше от него.

По мнению авторов, их результаты позволяют объяснить широкий разброс в содержании химических элементов, наблюдаемый в Галактике, когда в звездах на одном и том же расстоянии от ее центра содержание металлов может различаться на порядок величины. Этот разброс вполне понятен, если звезды постоянно перетасовываются, а население около-солнечной области Галактики (как и других ее областей) в значительной степени сформировано «пришельцами».

Astrophysical Journal. 2008. V.684. P.179 (США).

Физика

Джон Бардин и безмедные ВТСП

28 мая 2008 г. исполнилось уже 100 лет со дня рождения Джона Бардина — единственного в истории человека, удостоенного Нобелевской премии по физике дважды: в первый раз — за открытие транзисторов, а во второй (вместе с Л.Купером и Дж.Шриффером) —

за создание микроскопической теории сверхпроводимости БКШ, в рамках которой на протяжении почти 30 лет удавалось описать свойства всех известных сверхпроводников. Бардин предложил и несколько нефоновых моделей сверхпроводимости с электронным механизмом спаривания (функцию фононов в этих моделях выполняли спиновые флуктуации). Когда впоследствии были обнаружены купратные высокотемпературные сверхпроводники, исследователь выдвинул гипотезу, что в них действует именно такой механизм, а стандартная теория БКШ к ним неприменима.

Недавнее открытие безмедных слоистых ВТСП ReOFeAs с максимальной $T_c > 50$ К (пока...) бросает теории БКШ еще один вызов: очень уж подозрительно присутствие в их кристаллической решетке атомов железа, которое обычно ассоциируется с ферромагнетизмом (а сильные магнитные поля разрушают «обычную» сверхпроводимость). Наличие в нелегированных соединениях ReOFeAs структурного (при $T \approx 150$ К) и антиферромагнитного (при $T \approx 130$ К) фазовых переходов только запутывает ситуацию. Физик-теоретик Д.Пайнс заметил: будь Бардин жив, он бы стал сторонником магнитного механизма спаривания в безмедных ВТСП, но за расчеты принялся бы лишь после получения надежных экспериментальных результатов (особенно по ядерному магнитному резонансу) на качественных образцах.

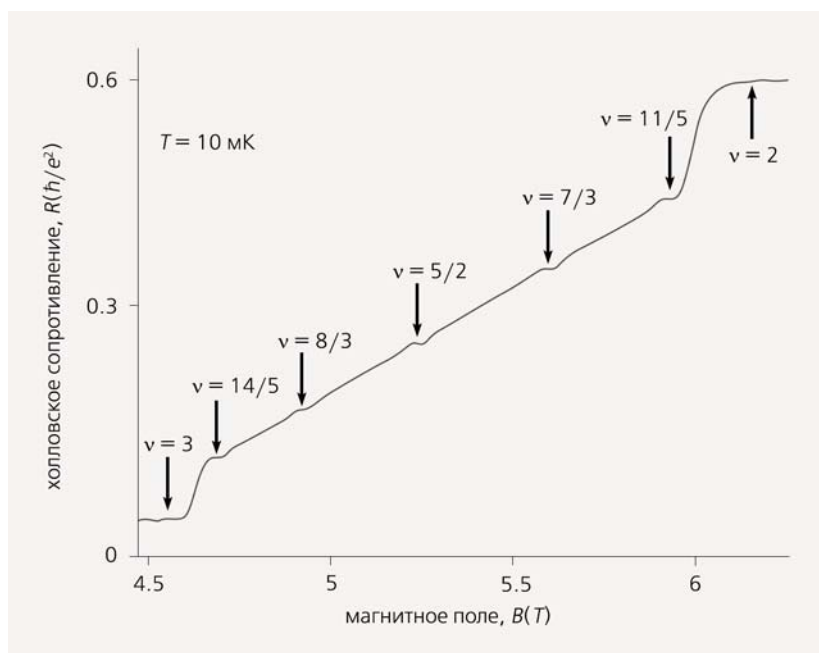
Nature Physics. 2008. V.4. P.446 (Великобритания); <http://perst.issp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.13/14).

Физика

Четверть электрона

В апреле 2008 г. группа израильских ученых из Вейсмановского института¹ сообщила об экспериментальном наблюдении квазичастиц с зарядом, равным чет-

¹ Dolev M. et al. // Nature. 2008. V.452. P.829–834; Fradkin E. // Ibidem. P.822–823.



Зависимость холловского сопротивления от магнитного поля.

верти заряда электрона ($1/4$), в режиме дробного квантового эффекта Холла с фактором заполнения $\nu = 5/2$ (две зоны Ландау заполнены полностью, а одна — наполовину). Заряд частиц удалось определить опосредованно — через измерение дробового шума тока, протекающего через сужение в двумерном электронном газе (мощность такого шума пропорциональна заряду частиц). Ранее в аналогичных экспериментах частицы с дробным зарядом уже наблюдали, но все эти дроби имели нечетные знаменатели. Повышенный интерес именно к заряду $1/4$ связан с возможностью его использования при создании топологического квантового компьютера.

Результат данного эксперимента предсказывала теория, но для успешного проведения исследования понадобились достаточно совершенные гетероструктуры (лучшие из них, на основе GaAs/AlGaAs, выращиваются как раз в Вейсмановском институте — здесь получены рекордные подвижности двумерного электронного газа, а значит, и максимальная длина свободного пробега электронов).

На графике зависимости холловского сопротивления от магнитного поля хорошо видны широкие ступени, соответствующие целочисленному квантовому эффекту Холла. Такие ступени видят многие. Но в промежутке израильским исследователям удалось наблюдать едва заметные, очень узкие ступени, отвечающие дробному эффекту, а это уже редкая удача.

При некоторых дробных величинах фактора заполнения двумерная сильно взаимодействующая система электронов приходит в состояние с упорядочиванием (аналог кристаллизации). В результате кулоновская энергия взаимодействия электронов понижается, и возникает небольшая щель в энергетическом спектре. Из-за ее наличия в этом состоянии при низкой температуре электронный ток становится бездиссипативным, как в сверхпроводниках. Диссипативная компонента возникает из-за наличия в системе возбуждений (квазичастиц), а квазичастицы такого состояния могут обладать дробным зарядом и статистикой, отличной от фермионов и бозонов.

<http://perst.issp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.10).

Топологический квантовый компьютер

Главное (помимо технологических трудностей) препятствие на пути создания квантового компьютера — декогерентизация: она нарушает состояние квантовой системы и не позволяет проводить вычисления. Пытаясь справиться с этой проблемой, теоретики сосредоточили свои усилия на трех направлениях. Одни разрабатывают методы коррекции ошибок (сейчас возможно исправление лишь некоторых их типов). Другие ищут возможности подавления декогерентизации. И, наконец, третьи изобретают устойчивые к ней квантовые системы. Именно такой путь выбрал А.Китавев (Калифорнийский технологический институт, США), предложивший использовать для квантовых вычислений топологические состояния анионов. Идея здесь такова: как состояние не деформируй, его топология сохраняется (в том числе, например, если из шара сделать чашку).

Слово «анион» в данном случае не имеет никакого отношения к его омониму, образованному от английского anion (отрицательно заряженный ион). Оно происходит от слова anupne и означает частицы, перестановка которых изменяет фазу волновой функции на любую величину в интервале от 0 (для бозонов) до π (для фермионов). Анионы обладают свойством, присущим фермионам, — для них работает принцип запрета Паули: две частицы не могут находиться в одинаковом состоянии. Иными словами, траектории этих частиц в пространстве-времени не могут пересекаться и сливаться, как траектории бозонов. Если перестановку частиц изображать как скрещивание траекторий, то возникает аналогия с пряжей. Состояниям из n анионов могут соответствовать топологически разные переплетения (этот зрительный образ позволяет построить математические теории соответствующих групп

и алгебр, которые оказываются неабелевыми).

На таких состояниях в результате «плетения» можно построить квантовый компьютер. Для этой цели особенно удобны частицы с зарядом $1/4$, которые недавно обнаружены в эксперименте. При перестановке таких частиц фаза волновой функции изменяется на $\pi/4$. Система, содержащая $2n$ таких частиц, имеет 2^{n-1} топологически различных состояний. Это и есть основа для квантового компьютера, подобно тому как обычные кубиты в запутанных состояниях создают основу для квантовых вычислений. Устойчивость к декогерентизации интуитивно понятна: как пряжу ни трепать, переплетения сохраняются. Кстати, если аналогию с плетением перенести на электроны, окажется, что все переплетения n электронов топологически одинаковы.

Нерешенных проблем в области топологических компьютеров еще много. Хотя и показано, что на этом принципе можно создать универсальный компьютер для решения любых задач, пока не разработаны квантовые алгоритмы, аналогичные алгоритму Шора и Гровера, которые применяются для традиционных квантовых компьютеров. Так что пока неизвестно, будут ли эти алгоритмы давать ускорение вычислений на топологическом квантовом компьютере по сравнению с классическим. Кроме того, источником декогерентизации может оказаться «вплетение» новых квазичастиц или разрыв нитей, т.е. уничтожение нужных квазичастиц.

Nature. 2008. V.452. P.803–805 (Великобритания); <http://perst.issp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.10).

Физика

Квантовый фазовый переход в молекуле C_{60}

Квантовый фазовый переход — качественное изменение основного состояния физической системы, которое происходит при нулевой температуре за счет изменения какого-либо «контрольного»

параметра, — обычно совершается в макроскопических системах (например, в высокотемпературных сверхпроводниках при легировании). Однако он может возникнуть и в наноструктурах, например в квантовых точках.

Недавно французские физики продемонстрировали такой переход в квантовой точке из одной молекулы фуллерена C_{60} с двумя избыточными электронами¹. Двухэлектронные спиновые состояния $|S, m\rangle$ характеризуются величиной полного спина $S = 0$ или 1 и его проекцией m на ось квантования ($m = 0$ при $S = 0$ — синглет; $m = -1, 0, 1$ при $S = 1$ — триплет). В отсутствие магнитного поля переход из синглетного состояния в триплетное происходит при изменении потенциалов на управляющих электродах.

Детальные исследования квантового фазового перехода в искусственных наноструктурах безусловно помогут лучшему пониманию его протекания в макроскопических твердотельных системах, таких как высокотемпературные сверхпроводники и соединения с тяжелыми фермионами.

<http://perst.issp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.11/12).

Биохимия

Фермент гликолиза из сперматозоидов

В организме млекопитающих существуют две изоформы фермента D-глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы (ГАФД): одна — в соматических клетках всех тканей, другая — в сперматозоидах на определенных стадиях спермиогенеза. Фермент, независимо от формы, участвует в гликолизе, катализируя реакцию окислительно-восстановительного фосфорилирования 3-фосфоглицеринового альдегида (3-ФГА). Свойства соматической ГАФД хорошо изучены, а сперматозоидной (ГАФДс) исследованы очень мало. Известно, что эта форма отличается от соматической нали-

¹ Roch N. et al. // Nature. 2008. V.453. P633–637.

чием дополнительного N-концевого участка, содержащего от 72 (у человека) до 105 (у мыши) аминокислотных остатков, среди которых много пролина. Обе формы кодируются разными генами, причем расположены они в разных хромосомах. Выяснено также местоположение ГАФДс: она находится в фиброзном слое жгутика и не только выполняет структурную функцию, но важна также для регуляции подвижности сперматозоида. Движение спермиев млекопитающих осуществляется за счет энергии гликолиза, и если синтез ГАФДс нарушен, движение блокируется.

Группа исследователей, работающих на факультете биотехнологии и биоинформатики МГУ, а также в НИИ физико-химической биологии им. А. Н. Белозерского МГУ, изучала свойства ГАФДс человека. Этот фермент очень трудно выделить в чистом виде, поскольку он, будучи связан с фиброзным слоем, не экстрагируется ни водными растворами, ни детергентами. Реконбинантный же белок ферментативной активностью не обладает.

Авторы исследования разработали способ получения ГАФДс человека и установили, что фермент состоит из четырех идентичных субъединиц, но каким образом полная молекула связана с фиброзным слоем, определить не удалось. Возможно, предполагают авторы, связь осуществляется через N-концевые участки одной или двух субъединиц, а у остальных эти структурные фрагменты свободны. В каждой субъединице ГАФДс имеется по три цистеиновых остатка (в положениях 21, 94 и 150), которые отсутствуют в соматической изоформе. Экспериментаторы проверили, могут ли эти остатки обеспечивать связь фермента с белками фиброзного слоя в жгутике, и выяснили, что только цистеин-21 способен образовать дисульфидный мостик с этими белками. Роль 94-го и 150-го остатков предстоит еще выяснить.

Биохимия. 2008. Т. 73. Вып. 2. С. 228–236 (Россия).

Зоология

Зачем нужны самцы разной окраски?

В популяциях пресмыкающихся нередко бок о бок живут особи с контрастно разной окраской. Исследованные примеры подобного полиморфизма демонстрируют различные аспекты действия естественного отбора. Один из таких примеров привлек внимание группы специалистов во главе с Мо Хили из австралийского университета Уоллонгонга¹.

Пестрый ктенофорус (*Ctenophorus pictus*) — небольшая, не более 10 см длиной, гамазовая ящерица, обычная для песчаных пустынь Южной Австралии. В популяциях этого вида встречаются самцы двух цветовых морф — с красной и с желтой окраской головы. Во всем остальном внешне они одинаковы. Правда, как показали предыдущие исследования, красноголовые более успешны в конкуренции за ресурсы среды и за самок, а желтоголовые выигрывают в плодотворности: при оплодотворении одной и той же самки они оставляют в три раза больше потомства, чем их красноголовые конкуренты.

Чтобы выявить механизмы поддержания подобного полиморфизма, австралийские исследователи провели ряд экспериментов.

В одном из них они исследовали предпочтения самок. Сначала самкам ктенофоруса предлагался выбор между представителями двух цветовых морф. Оказалось, собственно окраска головы никак не сказывается на интересе самки к потенциальному брачному партнеру. Но исследователи усложнили опыт, предложив выбор между парами самцов. Каждой испытываемой самке приходилось выбирать между двумя одинаково и разно окрашенными самцами. И вот в этом случае выявилось выраженное предпочтение: самки стремились оказаться в компании партнеров разной

¹ Mo Healey et al. // Ethology. 2008. Т. 114. № 3. P. 231–237.

окраски. Иначе говоря, именно выбор самок может определять цветовой полиморфизм самцов в популяции (пример полового отбора).

Пониманию биологического смысла этого явления способствовала другая часть исследования, в которой оценивался успех размножения при однократном и многократном спаривании самок. У этого яйцекладущего вида количество оплодотворенных яиц, как оказалось, одинаково и при однократном спаривании, и при спаривании с несколькими самцами. Однако вылупляемость во втором случае повышается с 72 до 84%!

Наконец, был поставлен еще один эксперимент. Ящериц, использованных в лабораторных наблюдениях, выпускали обратно в природу (естественно, предварительно их пометив). Но не просто так, а группами в разных местах. Причем некоторые группы состояли из самок и самцов какой-то одной окраски, а в других были как желтоголовые, так и красноголовые самцы. В дальнейшем регистрировали повторные встречи особей, оценивая таким образом их выживаемость. И выяснилось, что в смешанных группах выживаемость самок ниже, чем в группах с какой-либо одной окраской самцов.

По результатам этих экспериментов исследователи предложили стройную гипотетическую схему, объясняющую существование подобного полиморфизма: самки предпочитают спариваться с самцами разной окраски, и это способствует множественному оплодотворению, что повышает успех размножения. Но за это эволюционное преимущество (как за все в природе) надо платить. И платой является повышенная смертность самок, которую исследователи связывают с тем, что в полиморфной популяции самки чаще перемещаются между территориями разных самцов, а это повышает риск их гибели.

© Семенов Д. В.,

кандидат биологических наук
Москва

Геофизика

Мантийная конвекция вызывает напряжения на подошве литосферы

В.П.Трубицын (Институт физики Земли РАН, Москва) рассматривает вопрос о напряжениях, которые возникают на границе литосферы и мантии в результате мантийной конвекции.

Как известно, геодинамика и тектоника Земли определяются тепловой конвекцией в мантии, осложненной фазовыми переходами и перераспределением химических компонент. Полный тепловой поток Земли равен 44 ТВт, его обеспечивают поток из ядра (8%), тепло распада радиоактивных элементов мантии (27%) и коры (18%), а также тепло остывания первично горячей Земли (47%). Столь быстрый вынос тепла из недр (за исключением коры) возможен только при конвекции со скоростью мантийных течений ~3 см/год. Несмотря на малые скорости, конвекция в мантии нестационарна и близка к турбулентной. Ни фазовые, ни химические скачки плотности недостаточны для расслоения течений, поэтому конвекция охватывает всю мантию. Верхняя холодная и более вязкая литосфера разбита на плиты; плиты, постоянно возникающие в срединно-океанических хребтах, погружаются затем в мантию в зонах субдукции, участвуя таким образом в глобальном кругообороте вещества мантии. Представляя собой верхнюю часть конвективной ячейки, океанические плиты движутся со скоростями мантийных течений. Континенты плавают на мантии миллиарды лет, дрейфуя под действием сил вязкого сцепления с мантийными течениями на подошве и торцах плит и постоянно частично обновляясь, то уменьшаясь при эрозии и размывании снизу, то увеличиваясь в случае присоединения островных дуг и внедрения плюмов. Большие континенты, оказываясь над несколькими конвективными ячейками с разнонаправленными скоростями, дрейфуют со скоро-

стью в несколько раз меньшей средней скорости конвекции. Деформации и напряжения в мантии и коре постоянно возникают благодаря градиентам скоростей и меняются со временем.

При изучении напряжений в коре и мантии, отмечает автор, исследователи используют два основных типа моделей — региональные и глобальные. В региональных рассматриваются либо области зон субдукции, либо хребтов океанических плит, либо отдельные части континентов. Поскольку относительно небольшая область не требует сложной расчетной сетки, можно в конвективную модель включить и детально просчитать параметры течения и напряжения не только в мантии с литосферой, но и в коре. В глобальных же моделях кору и литосферу обычно рассматривают в качестве граничных условий для мантийной конвекции и рассчитывают только напряжения на подошве литосферы.

В региональных моделях континентальных и океанических областей увязывают между собой эффективную вязкость в коре и мантии (до глубины порядка 50 км), давление, напряжение и деформации. При заданном начальном распределении температуры решение уравнений конвекции (уравнение Стокса и переноса тепла) для несжимаемой жидкости позволяет рассчитать эволюцию течений в мантии и полное поле напряжений и скоростей деформации в литосфере и коре.

В случае глобальных моделей, при большом объеме вычислений, допускаются упрощения: вязкость мантии считается зависящей только от глубины; латеральное распределение плотности, вызывающее течения, находят по данным сейсмической томографии путем пересчета сейсмических скоростей в плотность по определенному соотношению, при этом вычислительные возможности ограничивают точность расчета до 30-й гармоники (что составляет 1300 км). Литосфера, включая кору, учитывается как граничное условие и в простейшем предельном случае

считается сплошной твердой оболочкой с нулевой скоростью. Рассчитанные при этих условиях напряжения на подошве литосферы достигают 10 МПа, в то время как нормальные — до 30 МПа.

Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Тезисы докладов Всероссийской конференции. Т.1. М., 13–17 октября 2008 г. С.111–114.

Геодинамика

Ледовый покров Байкала как модель для анализа деформаций в литосфере

В качестве эффективной модельной системы для изучения деформационных процессов в специфических блочных средах, в частности в литосфере, Е.В.Шилько с коллегами (Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск), В.В.Ружич (Институт земной коры СО РАН, Иркутск) и Н.Г.Гранин (Лимнологический институт СО РАН, Иркутск) считают возможным использовать ледовый покров оз.Байкал. Многие механизмы деформации блочного ледового покрова рассматривались ими как некоторые аналоги известных в геодинамике явлений — спрединга, субдукции и др.

Исследования авторов показали, что на активных границах раздела структурных элементов блочного ледового покрова происходят постоянные перемещения его пластин. Характерны два режима относительных смещений: «медленные», связанные преимущественно с расхождением ледовых плит и образованием молодого ледового покрова, и кратковременные динамические, при которых происходит быстрое схождение плит и могут формироваться, а в дальнейшем и развиваться деформационные структуры субдукционного типа (поддвижки). Фундаментальная причина таких «тектонических» движений — постоянное наращивание ледового покрова, однако механизмы в обоих типах существенно различаются.

«Медленные» перемещения связаны прежде всего с суточными колебаниями температуры воздуха и, как следствие, — с возникновением

значительных температурных градиентов по толщине ледового покрова, а также вызываемых ими напряжений в ледовых плитах. Суточные смещения крайне неравномерны: они начинаются с разрыва слоя молодого льда, затем на протяжении нескольких часов ледовые пластины расходятся с уменьшающейся скоростью, а далее следует фаза «покоя» или небольших возвратных смещений. Закономерности «медленных» деформационных процессов на активных трещинах в блочном ледовом покрове в какой-то мере аналогичны процессам деформационного (пассивного) рифтогенеза на дивергентных границах раздела литосферных плит, хотя причины накопления растягивающих напряжений в ледовом покрове и в земной коре, конечно, различны.

Возникновение динамических конвергентных смещений на активных границах раздела ледовых пластин и формирование поддвигов не может объясняться лишь температурными градиентами в толще льда. Как показали наблюдения, эти процессы, по-видимому, связаны с исчерпанием релаксационной способности механизма медленных перемещений ледовых плит и, как следствие, — с быстрым возрастанием внутренних напряжений в некоторых областях ледового массива, что ведет к их динамической фрагментации либо путем появления новых границ раздела, либо путем активизации ранее неактивных трещин.

Обследования структуры зон поддвигов позволили авторам рассматривать их как упрощенный «механический» аналог зон субдукции в земной коре. Одним из факторов, инициирующих субдукцию на подготовленных конвергентных границах в литосфере, может быть импульс горизонтального сжатия, в том числе динамического. Это дает основания полагать, что в специфических блочных средах, подобных ледовому покрову или земной коре, одной из возможных причин образования деформационных структур субдукционного типа могут служить процессы фрагмен-

тации, связанные с выделением большого количества упругой энергии.

Характерные скорости деформационных процессов в ледовом покрове на несколько порядков величины больше скоростей деформации в литосфере, и хотя в естественных условиях ледовый покров имеет более простую (хрупкую) реологию, тем не менее как модельная среда он годится для качественного анализа взаимосвязи процессов возникновения и поглощения материала литосферы.

Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Тезисы докладов Всероссийской конференции. Т.1. М., 13–17 октября 2008 г. С.192–193.

Палеоантропология

Повторное открытие ископаемого *Ното* из Хвалынска

В Институте археологии РАН на расширенном заседании, приуроченном ко дню памяти крупнейшего отечественного антрополога академика АН СССР Валерия Павловича Алексева (1929—1991), была изложена история повторного открытия уникальной антропологической находки — ископаемой плечевой кости из Поволжья, ранее не изученной антропологами и считавшейся на протяжении 80 лет утраченной, вплоть до ее обнаружения в фондах Геологического музея им.В.И.Вернадского РАН.

Работая там в 2007 г., сотрудники фондов музея М.Н.Кандин, И.Л.Сорока, И.А.Стародубцева и антропологи ИА РАН А.П.Бужилова, М.В.Добровольская, М.Б.Медникова нашли костный фрагмент из коллекции ископаемых образцов выдающегося отечественного геолога академика А.П.Павлова (1854—1929). Незадолго до смерти этот авторитетный специалист по четвертичным древностям получил на экспертизу черепную крышку и обломок плеча, которые не успел описать. Свод черепа в настоящее время хранится в НИИ и Музее антропологии МГУ; он изучался разными учеными, от-

мечавшими ряд архаических черт в его строении.

Благодаря бережному хранению и документированию экспонатов сотрудниками Геологического музея исследователи получили ныне возможность прояснить обстоятельства находки ископаемых костей геологом В.Ф.Ореховым, а имеющийся материал изучить на новом методическом уровне, применив, помимо классической морфологии, арсенал средств, доступных современной палеоантропологии, — рентгенографию (выполнена Добровольской и Медниковой), компьютерную томографию (участвовали Бужилова и Медникова), гистологию (исследование проведено Добровольской). К сожалению, этот скелетный фрагмент никакими археологическими артефактами не сопровождался, однако у исследователей была возможность опереться на имевшиеся геологические данные и описание местной палеофауны; кроме того, для прямого радиоуглеродного датирования образец костной ткани был передан ими в лабораторию Оксфордского университета.

Тщательное изучение плечевой кости¹, учет мнений разных ученых об особенностях найденной всего в двух метрах от нее черепной крышки позволили исследователям заключить, что хвалынский индивидуум принадлежит к группе палеоантропов со своеобразными биомеханическими приспособлениями и специфическим гормональным статусом, который не находит полных аналогов ни в нормальной, ни в патологической физиологии современного человека. Кость, несмотря на ее миниатюрность, оценена как мужская. Возраст предварительно считается зрелым. В отсутствие более точных привязок обследованный фрагмент, скорее всего, может быть отнесен к палеоантропу позднестерской или раннемустьеьской эпохи.

© Короткевич Г.В.

Москва

¹ Детальное описание истории находки, ее морфологии и таксономии см.: Ископаемый *Ното* из Хвалынска. М., 2008.

Рецензии Астрономия и астрофизика для профессионалов и любителей

А.Г.Тоточава,
кандидат физико-математических наук
Москва

Астрономия — наука синтетическая. Она вбирает в себя все новые методы наблюдения, анализа и даже эксперимента, чтобы использовать их для изучения природы за пределами Земли. Впрочем, и природу нашей планеты тоже нередко исследуют астрономическими методами. Поэтому каждый естествоиспытатель, физик ли, химик, биолог или геолог, часть своего времени отдает знакомству с астрономией, следит за ее достижениями и порою находит в космических даях приложение для своих сугубо земных исследований. А такие области, как физика высоких температур и давлений, химия свободных радикалов, магнитная гидродинамика, протобиология, физика высоких энергий, квантовая теория гравитации и прочие «экстремальные» ветви науки вообще не способны развиваться без новых астрономических данных.

Кроме сугубо профессионального интереса ученых, астрономы ощущают к себе и интерес широких масс, желающих быть в курсе того, что происходит на далеких рубежах нашей цивилизации. В новостях часто передаются сообщения об очередных открытиях астрономов, о новых космических угрозах Земле, о проектах по исследованию и освоению планет. Сухая статистика показывает, что количество обращений к астрономическим разделам сетевых эн-

циклопедий составляет около половины суммарного числа запросов во все остальные разделы этих порталов.

Ощущая общественную потребность в результатах своего труда, астрономы традиционно активны в популяризации своих поисков и достижений. В годы стабильного развития науки количество учебных и научно-популярных книг по астрономии уступало только книгам по биологии, что говорит о высокой производительности труда астрономов в этой области: ведь астрономов в десятки раз меньше, чем биологов, и в сотни раз меньше, чем физиков и математиков. Кризисные годы в истории нашей страны сильно затормозили издание учебных и научно-популярных книг. Уже несколько десятилетий не выпускаются новые и даже не переиздаются классические курсы по многим естественным наукам. Это заметно отражается на уровне подготовки молодых ученых. Существенно сузился их кругозор и, в целом, изменилось представление об основных этапах научной работы. Распространилось мнение, что работа завершается публикацией научной статьи и получением гранта на продолжение исследования. Такие важнейшие этапы, как подготовка обзоров, справочников, энциклопедий и научно-популярных статей и книг, перестают восприниматься как необходимые. А ведь без них наука становится свалкой качественных и некачест-

венных результатов, не встроенных в общую систему знаний.

К счастью, стараниями нескольких ответственных издательств (можно отметить здесь «Физматлит» и «Эдиториал УРСС») и редакций классических журналов (это, к примеру, «Наука и жизнь», «Природа», «Квант», «Земля и Вселенная») окончательно не потеряны пишущие ученые. Ситуация для авторов и издателей в последние годы начала улучшаться: некоторые государственные (РФФИ, РГНФ) и частные фонды («Династия») стали материально поддерживать издание книг. К сожалению, для многих потенциальных читателей эти книги остаются непомерно дорогими либо просто физически недоступными из-за разрушенной системы книготорговли. Впрочем, и в этой области наблюдаются положительные тенденции.

Все сказанное наваяно началом издания книг из новой серии «Астрономия и астрофизика», поддержанной Российским фондом фундаментальных исследований. Серия предназначена для широкого круга читателей — физиков, биологов, геологов, но прежде всего для самих астрономов, испытывающих острую потребность в современных обзорах по соседним областям своей науки. Вышедшие первые две книги — «Небо и телескоп» и «Солнечная система» — коллективные работы, отредактированные в традиционном стиле, присущем лучшим образцам отечественной научно-по-



НЕБО И ТЕЛЕСКОП.
СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА.

(Из сер. Астрономия и астрофизика.) Ред.-сост. В.Г.Сурдин. М.: Физматлит, 2008. 424 с.; 400 с.

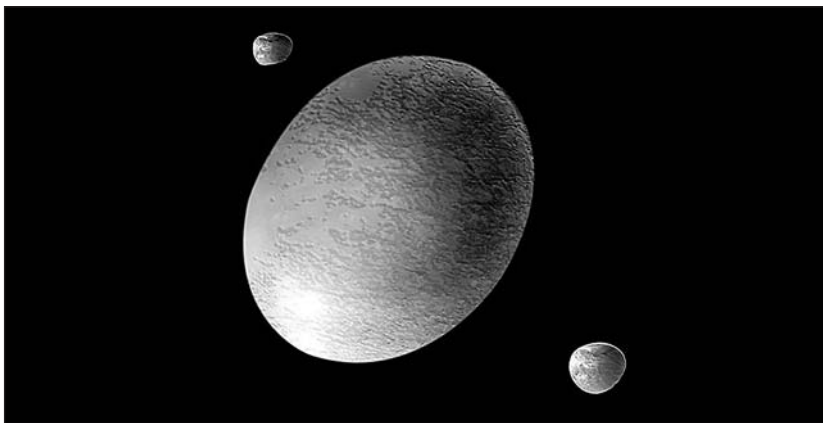
пулярной литературы, ориентированной на подготовленного читателя. У специалистов вызывает уважение авторский коллектив книг: А.А.Бережной, В.В.Бусарев, Л.В.Ксанфомалити, К.В.Куимов, В.Г.Курт, Г.М.Рудницкий, В.Г.Сурдин, В.Ю.Теребиж, К.В.Холшевников. Все они кандидаты и доктора наук, причем большинство — опытные преподаватели Московского и Санкт-Петербургского университетов, авторы обзоров, учебников и научно-популярных статей и книг. И это ощущается при чтении: интересный подбор материала и точно выверенный стиль его подачи сразу притягивают читателя.

«Небо и телескоп» посвящена базовым разделам астрономии и астрофизики: измерению координат и времени, технике наблюдений в различных диапазонах спектра, а также объяснению важнейших астрономических понятий. Эта книга служит основой для дальнейших выпусков данной серии, поскольку в годы коллапса учебной и научно-популярной литературы в нашей стране мировая наука не стояла на месте: появились новые важные понятия, а также изменился смысл некоторых традиционных терминов. По этой причине треть объема книги занимает Толковый словарь (точнее, краткая энциклопедия основных астрономических и астрофизических терминов), составленный по «принципу дополнительности», т.е. в основном он не повторяет сведения других глав, а дополняет их.

Книга начинается главой «Небесные координаты, время и календарь». В ней кроме базовых понятий содержится рассказ о движении полюсов и неравномерности вращения Земли, о принципах астрономической навигации (в том числе и спутниковой), о современных системах счета времени. В свете современных дискуссий о григорианском и юлианском календарях представляет большой интерес раздел о календарных

системах, в котором описана возможность их дальнейшего совершенствования. В следующих главах описаны важнейшие характеристики современных телескопов и приемников света, приведены данные о крупнейших обсерваториях и их телескопах — как наземных, так и космических.

Со времени изобретения телескопа прошло уже 400 лет, но возможности этого научного инструмента, как выясняется, далеко еще не исчерпаны. В последние годы происходит настоящая революция в строении телескопов: «семимильными шагами» растут их размеры и возможности. В сочетании с внеатмосферными обсерваториями и космическими зондами наземные телескопы сегодня стремительно увеличивают наши знания о Вселенной. Вот что пишут об этом авторы книги: «В конце XX века практически закончена космография — описательная часть науки о Вселенной. Космические зонды побывали у всех больших планет Солнечной системы, а скоро доберутся и до планет-карликов, начиная с Плутона. Телескопы в определенном смысле «дотянулись» до границ Метагалактики, и мы теперь в целом неплохо представляем себе «географию» Вселенной. Наблюдения во всех диапазонах электромагнитного излучения, по-видимому, открыли нам все основные типы излучающих космических объектов. Во всяком случае, удалось обнаружить все теоретически предсказанные объекты: нейтронные звезды, черные дыры (в этом уже нет сомнения), гигантские газовые облака, планеты у других звезд и, наконец, связующее звено между звездами и планетами — коричневые карлики. Похоже, что возможности наблюдателей начинают опережать фантазию теоретиков, поскольку заказов на поиски принципиально новых излучающих объектов от теоретиков не поступает. Таким образом, у астрономов наконец-то есть основания думать, что они вполне пред-



Новая карликовая планета Хаумея и два ее спутника — Нияка и Намака (все имена взяты из гавайской мифологии). Это не снимок, а рисунок NASA. На изображениях сохранены относительные размеры и формы тел. Максимальный диаметр Хаумеи около 2000 км.

ставляют поле своих исследований, пространственно-временной масштаб Вселенной и весь “зоопарк” населяющих ее объектов» («Небо и телескоп», с.6).

Впрочем, авторы не склонны считать свою науку законченной. Они уверены, что «астрономия по-прежнему остается живой наукой, если подражать под этим высоким напряжением поиска и предвкушение новых открытий. Именно в последнее десятилетие, после периода относительной стабильности, астрономия и астрофизика испытывают стремительный подъем, выводящий ее на лидирующую позицию в естественных науках». С этим нельзя не согласиться. За короткое время были сделаны крупнейшие открытия практически на всех масштабах Вселенной:

- надежно зарегистрирован поток нейтрино от Солнца, чем независимо подтверждена теория внутреннего строения звезд; при этом открыты осцилляции нейтрино, доказывающие, что у «неуловимой» частицы есть масса покоя;

- открыты многочисленные малые тела и даже планеты-карлики на периферии Солнечной системы, в поясе Койпера. В результате наблюдаемые границы Солнечной системы раздвинулись в несколько раз;

- открыт новый класс небесных объектов, коричневые карлики, занимающие промежуточное положение по массе между звездами и планетами. Температура в их недрах слишком низка для термоядерных реакций, поэтому единственным долговременным источником их энергии служит гравитационное сжатие;

- обнаружены планеты рядом с нормальными звездами и даже с нейтронными звездами-радиопульсарами. К октябрю 2008 г. в околосолнечной окрестности Галактики уже найдено около 300 планетных систем;

- приоткрыта тайна космических гамма-всплесков, часть из которых отождествлена с фантастически мощными взрывами массивных звезд — гиперновыми, вероятно, сопровождающими рождение черных дыр;

- открыты пространственные флуктуации реликтового излучения, чем окончательно доказана теория Большого взрыва и поставлена на твердую основу теория происхождения галактик и звезд (Нобелевская премия по физике за 2006 г.*).

- с высокой вероятностью показано, что расширение Все-

* Подробнее см.: Лауреаты Нобелевской премии 2006 г. *Сажин М.В., Хованская О.С.* По физике — Дж.Мазер и Дж.Смут // Природа. 2007. №1. С.67—72.

ленной в последние миллиарды лет происходит с ускорением, что свидетельствует о существовании некой «темной энергии» со свойством антигравитации («Небо и телескоп», с.7).

Как видим, не более половины этих достижений обязаны традиционным оптическим инструментам, а остальные приходятся на долю инфракрасных, рентгеновских, радио- и нейтринных телескопов. Их характеристики улучшаются год от года, и это сулит новые открытия в ближайшее время. К тому же буквально на глазах открывается новый канал для изучения Вселенной: свои первые шаги делает гравитационно-волновая астрономия. В разных точках планеты почти одновременно вступили в строй детекторы гравитационных волн. Скоро они достигнут запланированной чувствительности и начнут регистрацию пространственно-временных возмущений, вызванных крупными космическими катастрофами.

Впрочем, пока основной вал открытий принадлежит оптическим телескопам, за последние 20 лет претерпевшим значительную эволюцию. Как известно, естественные науки и техника взаимно стимулируют друг друга. В полной мере это справедливо и для астрономии. Когда-то благодаря ей значительно ускорилось развитие механики и оптики, а сегодня технические достижения возвращают долг науке: начавшись во второй половине XX в., техническая революция в астрономии продолжается. Трудно было предвидеть лет 20 назад, каких высот достигнут возможности астрономических наблюдений. Телескопы-рефлекторы с главными зеркалами диаметром 5—6 м казались (и на самом деле были в то время) пределом возможностей, а сегодня уже работает несколько 10-метровых телескопов и проектируются инструменты до 100 м в диаметре! Теперь образ астронома-наблюдателя, этакого ученого-отшельника, проводящего в одиночку

у телескопа долгие ночные часы, ушел в прошлое. Современным 1000-тонным телескопом управляет команда инженеров и компьютеров, решая задачу, поставленную астрономом.

Впрочем, рост эффективности телескопов в основном связан не с увеличением их размеров, а с появлением новых приемников света и методов его анализа. Астрономия, старейшая из наук, в которой почти всегда главным инструментом астронома был глаз — сначала невооруженный, а затем вооруженный телескопом. И даже в эпоху фотографии, существенно усилившей возможности телескопа, глаз «оставался в строю», но из первичного приемника света стал вторичным: фотоэмульсию на стеклянной пластинке астроном до недавних пор мог изучать только визуально. Сейчас этот период подходит к концу. С помощью автоматических фотометров астрономы скоро закончат сканирование и оцифровку всех когда-либо отснятых фотопластинок, — а их миллионы! — и эпоха визуальной астрономии закончится. Тогда содержание драгоценных «стеклянных библиотек» всех обсерваторий мира станет доступным любому профессионалу и даже любителю.

По эффективности работы электронный глаз уже давно победил живого собрата. Последние 8—10 лет автоматизированные телескопы почти самостоятельно совершают открытия, причем с ошеломляющей эффективностью. Взять такую сравнительно рутинную работу, как поиск астероидов. После обнаружения первого из них (1801) в течение следующих 90 лет астрономы визуально открыли 322 малые планетки. В 1891 г. Макс Вольф в Гейдельбергской обсерватории (Германия) увидел первый «фотографический» астероид, ставший 323-м по счету. По истечении века, к 1 января 1991 г., было известно уже 4655 этих космических объектов. Таким образом, «фотографический век» по сравнению

с «визуальным» увеличил число малых небесных тел на порядок. В 1990-е годы фотопластинку и глаз стали заменять электронные приемники света, в основном ПЗС-матрицы. В результате к началу 2008 г. число астероидов достигло примерно 400 тыс., из которых около половины изучено достаточно подробно, чтобы точно определить их орбиты. Менее чем за 20 лет количество известных астероидов возросло на два порядка! Сейчас их открывают примерно по 5000 в месяц! Стремительно растет и количество известных спутников планет: в 1980 г. их было 45, а сегодня около 170. При таких темпах скоро будет закончена полная инвентаризация Солнечной системы.

Исследованиям тел Солнечной системы посвящена вторая книга серии «Астрономия и астрофизика». В предисловии авторы пишут: «Мы живем в эпоху великих открытий в Солнечной системе. Далеко не все жители Земли взволнованы этим фактом. Не станем их за это упрекать. Эпоха великих географических открытий 500 лет назад тоже протекала без особого общественного интереса, но спустя столетия ее плодами пользуются все» («Солнечная система», с.8). Современную эпоху исследования планет авторы считают прямым продолжением эры Колумба и Магеллана: «По сути, романтическая эпоха географических открытий не прерывалась. Сегодня у каждого из нас есть возможность быть «участником» сразу нескольких захватывающих экспедиций. Глазами роботов мы видим все то, что видят ученые, организовавшие полеты к другим планетам. Потрясающие марсианские ландшафты не могут оставить нас равнодушными. Мы с нетерпением ждем посадок зондов на поверхности спутников планет, астероидов и ядер комет. В наши дни впереди людей идут автоматы; вероятно, так будет уже всегда. Но острота наших ощущений от этого не снижается» («Солнечная система», с.11).

Но по поводу общественного интереса к астрономическим открытиям авторы проявляют умеренный оптимизм: «Интересно, сколько людей следило бы за экспедициями Колумба и Магеллана, если бы в то время на их кораблях были веб-камеры online? В наши дни у каждого есть возможность стать виртуальным первопроходцем. Но многие люди регулярно заходят на сайты NASA, чтобы следить за ходом марсианских и прочих межпланетных экспедиций? Оказывается, таких любознательных заметно меньше, чем посетителей порно-сайтов. К счастью, романтика поиска пока остается уникальным свойством человека: стремление к новому знанию уже тысячи лет помогает нам эволюционировать быстрее любого другого биологического вида и благодаря этому радикально улучшать условия нашей жизни. И так будет до тех пор, пока каравеллы плывут к неизведанным землям, а зонды летят к новым планетам!» («Солнечная система», с. 12).

Авторы книги считают, что в области исследования планет XX в. принес скорее «спортивно-технические» достижения, чем научные. Большинство планет было «достигнуто», их эффектные изображения переданы на Землю и растиражированы, что само по себе замечательно, но систематических детальных исследований не проводилось. Результаты этих достижений больше вызывают вопросов, чем дают ответы на старые. Но в последнее десятилетие, фактически уже XXI в., за планеты взялись всерьез: у Юпитера и Сатурна появились долговременные орбитальные зонды («Галилео» и «Кассини»), начались посадки на спутники планет (пока это лишь Титан, но лиха беда начало), работают аппараты у Венеры, летят к Меркурию и Плутону, а про Марс и говорить нечего — рядом с ним и на его поверхности постоянно действует целая научная армада. Из разряда идеолого-политических меж-

планетные полеты перешли в разряд чисто научных. О них стали меньше писать и говорить, но они начали приносить значительно больший научный урожай. В отдельных главах книги подробно описаны история и результаты исследования каждой планеты, приведены последние данные об их орбитальном и собственном движении, геофизических параметрах и спутниках. Специальные разделы посвящены кольцам и спутникам планет, а также малым телам Солнечной системы, кометам и астероидам, включая их осколки — метеориты.

К сожалению, в книге нет раздела о Земле как планете. А ведь на фоне «головокружения от успехов» космических экспедиций важно помнить, что стремительное проникновение в «глубины Вселенной» не означает, что наша планета уже досконально изучена. Напротив, ее детальные исследования сейчас в самом разгаре. Фактически лишь недавно, благодаря спутникам, люди увидели всю поверхность Земли. А что лежит под ней? Что скрывается в глубинах океанов? Как выглядят материи под ледяными куполами Гренландии и Антарктиды? Что происходит глубоко в земных недрах? Как ведет себя геомагнитное поле? В чем причина глобальных перемен климата и биосферных катастроф? Наконец, как сформировалась наша уникальная планета и какая роль в этом принадлежит ее гигантскому спутнику, Луне? Многие в отношении планеты Земля для нас до сих пор — загадка. Ответы на многие вопросы могут оказаться жизненно важными для нашей цивилизации.

Впрочем, что касается Луны, то ей в книге отведено немало места: рассказано о любительских и профессиональных наблюдениях, о пилотируемых и автоматических экспедициях на Луну, о ее строении и гипотезах происхождения. Авторы считают, что самым сенсационным результатом за всю историю кос-

монавтики был первый снимок обратной стороны земного спутника: «Многие астрономы прошедших столетий готовы были отдать жизнь, чтобы увидеть это изображение. Космическая эра принесла нам множество прекрасных изображений далеких планет, но этот **первый** космический снимок **ближайшего** небесного тела навсегда останется самым ценным. И не потому, что он был первым, хотя и это важно. Ценность этого снимка в его **незаменимости**: из всего, что нам хотелось бы увидеть в Солнечной системе, в принципе невозможно увидеть, не покинув Землю, только обратную сторону Луны». Нужно помнить, что зонд «Луна-3» (СССР) сфотографировал Луну 7 октября 1959 г. обычными для той эпохи фотоаппаратами с длинно- и короткофокусным объективами. Пленка была автоматически проявлена на борту и с помощью фототелевизионной системы изображения переданы на Землю. В то время никаких компьютеров на борту зонда не было вообще. И хотя техническое качество снимков оказалось невысоким, они принесли большое открытие — обратная сторона Луны совершенно не похожа на ее видимую сторону. Эта загадка не решена до сих пор.

В наши дни астрономы ежедневно получают новую информацию о телах Солнечной системы. Порой поток информации так велик, что специалисты прибегают к помощи любителей науки: по данным с орбитальных аппаратов многие кометы в последние годы открыты непрофессионалами. Любители астрономии быстро осваиваются в море электронной информации и уже не только развлекаются и учатся, но и, как видим, делают настоящие открытия. Поэтому растут их требования к научно-популярной литературе. По информационному уровню она должна быть близка к фундаментальному учебнику, но по стилю — оставаться легкой и романтической. Именно этим требова-

ниям, на наш взгляд, удовлетворяют рецензируемые книги. Они будут полезны не только студентам (о которых в первую очередь думали авторы), но также тем любителям астрономической науки и специалистам смежных областей, кто желает получить обзор современной астрономии и астрофизики из первых рук.

Специалисты-астрономы тоже найдут в начавшейся книжной серии много нового и полезного. В исследовании Солнечной системы, помимо упомянутых чисто «бухгалтерских» достижений, выраженных количеством открытых объектов, есть немалые успехи и в разрешении принципиальных вопросов (как известно, количественные изменения неизменно переходят в качественные). Открытие большого числа новых объектов, прежде всего, требует их классификации. В последние годы введено много новых классов и изъяты некоторые старые, например, «малая планета» как синоним «астероида». В 2006 г. Международным астрономическим союзом принят новый термин «малое тело Солнечной системы» (small Solar system body) для обозначения всех объектов, которые не являются ни классическими планетами (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун), ни планетами-карликами (dwarf planet), ни их спутниками. Таким образом, в число малых тел попали кометы; традиционные астероиды (за исключением Цереры, отнесенной к планетам-карликам); кентавры (centaur), движущиеся между орбитами планет-гигантов; троянцы, движущиеся по орбитам планет синхронно с ними, а также почти все объекты за орбитой Нептуна, кроме Плутона и Эриды, которые, как и Церера, причислены к планетам-карликам. Вскоре после введения в номенклатуру планет-карликов в ней выделилась группа плутоидов (plutoid), всех карликов за орбитой Нептуна. Недавно плутоиды пополнились двумя новыми телами:

это Хаумея (Haumea) и Маки-маки (Makemake). Теперь в семействе карликовых планет четыре плутоида и Церера. Заметим: спутники планет не входят в число малых тел Солнечной системы.

Даже специалистам нелегко уследить за появлением новых типов космических объектов. За последние годы среди малых тел Солнечной системы выделено несколько новых классов объектов, интересных как своими физическими свойствами, так и характером движения. Например, сближающиеся с Землей астероиды; троянцы Нептуна и (возможно) Марса; упомянутые кентавры; астероиды на подковообразных орбитах; астероиды со спутниками и двой-

ные астероиды; временные спутники больших планет; объекты пояса Койпера; сгорающие в атмосфере Солнца кометы; куваркающиеся астероиды и спутники. Неоднозначно восприняли специалисты решение о разделе семейства планет на большие (классические) планеты и планеты-карлики. Решение об исключении Плутона из группы классических планет получило огромный общественный резонанс и для многих оказалось болезненным («Астрономы обещали найти десятую планету, а сами сократили их число до восьми!»). Страсти еще не улеглись, но, по-видимому, новая номенклатура приживется.

По поводу изменений в астрономической терминологии

авторы книги полны оптимизма: «Как всегда в науке, накопление фактов и следующий за этим период классификации заканчиваются более глубоким пониманием эволюции и ее механизмов — за “линнеевским” периодом следует “дарвиновский”. Скоро этот период наступит и в изучении Солнечной системы. К счастью, мы еще многого не понимаем в ее истории. А значит, самые интересные открытия — впереди!» («Солнечная система», с. 16).

С полной уверенностью можно утверждать, что появление полезных и интересных книг серии «Астрономия и астрофизика» приблизит наступление дарвиновского периода в изучении космических объектов. ■

Океанология

О.А.Кузнецов, В.Г.Нейман. МОРСКИЕ «ВИТЯЗИ» РОССИИ: Экспедиции НИС «Витязь» IV (1982-1993) и трех его предшественников. М.: Наука, 2008. 251 с.

Огромные заслуги на поприще морской науки принадлежат морским судам знаменитой династии «Витязей», которые на протяжении последних полутора столетий составляли гордость России, укрепляя ее славу морской державы.

«Витязь» I — это парусно-винтовой корвет, на котором в 1870—1871 гг. проводил по пути к Новой Гвинее океанографические исследования русский путешественник, антрополог и этнограф Н.Н.Миклухо-Маклай. «Витязь» II — тоже парусно-винтовой корвет, на котором в 1886—1889 гг. вел океанографические исследования выдающийся флотоводец С.О.Макаров. Эти два «Витязя» по своему назначению были военными судами, и научные работы велись на них факультативно, по инициативе упомянутых выше мореведов-энтузиастов. Заслуженную

репутацию настоящего плавучего института получил принадлежавший Академии наук «Витязь» III (1949—1979) — он предоставил отечественным океанографам неограниченные возможности для широкого комплекса исследований фактически в любых районах Мирового океана. На смену этому ветерану, прослужившему науке 30 лет, пришло новое научно-исследовательское судно — «Витязь» VI, унаследовавшее вместе с именем своих знаменитых предшественников их славные традиции.

Предлагаемую книгу можно использовать в качестве надежного источника сведений о всех основных событиях 26 научных плаваний «Витязя» IV в 1982—1993 гг. (в таком виде эти данные публикуются впервые) и 65 экспедициях «Витязя» III. Краткие сведения о «Витязях» I и II после проведенных авторами тщательных уточнений также не противоречат истинной истории их плаваний и достижений.

Книга предназначена для всех, кто интересуется историей российского флота и отечественными морскими научными исследованиями.

История науки

П.В.Флоренский. «ПЕТРОГРАФ» НА ВСЮ ЖИЗНЬ. К 70-летию научного студенческого кружка. М., 2008. 296 с.

Книга посвящена 70-летней истории кружка «Петрограф» и содержит материалы по истории студенческого научного движения РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина в контексте истории кафедры петрографии осадочных пород (ныне кафедры литологии).

Значительная часть книги составлена по публикациям студенческих заметок в многотиражных институтских газетах — «За кадры нефтяников» и «Поиск», поэтому образовался обширный авторский коллектив студентов разных поколений. В конце книги — указатель научных публикаций студентов-«петрографов» и перечень статей о кружке в печатных изданиях.

Фотографии минералов и черных пород взяты из коллекции Минералого-петрографического музея им.Л.В.Пустовалова.

Е.Е.Барбот де Марни и первая в России геологическая карта

Е.Ф.Бурштейн,
кандидат геолого-минералогических наук
Москва

Ефим Фалькович — старинный автор нашего журнала. В самом конце прошлого года ему исполнилось 80 лет. Редакция поздравляет юбиляра и желает здоровья, творческих удач, благополучия и новых публикаций в «Природе».

...и за половину столетия от нас отечество наше имело уже горных людей, которые, по любви к своему делу, достойны уважения и в наше время. Таковы были Барбот де Марни и Карамышев.

Г.И.Спасский (1828)

В 1925 г. геолог Е.А.Пресняков, изучавший Забайкалье, обнаружил в ленинградском архиве (ныне РГИА), в фонде императорского Кабинета рукописную геологическую (литолого-петрографическую) карту, составленную в 1789—1794 гг. Д.Лебедевым и М.Ивановым, охватившую большую часть Нерчинского горного округа [1]. Ее составление считают началом геологического картографирования России. Но Пресняков предполагал, что съемка «входила в широко задуманный план всестороннего изучения округа», которым управлял Е.Е.Барбот де Марни. Однако в многочисленных публикациях, посвященных первой геологической карте, эта фамилия не упоминалась. Между тем многое неясно в отношении авторства карты, ее завершенности, использования, а также — кем и для чего была задумана съемка.

С 2005 г. карта и весь фонд Кабинета стали недоступны из-за переезда РГИА. Я все же попытался разобраться в известных данных, проверить обоснованность сложившихся стереотипов, а также обобщить сведения об одном из родоначальников династии геологов и горных инженеров XVIII—XX вв. Барбот де Марни и его вероятной роли в этом эпизоде истории геологии в России.

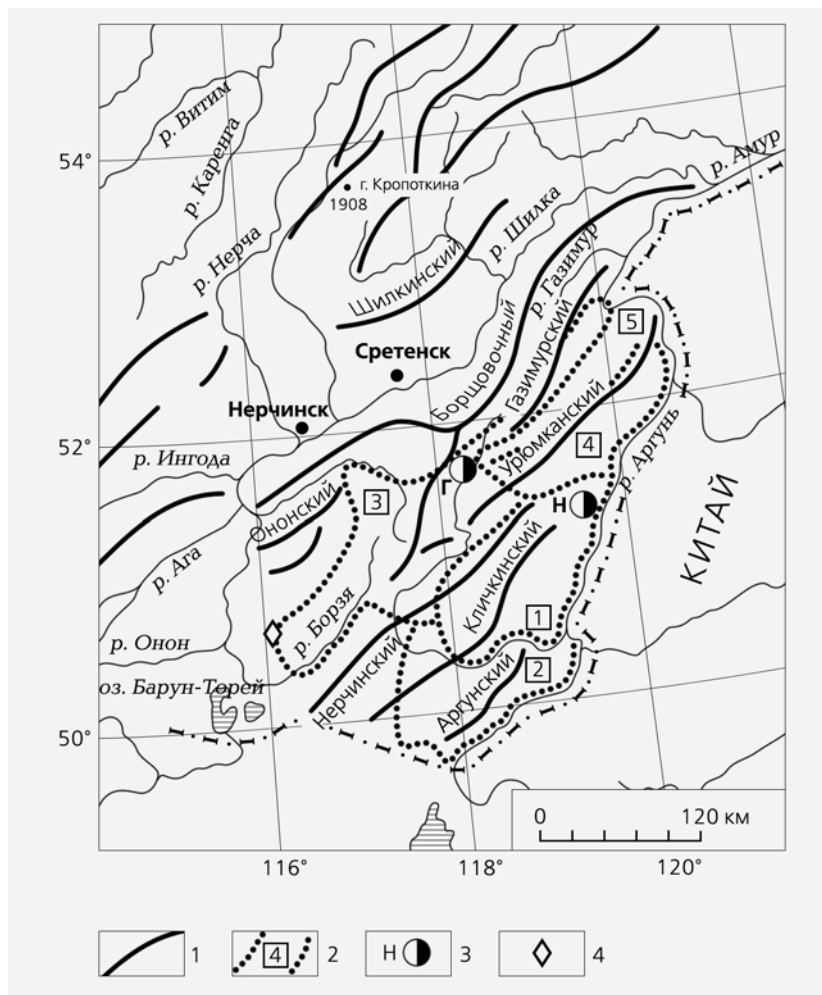


Схема расположения площадей съемки [1, с дополнениями]:

- 1 — водоразделы хребтов;
- 2 — контуры площадей (по годам), в рамках указаны номера листов [1. С.60]: Д.Лебедева (1 — 1789, 2 — 1791) и М.Иванова (3 — 1790, 4 — 1792, 5 — 1794);
- 3 — сереброплавильные заводы (Н — Нерчинский, Г — Газимурский);
- 4 — месторождения самоцветов Шерловой горы.

Карта вычерчена на пяти листах. Съемка, судя по контурам, охватывала не всю их площадь. Два листа вычерчены «в двух несколько различных вариантах». Приведен масштаб — 1: 120000, или 5 верст в вершке (хотя в России XVIII в. использовалась шкала масштабов в верстах на английский дюйм*). Площадь съемки оценена в 35 тыс. кв. верст (40 тыс. км²) [1].

Топооснову карты Пресняков считал авторской, глазомерной. Но ее составление осложнило бы и удлинило съемку. Кроме того, Забайкалье в XVIII в. картографировалось. Из сохранившихся полуинструментальных карт выделяется «Ландкарта Нерчинских сереброплавильного завода и принадлежащих к нему местам и рудникам... и по части ведомства Нерчинской воеводской канцелярии...»** масштаба 10 верст/дюйм (1:420 000) без градусной сети. Сохранилась и более ранняя «одноверстка» (1:42 000) Нерчинского округа (1728) съемки Х.Я.Шварца (Б.В.Александров, 1946). Этого было бы достаточно для подготовки исходной топоосновы. Лебедев и Иванов ее уточнили: «по числу... падей и ручьев карта превосходит даже двухверстки военно-топографического ведомства» [1. С.61]. Ими, по-видимому, была нанесена градусная сеть: на ряде листов указано «составил и градировал...».

На карте показаны раскраской площади выходов главных типов горных пород (в скобках — данные геологической съемки 1926 г.): гранит (породы от гранитов до диоритов); известковый камень (известняки); горнштейн (измененные известняки, скарны, роговики); шифер (сланцы всех видов); песчаный камень (песчаники и туфы); траппы (базальты, риолиты, кварцевые порфиры); глины и траппы (глинистые сланцы, туфы и эффузивы на листе №1);

* 1 верста = 1.070 км; 1 вершок = 4.45 см; 1 дюйм = 2.54 см.

** Карта создана не позже 1783 г., когда воеводство преобразовали в область.

гнейс (метаморфизованные породы, большей частью, палеозой); дикокаменная [в XVIII в. так нередко называли гранит и близкие породы. — Е.Б.] брекчия (конгломераты с галькой гранита, аплита, кварца, кварцита); речные наносы. Знаками отмечены редкие типы пород, рудники, прииски, соляные озера. Она служила и картой полезных ископаемых. Пресняков подчеркнул, что сводные карты XIX в. не выдерживают с ней сравнения, ибо «...вносят необоснованное деление на силур, девон и карбон, чем уничтожают объективные литологические признаки» [1. С.62].

Научной атрибуции карты за истекшие 80 лет не было, хотя такие «мелочи», как тип бумаги, водяные знаки, почерки составителей, надписи и подписи помимо указанных, пометы, печати и др. могли бы что-то прояснить в ее истории. В публикациях, где карта упомянута, не сказано, были ли геологические границы «сбиты» по рамкам листов, содержит ли вторые варианты признаки редактирования (упомянуто лишь, что на дубликате листа №1 «горнштейн» заменен на «орлец») и фамилии составителей. Похоже, что после Преснякова геологи карту в руках не держали.

Д.Лебедев и М.Иванов.

На листах карты указаны составители и годы съемки: унтер-шихтмейстеры Дорoeff Лебедев (1789 и 1791) и Михаил Иванов (1790, 1792 и 1794). В научной литературе их называли геологами и даже горными деятелями (Д.И.Гордеев, 1967). Но Петербургское горное училище в XVIII в. выпускало шихтмейстеров 13-го и редко нижнего 14-го класса. Это привело А.В.Хабакова к предположению, что Лебедев и Иванов окончили Алтайское горное училище, учрежденное в 1779 г. Оно могло выпускать унтер-шихтмейстеров: «по-видимому, именно в нем впервые в 1780-х годах зародилась русская школа геологического картования» [2. С.144].

Сейчас известны реальные обстоятельства открытия училища. Вначале — долгая переписка об ассигнованиях: начальную сумму уменьшили в семь раз. Преподавателей, по мнению Кабинета, должно брать из горных офицеров округа. Но они были загружены работой. Занятия начались лишь в 1785 г. Первые преподаватели — коллежский асессор, архивариус и пастор [3]. Командированный на Алтай И.М.Ренованц передал училищу большую минералогическую коллекцию, выкупленную у него Кабинетом [4], но обучение специальным предметам началось позднее [3]. При пятилетнем сроке учебы даже первые выпускники не успели бы приехать к 1789 или 1790 г. в Забайкалье. Составление геогностических карт с выделением разновозрастных групп формаций горных пород войдет в программу спустя полвека.

Если трехклассные горнозаводские школы на Урале и Алтае давали начала грамотности и элементы знаний о горном деле, то в Забайкалье и начальное образование было запущено [4]. Унтер-шихтмейстеры здесь были практиками, прошедшими ученичество. Но составители геологических карт, в России неведомых, должны были иметь специальное образование или постоянного наставника. Заметим также, что карты, составленные двумя авторами, не было. Листы составлены одним или другим — их надо было сводить.

Таким образом, Лебедев и Иванов не могли иметь специального образования в области геогнозии. Тем не менее детализация ими исходной топоосновы, умение наносить контуры и локальные объекты свидетельствуют о некоторых знаниях и навыках в области топоъемки. Несомненно, их ознакомили с элементами геогнозии, горными породами, минералами, рудами и оказывали методическую помощь.

Нерчинский округ и его командиры. Создание в XVIII в.



Нерчинский (Аргунский) завод в XVIII в. (www.encycl.chita.ru).

горных округов в Южной Сибири было вызвано необходимостью добывать серебро для денежного обращения (попутно — Pb, Au и Cu) и заселять приграничные регионы. Если освоение удаленного от столиц Алтая потребовало перемещения множества несвободных и закрепощенных вольных людей, то Забайкалье было на 3000 верст дальше. Смертную казнь стали заменять каторгой на Нерчинских заводах. Росло число ссыльных. Нехватка горных офицеров была острее, чем на Алтае. Еще труднее было подбирать начальников — отдаленность от центральной власти побуждала злоупотреблять своей. Этнограф и историк С.В. Максимов кратко и эмоционально охарактеризовал начальников округа второй половины XVIII в. Он не всегда точен в датах (они исправлены) и двоих пропустил. Первым Максимов выделяет бригадира, затем генерал-майора, В.И. Суворова (двоюродного брата будущего генералиссимуса): «12 лет управлял он заводами и сумел их оживить и улучшить... остановил злоупотребления чиновников...» [5. С. 283]. Выработка серебра временами превышала 400 пудов в год. Суворов в 1775 г. сменил В.В. Нарышкин — из старинного боярского рода, — «полупомешанный», по выражению Максимова. Его «чуждества» оберну-

лись растратой около 150 тыс. руб. казенных и заемных денег, а завершились в 1776 г. военным походом против иркутского губернатора Немцова, который его арестовал и отправил в Петербург.

Следующий — бригадир И.В. Аршеневский. По определению Максимова — «темный деятель и неизвестный делатель» (1777—1780). Его сменил член-корреспондент Петербургской АН А.М. Карамышев, преподававший в Горном училище, член Берг-коллегии. Не поладив с кем-то, он принял руководство банком в Иркутске. Оттуда его и послал в Забайкалье губернатор [6]. За один год Карамышев довел производство серебра с 349 до 458 пудов в год, восстановил Главный рудник и начал освоение пяти новых [7].

Затем командовал генерал-майор Г.Ф. Бекельман, «малоприятная и неизвестная личность» [5. С.341]. В 1786 г. его сменил генерал-майор К.К. Хантвиг [4]. Но уже 5 января 1787 г. вышли указы: о переходе Нерчинских заводов из Берг-коллегии в ведение Кабинета и члену Кабинета П.А. Соймонову — о наведении в округе порядка, где был упомянут и Е.Е. Барбот Демарни [8. №№16496, 16497].

Секунд-майор Барбот де Марни. Это воинское звание существовало в XVIII в. Сведе-

ния о жизни Егора Егоровича крайне скудны. «Русский биографический словарь» (1900) уложил его жизнь в один абзац. Ссылный народоволец И.И. Попов в 80-х годах XIX в. встречал в Кяхте Я.Н. Барбота де Марни (также, видимо, ссыльного), который называл себя потомком французского горного инженера, вызванного Петром I на Урал [9. С.62]*.

Егор Егорович Барбот де Марни родился в 1743 г. в России. Согласно служебному формуляру вступил в военную службу «...1751-го декабря, а чинами происходил капралом, подпорщиком, сержантом в 1752 г., а которых месяцев и числа не упомянул, 1755 апреля 25-го прапорщиком, 1762 октября 1-го поручиком, 1767 марта 12-го переименован в сухопутный шляхетской корпус подпоручиком, 1769 июля 1-го капитаном, 1774 августа 22-го секунд-майором, в 1783 г. надворным советником...» [10]. Здесь не все ясно, но у писарей XVIII в. нередки описки, пропуски и даже искажение смысла. Первая дата ключевая: зачислен на службу в восемь лет. Это делалось для отпрысков знатных родов — они получали домашнее образование, а им шли унтер-офицерские чины. Еще один ключ — упоминание престижного Сухопутного шляхетского корпуса в Петербурге: его выпускники успешно служили и по военной, и по гражданской части. Сомнительны чин прапорщика в 12 лет (1755) и «перевод» в шляхетский корпус в 24 года. По указу 1731 г. [8. №5811] в корпус принимали грамотных дворянских детей в возрасте 13 лет. Позднее четыре класса растянулись на 5—6 лет. Если он поступил в корпус не в 1767-м, а в 1757 г., производство в поручики в 19 лет (1762) правдоподобно. Другой

* Известная актриса Н.В. Варлей в интервью радио «Эхо Москвы — Екатеринбург» (2007) упомянула, что ее бабушка была из рода Барбот де Марни, потомков французского офицера, служившего у Петра I.

вариант: офицера в 1767 г. перевели с армейской службы в корпус, например, воспитателем.

По Максимова, секунд-майор «находился при Суворове в заводском батальоне. Нарышкиным произведен был в полковники...». Повышения он не принял. После ареста Нарышкина губернатору поступил рапорт секунд-майора Барбота де Марни о состоянии горных заводов и мерах для их подъема [5. С.339]. Офицер мог подать такой рапорт, будучи членом Канцелярии (совещательного органа при начальнике округа). В опубликованном Немцовым для разоблачения Нарышкина документе интересен пассаж, свидетельствующий о репутации офицера: «...понимая всю силу нравственного значения на заводах образованного секунд-майора Барбота де Марни, Нарышкин для привлечения его на свою сторону задумался произвести сына его, 5-летнего ребенка, сначала в вахмистры, потом в корнеты и, наконец, в берг-гешворены...» [5. С.339].

В 1780 г. Барбот де Марни был членом Канцелярии достоверно. Об этом упомянул Карамышев в письме товарищу по работе в Петербурге И.И.Хемницеру, более известному как поэт-баснописец [11]. Тогда же вышел указ Екатерины II «О жалованье двум горным советникам, определенным на Нерчинские заводы» [8. №15043].

Между тем воеводство в 1783 г. преобразовали в Нерчинскую область, включившую в себя и горный округ. Ее оберкомандантом стал генерал Бекельман, теперь особенно нуждавшийся в помощниках. Барбота де Марни перевели в чин надворного советника и на должность горного советника. Указ от 5 января 1787 г. предписывал члену Кабинета Соймону: «приискать начальника надежного и способного, представляя нам для определения оно-го... горного советника Барбота Демарни потребовать сюда, для объяснения на первый слу-

чай всех заводских обстоятельств» [8. №16497]. Вряд ли его «вызывали на ковер»: помимо прогонов (оплаты проезда) выдали авансом годовое жалованье «не в зачет» (без последующего вычета). Видимо, предполагались «смотрины» и инструктаж. Барбот де Марни подготовил «Мнение о Нерчинских заводах» со своими предложениями [10].

Единачальник. Только 1 февраля 1788 г. вышел указ [8. №16621]: «До будущего впредь соизволения Нашего на Нерчинских заводах в должности начальника быть... надворному советнику Барботу Демани [Так в оригинале. — Е.Б.]». Если Суворову Соймонов вручил инструкцию из 13 пунктов, то Барбот де Марни получил сочинение из 31 пункта, затронувшее все стороны жизни округа [4. С.367—381]. Власть руководителя распространялась на все население «за исключением других членов Горной экспедиции». Многие пункты инструкции исходили из предложений Барбота де Марни.

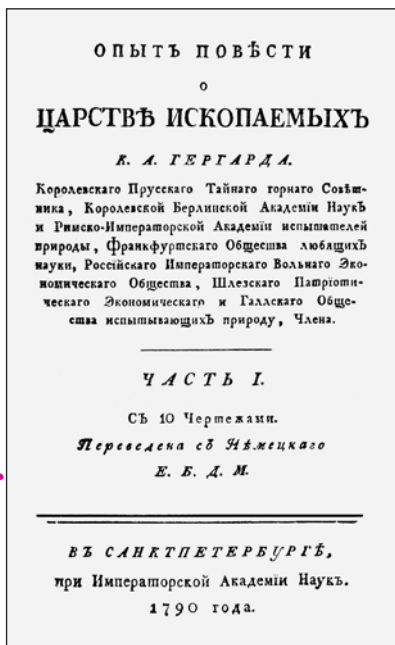
Вновь обратимся к Максимова: «Лучшие воспоминания оставил по себе Барбот де Марни, родом француз, человек светлый, кроткий и образованный. Доказательством последнего свойства его осталась после его смерти библиотека, послужившая крупным и твердым фунда-

ментом для библиотеки горного управления. Под руками живого человека завелись и частные школы для обучения мальчиков; выписаны саксонцы для рудного дела... На глазах этого человека и постройки сделаны столь прочно и добросовестно, что и в 1835 г. они стояли неколебимо, сохранившись целое полувеко: по подобию Большого Нерчинского завода, выстроенного Барботом из лиственничного дерева...». Если Карамышев облегчил положение каторжных, то Барбот де Марни озабочился также положением заводских крестьян, выполнявших тяжелые вспомогательные работы, отрывавшие их от хозяйства. Они получили форменные шинели и под надзором необычного начальника «все были трудолюбивы; без рукоделия никогда их не видели...» [5. С.341].

Начальник не превышал полномочий. Еще Суворову было предписано «устроить школу, где учить детей горняков и заводских людей читать по-русски, считать, а также геометрии, тригонометрии, пробирному искусству, механике и маркшейдерии; офицерских же детей обучать, кроме того, немецкому языку, гидравлике и всем горнозаводским наукам». Однако гладко было на бумаге... Через 23 года округ содержал 476 школьников, но «лишь ничтож-



Петровский завод в 1834 г. В его центре — острог, где были заключены декабристы. Акварель Н.А.Бестужева. На переднем плане художник и конвоир [16. Т.3].



Титульный лист книги К.А.Герхарда с инициалами переводчика.

ная часть из них могла быть использована в качестве пробирных мастеров, маркшейдеров, писарей». Было решено сохранить одну школу для 40 лучших учеников, где «помимо русского языка, обучать также немецкому и французскому, арифметике, началам математики, а также пробирному и горному искусству» [4. С.378].

Газимурский завод был усовершенствован, но переводить туда центр округа и Горную экспедицию из Чернинского завода, как было велено, начальник не стал, рассудив, что села на пограничной Аргуни останутся без защиты. В 1789 г. Барбот де Марни впервые созвал Горный совет округа [1]. Петровский железный завод, построенный в 1789—1790 гг. по его указанию на местных рудах, заменил перевозки железа и изделий из далекого Ирбинского завода близ Красноярска. Он организовал, также впервые, разведку и пробную разработку месторождения угля.

Для выявления новых рудных объектов в округе инструкция требовала «...ежегодно посылать несколько офицеров с доста-

точным числом людей для шурфования, и тем из них, как и любому другому, кто откроет новый рудник... давать вознаграждение...» [4. С.370]. Остается выяснить отношение Барбота де Марни к наукам о Земле.

«**Неутомимый, ревностный и жаждущий познания...**» — так охарактеризовал Егора Егоровича Карамышев в упомянутом письме к Хемницеру. Он писал, что П.С.Паллас прислал ему статью Т.Бергмана об анализе минералов с помощью паяльной трубки*, которую перевел для него на русский язык сотрудник и сочлен Канцелярии Барбот де Марни [8. С.76]. Этот перевод не единственный. Только в 1986 г. расшифровали криптоним Е.Б.Д.М. (Е.Барбот де Марни), под которым два века скрывался переводчик книги К.Герхарда о рудных месторождениях. В предисловии он, в частности, писал: «Я не беру на себя утверждать, чтобы г. Гергард был совершенно без ошибок... но уверен, что ежели б ему Даурская часть Сибири столь же сведения была, как мне, то бы он несомненно в некоторых своих положениях сделал исключения и отмены...» [12. С.V].

Образование и знание языков облегчали ему общение с европейской наукой. В книге, выбранной для перевода, косвенно отражены положения доклада Палласа в Петербурге (1777), создавшего концепцию строения и развития земной коры, соединив гипотезы непутизма и вулканизма. Герхарду также чужды крайние позиции: сторонникам «осадочных базальтов» он предъявлял их потоки на склонах вулканов Оверни (Франция) и столбчатый базальт в жерле одного из вулканов Исландии. Описал он типы и происхождение рудных тел [12]. В округе Барбот де Марни организовал минералогический кабинет, затем — химическую лабораторию.

* Т.О.Бергман (1735—1784), шведский химик и минералог, один из учителей Карамышева.

Большинство публикаций Б.Ф.Германа и И.Биндгейма по Забайкалью, в частности, об аквамаринах и зеленых бериллах хребта Адун-Челон (Шерловая гора), основано на письмах и посылках Барбота де Марни. Биндгейм (1792), указал, что материнская порода берилла — колчедан, железная руда и вольфрамит, но приложил сообщение Барбота де Марни, где материнской породой назван кварц, а спутниками — железная охра, вольфрамит, свинцовый блеск, зеленый флюорит, серебристый арсенипирит и молибденит. Позднее Егор Егорович прислал ему зарисовки кристаллов и добавил к списку белый полевой шпат, белый и дымчатый топаз, серебристый свинцовый блеск с мышьяком, пехштейн и черную слюду [13]. Не очень щепетильный Герман, публикуя статьи и обобщения по минералогии и геологии Забайкалья, где он никогда не был, не всегда упоминал источники. Барбот де Марни писал ему о единственном в округе золотом руднике, о «серной горе» у Р.Ильдикан, о качестве серебросвинцовых руд, об околорудных изменениях известняков и о многом другом. Герман публиковал эти данные в форме своих писем в журналы. В предисловии к двум из них он писал: «Из моей переписки с нерчинским командиром г-ном Барботом и различных его посылок я получил некоторые минералогические известия, касающиеся тамошних гор...» [14]. Еще одно письмо представляло собой фрагмент письма Барбота де Марни, объяснявшего (задолго до появления морфоструктурного анализа) неупорядоченность рельефа Забайкалья переворотами, вызвавшими провал «первозданных» гор и образование над ними более молодых [15], предвосхитив выводы XX в. о пересечении здесь палеозойских структур мезозойскими.

Пресняков, изучавший документы округа, отметил, что в 1788—1796 гг. «широко разви-

вались поиски, причем чертежи... выгодно отличаются от более ранних детальным указанием вмещающих пород. Впервые сознательно выдвинуто значение «споев» (контактов) различных пород» [1. С.62]. (Проявлен региональный подход к поискам: тяготение серебро-свинцовых руд к контактам карбонатных и силикатных пород характерно для Забайкалья.)

В ряде стран Европы уже составлялись геогностические карты. Первая попытка Л.Кулона (Франция) датирована 1644 г. И.Геттар (1746) издал схематичную карту Франции, Англии и Германии, а Н.Демаре (1760—1770-е годы) — карту вулканической области Овернь. В Германии Г.Х.Фюксель опубликовал карту и послойные разрезы толщ Тюрингии (1762), а И.Ф.Шарпантье — первую карту Саксонии (1778). Подобные труды могли быть в большой библиотеке начальника. Возможно, это объясняет парадокс: первая геологическая карта появилась в Нерчинском округе, когда там работал один натуралист, он же администратор, а не на Алтае, где девять партий экспедиции 1786 г. возглавляли опытные горные офицеры или натуралисты.

* * *

Строить версии событий XVIII в., происходивших в дальнем углу империи, свидетельств о которых мало, при недоступности карты и связанных с ней документов непросто. Наименее противоречива следующая.

Составление геогностической карты было задумано и организовано Е.Е.Барботом де Марни, единственным в те годы натуралистом, давно работавшим в округе и наделенным властью. Полевые работы (1789—1794) вписаны в период его руководства заводами. Наиболее вероятно совмещение этих работ с предписанными свыше площадными поисками, что предполагало выделение людей, материалов, инструментов и ассигнований. Оставалось доба-



Выходы гранитов с рудоносными пегматитовыми жилами на горе Адун-Челон [16. Т.2].

Фото Г.А.Юргенсона

вить в партию подготовленного для геологических маршрутов человека с помощником, при необходимости предоставляя ему горнорабочих.

К началу съемки Барбот де Марни располагал разнообразными геологическими наблюдениями и коллекциями. Исполнителей он подготовил из учеников топографов (маркшейдеров) или лучших выпускников горнозаводской школы. Зимой—весной 1788—1789 гг. следовало обучить их элементам геогнозии и минералогии, подготовить полевую коллекцию минералов и горных пород, исходную топоснову. До 1793 г. каждое лето один занимался геогнозией, другой мог участвовать в поисках.

Какой видел окончательную карту Барбот де Марни, можно

лишь предполагать. Наложение молодых структур на древние затрудняло выделение формаций, но карта могла стать геогностической: он выделял в регионе [15] древние и новые горы (группы формаций).

Однако, что бы ни задумал Егор Егорович, времени у него не оставалось. Источники подтверждают: он умер и похоронен на Нерчинском заводе в 1796 г. В округ прибыл с Алтая новый начальник, но завершить и описать карту было некому. И.И.Черницын, способный механик, ученик знаменитого И.И.Ползунова достиг высоких чинов, однако в Забайкалье он сильно пил и нередко пускал в ход нагайку [5]. Спасибо, что карту сохранил архив Кабинета (архивы Сибири, случилось,

горели), и мы узнали об этой героической попытке.

Составление карты считают рубежом в истории геологии России, но, погребенная в архиве, она едва ли могла на что-то влиять. О ней не упоминали ни инструкция по геогностическим исследованиям В.Ю.Соймонова (1829), ни капитальный учебник геогнозии Э.И.Эйхвальда (1846), ни обобщение по Забайкалью А.Д.Озерского (1867).

Потомки Егора Егоровича изучали геологию и богатства недр Урала, Европейской России, Кавказа, Средней Азии, Казахстана... Среди них были профессора Петербургского горного института.

О Дородее Лебедеве и Михаиле Иванове сведений нет. Ясно, что приобретенный ими опыт — уникальный для России XVIII в. — не был востребован, и они не получили заслуженно-

го ими образования. Данные о них можно искать в Читинском архиве.

Рано или поздно фонд Кабинета станет доступен. Я заранее благодарен тем, кто уточнит, дополнит или даже опровергнет мою версию. Трудно сказать, что хуже: 130-летнее забвение карты или 80-летнее нежелание исследовать этот феномен.

Династия Барбот де Марни также ждет своих историков. ■

Литература

1. Пресняков Е.А. // Геол. вестник. 1926—1927. Т.V. №4—5. С.60—62.
2. Хабаков А.В. Очерки по истории геолого-разведочных знаний в России. Ч.1. М., 1950.
3. Юдалевич М.И. Барнаул (1730—1917). Барнаул, 1992.
4. *Hermann B.F.* Mineralogische Reisen in Sibirien. Bd.I. S.-Pet., 1797.
5. Максимов С.В. Сибирь и каторга. Ч.III. СПб., 1871.
6. Раскин Н.М., Шафрановский И.И. Александр Матвеевич Карамышев. Л., 1975.
7. *Pallas P.S.* // Neue Nord. Beiträge... Bd. II. S.-Pet., 1781. S.359—360.
8. Полное собрание законов Российской империи. Собр.1. В 40 т. СПб., 1830.
9. Попов И.И. Минувшее и пережитое. Ч.2. Сибирь и эмиграция. Л., 1924.
10. Мясников А. // Сибирские огни. 2006. №11. С.122—129.
11. [Карамышев А.М.] // Горн. журн. 1828. Т.II. №4. С.130—136.
12. Гергард К.А. Опыт повести о царстве ископаемых. СПб., 1790.
13. Обручев В.А. История геологического исследования Сибири. Период I. Л., 1931.
14. *Hermann B.F.* // *Crell, Chem. Annalen.* 1791. Bd.I. №2. S.153—157; №3. S.239—243.
15. *Barboth de Marny* // *Crell, Chem. Annalen.* 1791. Bd.I. №4. S.342—346.
16. Энциклопедия Забайкалья: Читинская область. Т.2. Новосибирск, 2004; Т.3. Новосибирск, 2006.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
Л.М.ФЕДОРОВА
М.В.КУТКИНА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.01.2009
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 947
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6