

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

научный и общественно-политический журнал

том 86 № 12 2016 Декабрь

Основан в 1931 г.
Выходит 12 раз в год
ISSN: 0869-5873

*Журнал издаётся под руководством
Президиума РАН*

Главный редактор
В.Е. Фортов

Редакционная коллегия

Ж.И. Алфёров, А.Ф. Андреев, В.Н. Большаков,
В.И. Васильев, Г.С. Голицын, А.И. Григорьев,
И.И. Дедов, А.П. Деревянко, Ю.М. Каган, А.И. Коновалов,
В.В. Костюк (заместитель главного редактора),
Н.П. Лавёров, Г.А. Месяц, Ю.В. Наточин,
А.Д. Некипелов, О.М. Нефёдов, В.И. Осипов, Р.В. Петров,
В.В. Пирожков (ответственный секретарь), Г.А. Романенко,
Д.В. Рундквист, А.С. Спирин, В.С. Стёпин,
Л.Д. Фаддеев, Т.Я. Хабриева, Е.П. Челышев, А.О. Чубарьян,
В.Л. Янин

Заместитель главного редактора
Г.А. Заикина

Заведующая редакцией
В.В. Володарская

Адрес редакции: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 90
Тел.: 8(495) 276-77-26, доб. 4261
E-mail: vestnik@naukaran.com
Подписка на “Вестник РАН” по Москве
через Интернет WWW.GAZETY.ru

Москва
Издательство “Наука”

СОДЕРЖАНИЕ

Том 86, номер 12, 2016

Доклады лауреатов Большой золотой медали имени М.В. Ломоносова Российской академии наук 2015 года

Л.В. Келдыш
Динамическое туннелирование 1059

П. Коркум
Исследование квантовых систем изнутри при генерации ими самых коротких
в мире оптических импульсов 1073

Наука и общество

В.И. Стародубов, Н.Г. Куракова
Идентификация субъекта в стратегии научно-технологического развития
Российской Федерации 1081

Из рабочей тетради исследователя

С.А. Бойцов, И.В. Самородская
Факторы, влияющие на смертность населения 1089

Обозрение

А.Г. Володин
Россия—Индия: проблемы и перспективы перекрёстных инвестиций 1098

Точка зрения

С.Л. Шварцев
Неизвестные механизмы гранитизации базальтов 1106

Былое

А.С. Крымская
Информационно-аналитические центры в системе принятия решений
на государственном уровне 1121

Этюды об учёных

А.Л. Бучаченко
Памяти выдающегося современника. К 80-летию со дня рождения академика В.А. Лёгасова 1128

К 125-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Н.В. БЕЛОВА

Д.Ю. Пуцаровский, Н.Н. Еремин
Создатель российской школы структурной кристаллографии 1133

В.В. Бакакин, С.В. Борисов
Вспоминая Николая Васильевича Белова 1138

Официальный отдел

Юбилей. — Награды и премии 1141

Указатель статей, опубликованных в “Вестнике Российской академии наук”, 2016, № 1–12 1144

Именной указатель авторов 1150

В конце номера

Т.А. Апендиев, Ж.М. Асылбекова, Н.М. Абдукадыров, Е.Ж. Сатов
Историческая картина переселения немцев в Казахстан (конец XIX — начало XX вв.) 1154

CONTENTS

Vol. 86, No. 12, 2016

Simultaneous English language translation of the journal is available from Pleiades Publishing, Ltd.
Distributed worldwide by Springer. *Herald of the Russian Academy of Sciences* ISSN 1019-3316

Presentations of Winners of the Grand Gold M.V. Lomonosov Medal of the Russian Academy of Sciences, 2015

L.V. Keldysh
Dynamic Tunneling 1059

P. Corkum
Probing Quantum Systems from the Inside While Producing
the World's Shortest Optical Pulses 1073

Science and Society

V.I. Starodubov, N.G. Kurakova
Identification of Subject in the Strategy of Scientific and Technological Development
of the Russian Federation 1081

From the Researcher's Notebook

S.A. Boytsov, I.V. Samorodskaya
Factors Influencing Mortality 1089

Review

A.G. Volodin
Russia–India: Problems and Prospects of Mutual Investments 1098

Point of View

S.L. Shvartsev
Unknown Mechanisms of Basalts Granitization 1106

Bygone Times

A.S. Krymskaya
Information-Analytical Centers in the State Level System of Decision-Making 1121

Profiles

A.L. Buchachenko
On the Memory of the Outstanding Contemporary.
To 80th Anniversary of the Birth of Academician V.A. Legasov 1128

TO 125TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF ACADEMICIAN N.V. BELOV

D.Yu. Pushcharovsky, N.N. Eremin
The Founder of the Russian School of Structural Crystallography 1133

V.V. Bakakin, S.V. Borisov
Remembering Nikolai Belov 1138

Official Section

Anniversaries. Awards and Prizes 1141
Index of Articles Published in the “Herald of the Russian Academy of Sciences”, 2016, № 1–12 1144
Name Index of Authors 1150

At the of the Issue

T.A. Apendiev, Zh.M. Asylbekova, N.M. Abdukadyrov, E.Zh. Satov
Historical Picture of the Resettlement of Germans in Kazakhstan 1154

ДОКЛАДЫ ЛАУРЕАТОВ БОЛЬШОЙ ЗОЛОТОЙ МЕДАЛИ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК 2015 ГОДА

ДИНАМИЧЕСКОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ

© 2016 г. Л.В. Келдыш

Отделение физических наук РАН, Москва, Россия

e-mail: keldish@ipi.ru

Поступил в редакцию 14.07.2016 г.

В эпоху информационных технологий туннельные явления стали важной областью физики твёрдого тела. Специфика динамики электронов в кристаллах наряду с крайней чувствительностью вероятности туннелирования к параметрам как самой частицы, так и барьера существенно отличают междузонное туннелирование от привычной картины прохождения через потенциальный барьер. А вскоре после создания лазеров выяснилось, что туннельный эффект является также определяющим механизмом взаимодействия мощного электромагнитного излучения с атомами, молекулами, твёрдыми телами. Объединяющим для этих двух, казалось бы, разных групп явлений служит их критическая зависимость от временной динамики процесса туннелирования. В докладе рассказывается об истории развития этих представлений и их применении для описания зависимости параметров междузонного туннельного эффекта от структуры электронного спектра кристалла, критической роли взаимодействия электронов с фононами, влияния туннельного эффекта на оптические спектры поглощения кристаллов. Показано также, как при изменении интенсивности или частоты переменного внешнего поля процессы многофотонного поглощения плавно преобразуются в туннельный эффект.

Ключевые слова: туннельный эффект, многофотонные процессы, динамическое туннелирование, диод Эсаки, туннелирование с участием фононов, время туннелирования, электропоглощение, эффект Франца–Келдыша.

DOI: 10.7868/S0869587316120057

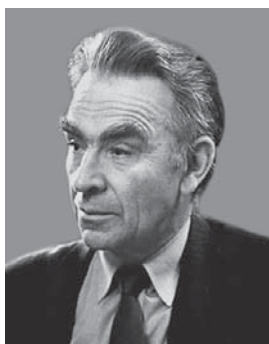
В квантовой механике туннельным эффектом называют способность частиц преодолевать потенциальные барьеры, непреодолимые согласно законам механики классической. Наряду с дифракцией электронов и квантованием атомных уровней энергии туннельный эффект — одно из ранних и наиболее наглядных проявлений кардинальных отличий квантовых закономерностей от классических. Напомню, что потенциальный ба-

рьер — область, в которой потенциальная энергия частицы превышает её полную энергию:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + U(x), \quad E < U_{\max}.$$

В точке, где эти энергии сравниваются, скорость частицы обращается в ноль и под действием тормозящей силы меняет знак. В соответствии с законами классической механики происходит отражение от барьера. А вот квантовая механика допускает, как правило, различные варианты развития событий, предсказывая для каждого из них только вероятность реализации. Частица может, как в “классике”, отразиться от барьера (см. рис. 1, а), а может и преодолеть его, продолжив движение в первоначальном направлении (см. рис. 1, б). Выбор того или иного варианта в каждой конкретной реализации происходит случайно, и лишь частота выбора определяется предсказываемой вероятностью.

Первой и, как оказалось, наиболее значительной среди ранних работ по туннельному эффекту



КЕЛДЫШ Леонид Вениаминович — академик РАН, советник РАН, главный редактор журнала “Успехи физических наук”.

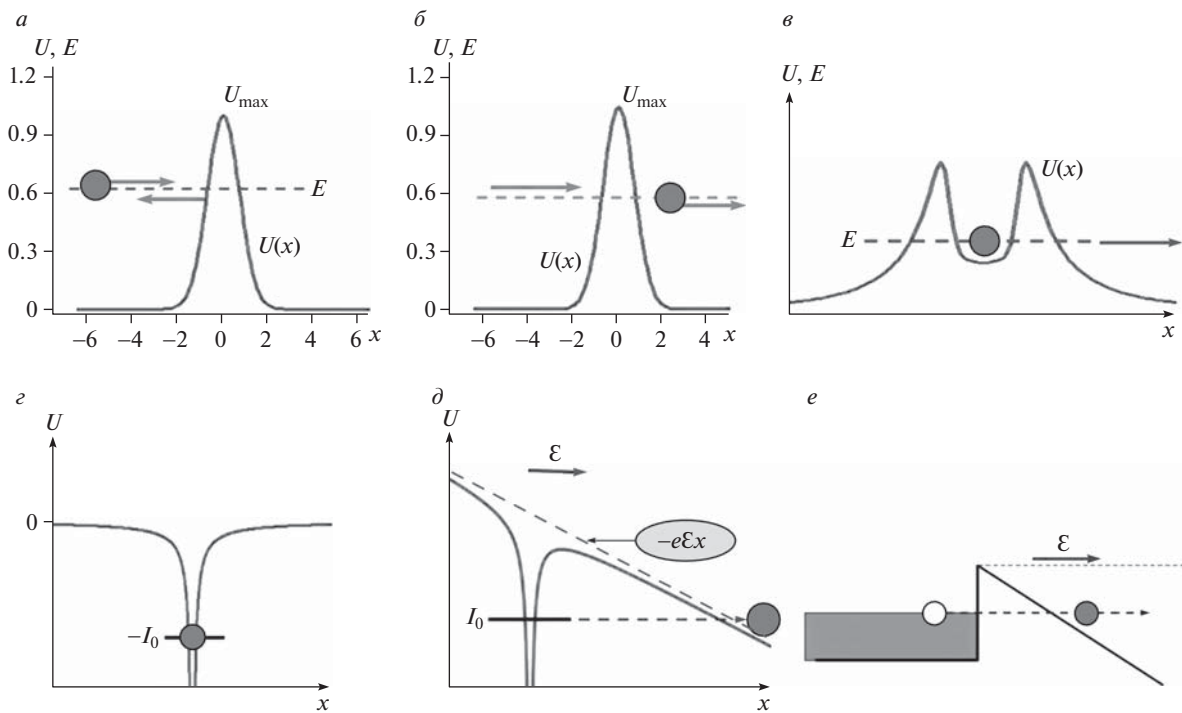


Рис. 1. Туннельный эффект

a, б — прохождение квантовых частиц через потенциальные барьеры. Вероятность туннелирования зависит от массы частицы, высоты и ширины барьера: *в* — радиоактивный α -распад, *г, д* — туннельная ионизация атомов в электрическом поле, *е* — автоэлектронная эмиссия

стала работа Г.А. Гамова [1]. В 1928 г. он предложил объяснение остававшегося до того непонятным явления альфа-распада. По идее Гамова, альфа-частица удерживается в ядре потенциалом такого вида, какой показан на рисунке 1, *в*: в центре — потенциальная яма, создаваемая ядерными силами, а на периферии — барьер, формируемый кулоновским отталкиванием положительно заряженной альфа-частицы от положительно заряженного ядра. Причина распада — туннелирование частицы через этот барьер. Такое объяснение позволило понять надёжно установленный статистический (вероятностный) характер процесса и огромные различия времён жизни для ядер разных радиоактивных элементов, поскольку туннельный эффект в значительной степени зависит от параметров барьера и туннелирующей частицы. Альфа-частицы всюду одинаковые, а вот ядра и их барьеры разные. Приведу в предельно схематизированной форме формулу вероятности туннелирования:

$$W \sim \exp\left(-\frac{\sqrt{2m}}{\hbar} \sqrt{U_{\max} - E} \cdot L\right).$$

Она содержит в экспоненте ширину барьера, квадратный корень из произведения массы частицы на высоту барьера. Изменение любого из этих параметров на несколько процентов может

иногда на порядки величины изменять вероятность события. Дополнительно значимость работе Гамова придавало и то, что он придумал для нового эффекта яркое, запоминающееся название — “туннельный эффект”, оставшееся, по-видимому, навсегда в физической терминологии. Хотя никаких реальных туннелей тут нет, но название намекает на какую-то загадочность и, может быть, даже мистику. Гамов вообще был ярким человеком.

В том же году появилась работа Р. Оппенгеймера [2], будущего научного руководителя Манхэттенского проекта. В отличие от Гамова он рассмотрел задачу, в которой все параметры точно известны. В квантовой механике такой эталонной системой служит атом водорода. В частности, уже был известен потенциал ионизации, то есть энергия наинизшего уровня, на котором находится электрон в атоме. Оппенгеймер попытался выяснить, что будет с атомом водорода, если его поместить в сильное внешнее электрическое поле. Потенциал однородного электрического поля линеен, это своего рода наклонная плоскость. При наложении его на кулоновский потенциал атома образуется суммарный потенциал, показанный на рис. 1, *д*, что приводит к появлению потенциального барьера для электрона. По законам классической механики, для его преодоления электрону нужна дополнительная энергия, близ-

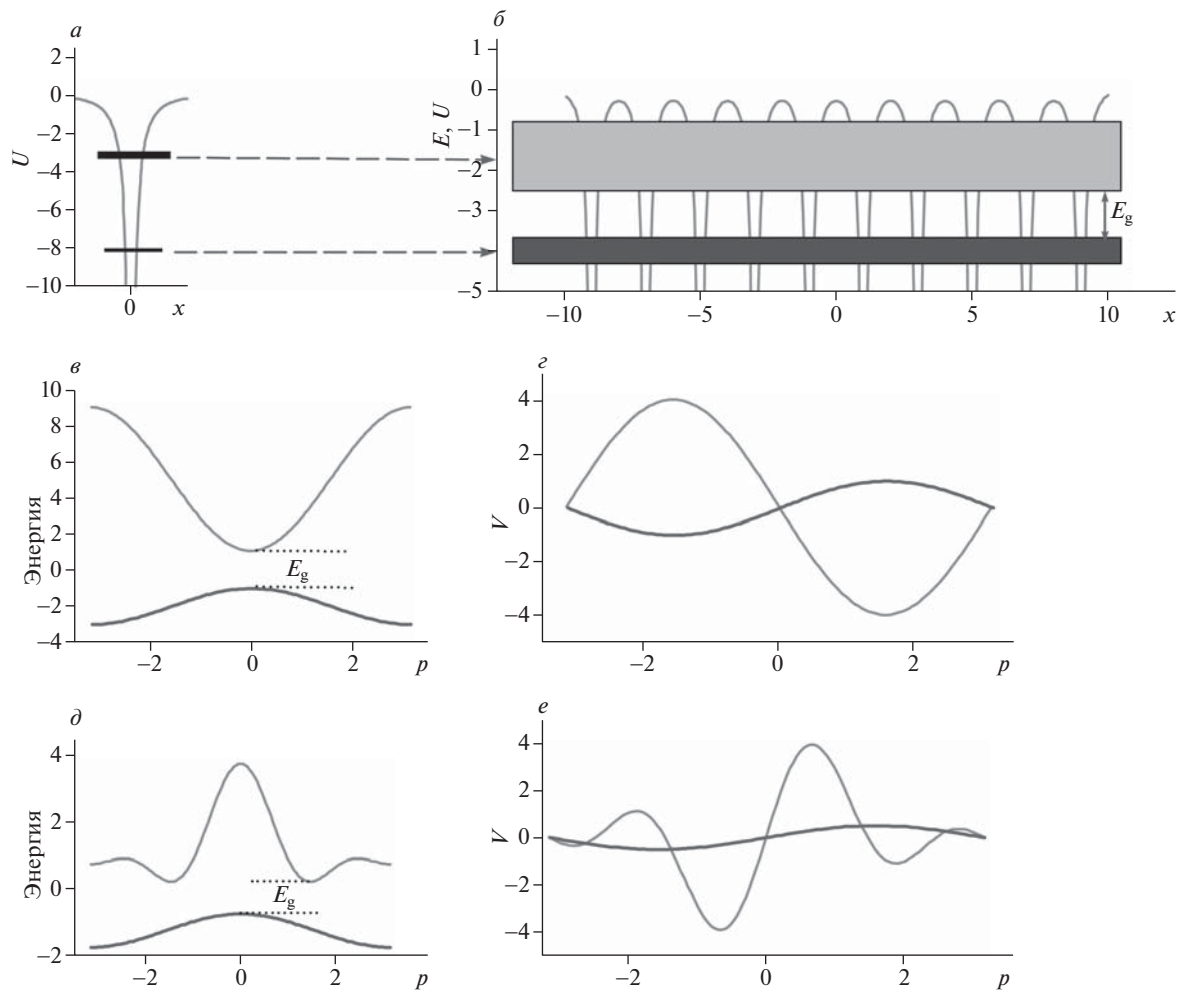


Рис. 2. Электронные спектры кристаллов

a, б – разрешённые и запрещённые интервалы энергий (зоны); *в, г, д, е* – различные зависимости (*в* и *д*) энергии $E(p)$ и скорости $v(p)$ электронов (*г* и *е*) от квазиимпульсов p

кая к потенциалу ионизации. В квантовой механике электрон может сквозь барьер туннелировать (рис. 1, *г*). Решив задачу, Оппенгеймер получил почти правильную формулу для описания вероятности туннелирования и оценил поля, на тот момент ещё недоступные, в которых этот эффект может быть наблюдаем.

В числе ранних назову также работу Р. Фаулера и Л. Нордгейма (1928), объяснивших туннельным эффектом ещё одно явление [3]. Речь идёт о так называемой холодной эмиссии электронов с поверхности металла, к которой приложено достаточно сильное электрическое поле. Подход Фаулера и Нордгейма аналогичен предложенному Оппенгеймером, и результат для вероятности туннелирования, по существу, такой же, как у него, правда, с заменой потенциала ионизации атома на работу выхода из металла, которая для каждого металла индивидуальна. Существенно, что в

глубь металла поле не проникает, так как оно экранируется электронами.

И ещё об одной работе не могу не упомянуть: в 1932 г. К. Зинер ввёл представление о так называемом междозонном туннелировании в твёрдых телах (рис. 1, *е*) [4] (к нему я вернусь чуть позже).

Резкое повышение интереса к физике твёрдого тела, в том числе к физике полупроводников, в немалой степени связано с созданием в конце 1947 г. транзистора Дж. Бардином, У. Браттейном и У. Шокли [5, 6], положившим начало эры информационных технологий. Хотя первый электронный компьютер был создан за год до этого, но без транзистора его перспективы выглядели весьма туманно. С появлением транзистора началась буквально охота за новыми твердотельными явлениями и эффектами, в первую очередь электронными, в том числе и туннельными. Но чтобы говорить об этом сколько-нибудь конкретно, ко-

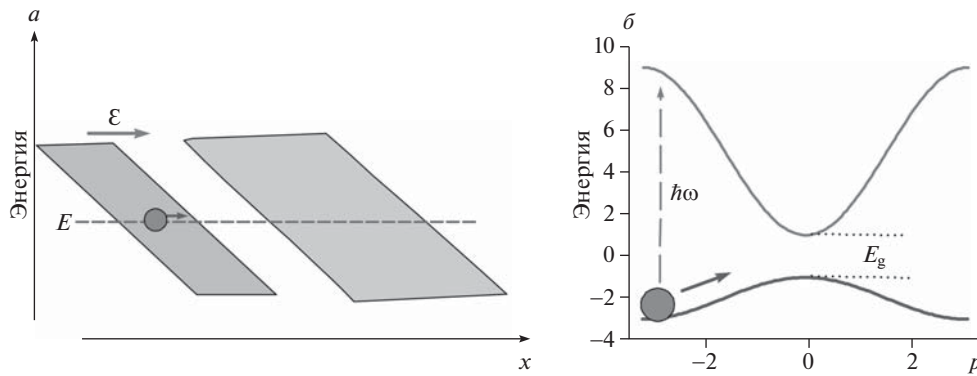


Рис. 3. Картина междозонного туннелирования

a — в координатном представлении, в электрическом поле запрещённая зона выступает в роли барьера; b — в импульсном представлении, междозонный переход — фотоэффект — возможен для фотонов при $\hbar\omega > E_g$

ротко поясню некоторые базовые понятия квантовой теории твёрдого тела.

Буду исходить из предположения, что у атомов есть дискретные уровни энергии, на которых “сидят” или могут “сидеть” электроны. Кристаллическое твёрдое тело представляет собой упорядоченное собрание многих атомов. В каждом из атомов или, лучше сказать, в каждой из ячеек кристалла есть одни и те же энергетические уровни. Соседние ячейки разделены потенциальными барьерами, но за счёт хотя бы того же туннельного эффекта (и не только) электрон может перейти от своего атома в соседнюю ячейку, а затем в следующую и т.д. То есть он не заперт в своём атоме, а способен перемещаться по всему кристаллу, или, как принято говорить, делокализован (рис. 2, a, b). Перемещение по кристаллу связано с какой-то дополнительной энергией, то есть энергия электрона уже не равна энергии исходного атомного уровня. Разным скоростям перемещения соответствуют разные добавки к энергии, и таким образом каждый уровень исходного атома преобразуется в систему уровней, заполняющих целую полосу энергий вокруг энергии исходного атомного уровня. Эти полосы принято называть разрешёнными зонами энергии. Они разделены запрещёнными зонами энергии, в которых электронных состояний нет. В пределах каждой разрешённой зоны энергия связана со скоростью перемещения по кристаллу, а точнее, они обе определяются некоторым квантовым числом, называемым квазиимпульсом, связанным с так называемой длиной волны де Бройля электрона. Простейшие примеры зон приведены на рисунках 2, b, g, d, e . Видно, что зависимости могут быть весьма причудливыми. Графики зонных структур реальных кристаллов напоминают иногда футуристическую скульптуру. И это объясняет огромное разнообразие поведения электронов в разных кристаллах и даже в разных зонах

одного и того же кристалла. Но мне для пояснения достаточно таких относительно простых схем.

Теперь о туннельном эффекте. Введённое Зи-нером понятие о междозонном туннельном эффекте означает туннелирование электрона под действием внешнего электрического поля из одной разрешённой зоны в другую через разделяющую их запрещённую зону. В электрическом поле все уровни энергии в любой точке смещаются на величину электростатического потенциала в этой точке. Возникает картина “наклонённых зон” (рис. 3, a): электрон с энергией E свободно движется в областях, где уровень E пересекает разрешённые зоны, но, по-видимому, он не должен находиться там, где уровень его энергии попадает в зону запрещённую. Эта область, вероятнее всего, играет роль барьера. Естественно предположить, что роль высоты барьера играет ширина запрещённой зоны, а ширина барьера определяется делением ширины запрещённой зоны на наклон зон (рис. 3). Однако совершенно непонятно, что использовать в качестве массы туннелирующей частицы: во-первых, само понятие массы (и даже “эффективной массы”) для реальных зон далеко не всегда применимо, а если приближённо и применимо, то различно в зонах, откуда и куда идёт туннелирование, и к тому же зависит от направления скорости. Иными словами, мы не имеем уравнения Шрёдингера для движения в области запрещённой зоны, а ведь туннельный эффект — следствие решения этого уравнения. Но существует способ обойти эту трудность.

В квантовой механике при её ограничениях на возможность описания явлений в координатно-импульсном фазовом пространстве имеются взаимодополняющие возможности описания либо в координатном, либо в импульсном представлении. На рисунке 3, a дана координатная картина междозонного туннелирования, на рисунке 3, b —

то же явление в квазиимпульсном представлении: здесь нет наклонённых зон, зато детализирована динамика эволюции во времени квантового состояния электрона под действием внешнего электрического поля. Присутствуют одновременно два типа изменений.

1. Внутризонное “ускорение”: в каждой из разрешённых зон квазиимпульс состояния непрерывно изменяется во времени по классическому закону. В соответствии с этой картиной энергия электрона в каждой разрешённой зоне плавно изменяется под действием поля. И в отличие от координатного описания структуру зон мы знаем или умеем находить.

2. Междузонные переходы с сохранением мгновенного значения квазиимпульса — они те же, что проявляются в оптических переходах. В статическом или медленно меняющемся поле они, казалось бы, не могут быть реальными, поскольку нарушают закон сохранения энергии. Однако в квантовой механике не существует понятия мгновенного значения энергии. Если энергия не сохраняется, то более правильно говорить, следуя де Бройлю, о частотном спектре процесса. Хорошо известный пример — уширение спектральных линий вследствие конечного времени жизни соответствующих квантовых состояний.

Совершенно аналогично внутризонное изменение квазиимпульса во времени приводит к размытию и уширению зонного спектра энергий (частот). У него появляются “крылья”, распространяющиеся, экспоненциально убывая, в глубь запрещённых зон. Перекрывание этих спектров разных зон открывает возможность реальных междузонных переходов даже в статическом поле. Величина перекрывания, следовательно, и вероятность перехода определяются зависимостью энергии от квазиимпульса в каждой из зон и зависимостью квазиимпульса от времени. Это и есть процесс междузонного туннелирования в зонно-квазиимпульсном представлении, то есть туннелирование, которое в координатном представлении происходит в пространстве вдоль направления поля, а в квазиимпульсном реализуется вдоль оси энергий (частот) (см. рис. 3, б). На основе этих представлений выводится формула стандартного вида для вероятности туннелирования через “треугольный” барьер [2, 3, 5, 6], включая и рождение электронно-позитронных пар в однородном, стационарном электрическом поле [7].

В отличие от вакуумного туннелирования, в кристаллах заранее неясно, какая масса входит в выражение для туннелирования. По существу, это определение параметров туннелирующей квазичастицы, причём ошибка в определении массы на 10–20% может означать изменение вероятности на порядки. В работах У. Шокли с соавторами [6] была введена некоторая “эффектив-

ная масса” без указания способов её определения. В соответствии с описанным выше подходом выяснилось [8], что входит так называемая приведённая эффективная масса двух зон для движения в направлении внешнего поля, вычисленная при значении квазиимпульса, соответствующего минимуму разности энергий этих зон:

$$w_{\text{tun}} = \exp \left(-\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m_{\text{tun}} E_g^3}{e \hbar \varepsilon}} \right),$$

где m_{tun} — приведённая эффективная масса электрона и дырки для движения в направлении поля [8].

Примечательно, что такой минимум может достигаться для значения квазиимпульса, при котором энергия ни в одной из зон экстремальной не является. Тогда понятие эффективной массы в окрестности этой точки ни в одной из зон смысла не имеет. Но туннельная эффективная масса всегда точно определена. Другой важный результат — анизотропия туннельной массы. В типичных полупроводниках её значение может изменяться в несколько раз при изменении направления внешнего поля.

Как выяснилось, в реальных зонных структурах и высота барьера вовсе не обязательно определяется шириной запрещённой зоны. Поскольку междузонные переходы сохраняют квазиимпульс, истинной шириной барьера служит минимальное расстояние по вертикали — оптическая ширина щели. Это могло бы быть губительно для туннельного эффекта, так как сколько-нибудь заметное увеличение барьера снижает вероятность перехода на порядки. Нужно откуда-то взять недостающий квазиимпульс. И здесь необходимо упомянуть фононы — кванты упругих волн в кристаллической решётке. Известно, что именно обмен импульсом между электроном и кристаллической решёткой в процессах поглощения и испускания фононов — основной механизм электросопротивления. В случае же туннельного тока эти процессы могут спасти ситуацию. Речь идёт о комбинированном процессе, при котором в ходе туннелирования электрон поглощает (или испускает) фонон вместе с его (фонона) квазиимпульсом. При этом имеется в виду вклад таких фононов, квазиимпульсы которых близки к разности квазиимпульсов, соответствующих минимуму энергии в верхней зоне и максимуму в нижней. Вероятность этого процесса уменьшается необходимостью испустить или поглотить требуемый фонон за достаточно короткое время туннелирования. Однако значительно более существен выигрыш за счёт снижения туннельного барьера до минимально возможного значения — ширины запрещённой зоны.

В те же 1957–1958 гг., когда была опубликована эта теоретическая работа [8], Л. Эсаки впервые наблюдал междзонный туннельный эффект в полупроводниках и, более того, создал на этой основе новое устройство — туннельный диод [9], который многие считали даже более перспективным, чем транзистор, по крайней мере, по быстродействию. Начались интенсивные исследования свойств и характеристик диодов Эсаки. И немедленно обнаружилось, что туннельный ток в них полностью обусловлен процессами с участием фононов, поскольку зонные структуры в обоих наиболее широко использовавшихся тогда полупроводниках — германии и кремнии — схематически подобны изображённой на рисунке 4, а. В последующие два года формулы теории были многократно и всесторонне проверены и подтверждены экспериментами.

Представление о возможности существенного участия фононов в процессе междзонного туннелирования имело ещё и побочный выход, имеющий самостоятельное значение. Учитывая созвучие терминов “фонон”, “фотон”, зададимся вопросом: а не могут ли и фотоны в каких-то случаях существенно проявить себя в процессах туннелирования? Легко, однако, убедиться, что прямой аналогии не существует: из-за огромной разницы скоростей света и звука у фотона и фонона совершенно разные соотношения между энергией и импульсом. В атомных (и твердотельных) масштабах квазиимпульсы фононов сопоставимы с электронными, а энергии очень малы. У фотонов же, напротив, квазиимпульсы очень малы при энергиях, сопоставимых с электронными. Фотон с импульсом того же порядка, что и у электронов в разрешённых зонах кристаллов, должен был бы иметь энергию порядка нескольких килоэлектронвольт, что соответствует частотам далеко в рентгеновском диапазоне. Таким фотонам в процессах туннелирования появиться неоткуда.

Однако если фотоны не могут помочь туннелированию, то туннелирование способно существенно повлиять на некоторые важные процессы с участием фотонов, в первую очередь на поглощение света в кристаллах. Собственное поглощение света в неметаллических кристаллах связано с междзонными переходами — это внутренний фотоэффект [10, 11]. В таком процессе поглощаться могут только фотоны с энергиями большими, чем ширина запрещённой зоны. Для более длинноволновых фотонов кристалл прозрачен. Внешнее электрическое поле и туннельный эффект создают возможность поглощения фотонов меньших энергий. На рисунке 4, б в картине наклонённых зон видно, как электрон в процессе туннелирования поглощает фотон с энергией меньшей ширины запрещённой зоны, добывая недостающую для междзонного перехода энергию от приложенного внешнего поля. Этот эффект (называемый в литературе эффектом Франца—Келдыша. — *Прим. ред.*) широко использовался в спектроскопии полупроводниковых кристаллов для определения положений границ разрешённых и запрещённых зон. Он привлекает также внимание возможностями практического использования в различных оптоэлектронных устройствах для управления световыми потоками. В мире ежегодно регистрируется несколько десятков патентов, так или иначе опирающихся на это явление. Не знаю, какой процент из них оказывается практичным, но видно, что интерес пока не убывает.

В начале 1961 г. в США состоялась конференция по туннельным явлениям в твёрдых телах — по словам её организаторов, первая в истории с такой тематикой (фото). Большинство докладов посвящалось междзонному туннелированию в полупроводниках и диодах Эсаки, но были представлены и первые результаты по туннелированию между сверхпроводниками, разделёнными барьером в виде тонкой диэлектрической плёнки

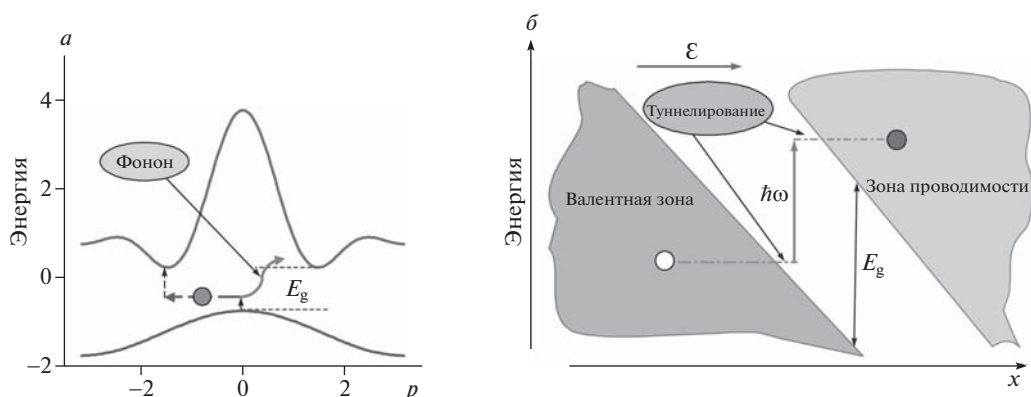
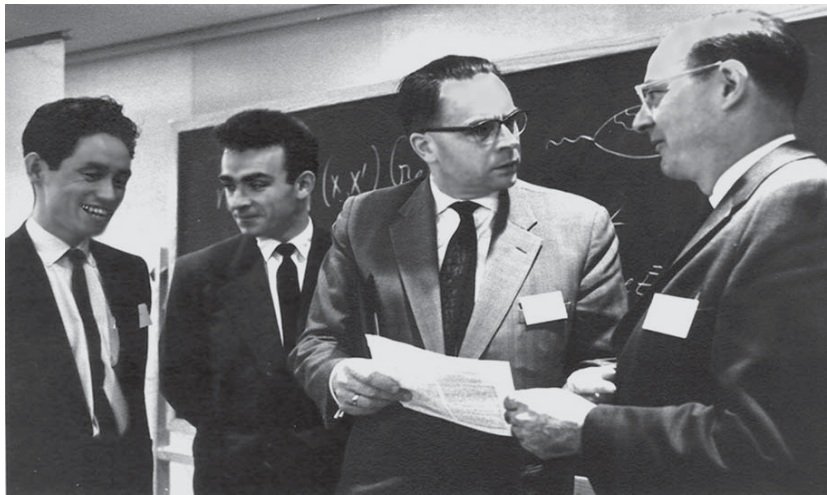


Рис. 4. Туннелирование с участием фононов (а) и поглощение фотонов в электрическом поле (б)



Участники международной конференции по туннельным явлениям в твёрдых телах. Филадельфия, США, 30–31 января 1961 г. Слева направо: Л. Эсаки, Л. Келдыш, В. Франц, Дж. Бардин

[12]. Схема этих первых экспериментов напоминала диод Эсаки, но вскоре, особенно после открытия эффекта Джозефсона [13], изучение туннельных явлений в сверхпроводниках выделилось в совершенно особое направление. Со временем диоды Эсаки заняли своё место среди многих устройств твердотельной электроники, но именно благодаря этому открытию туннельный эффект перестал быть просто забавой для теоретиков, а развился постепенно в широкую и актуальную область физики твёрдого тела.

Ещё один вопрос, который в те годы много раз задавали не столько физики, сколько инженеры-электронщики, — о времени туннелирования. Не о вероятности или связанном с вероятностью временем жизни состояния, а о том случае, когда эта вероятность реализуется — как долго этот процесс продолжается (см. рис. 4, в), сколько времени частица проводит под барьером? Для разработчиков это был вопрос о частотных характеристиках диода, или, ещё проще, о его быстродействии. Особую актуальность ему придавало то, что изначально интерес к диодам Эсаки был связан именно с надеждой на их высокое быстродействие. Для меня он также представлял интерес [14], поскольку ранее туннельный эффект рассматривался как стационарное явление без каких-либо временных характеристик, и при таком подходе вообще неясно, можно ли придать какой-то смысл понятию о времени туннелирования. Также мало помогало и рассмотрение туннелирования волновых пакетов: под барьером они не распространяются, а расплываются, к тому же описываются совместно все частицы, без различия тех, которые барьер преодолеют, и тех, которые из-под барьера уйдут обратно. Однако в зонно-квазиимпульсном представлении для

каждого электрона процесс развивается во времени. Отсюда, кстати говоря, и название — “динамическое туннелирование”. Стационарность всего процесса обеспечивается непрерывным потоком электронов, следующих один за другим в квазиимпульсном пространстве. Для каждого электрона междузонный переход происходит непрерывно, но вклады от последующих моментов времени не просто суммируются, а, согласно квантовой механике, интерферируют. Наибольший вклад происходит от времени прохождения окрестности точки, где разделяющий зоны энергетический барьер минимален. При этом амплитуда перехода существенно накапливается в интервале квазиимпульсов, где расстояние между зонами по энергии сравнимо со своим минимальным значением. Вклад областей квазиимпульсов вне этого интервала пренебрежимо мал из-за интерференции. Такого рода рассуждения позволяют оценить время туннелирования: для полупроводников $E_g \ll \bar{E}$, основной вклад в переход от области $E \sim E_g$. Время прохождения через неё: $t_{\text{tun}} \sim \sqrt{m_{\text{tun}} E_g} / e\hbar$; для диодов Эсаки: $\tau_{\text{tun}} \sim 10^{-14}$ с ~ 10 фс (конечно, это не точное значение, а лишь порядковая оценка среднего по ансамблю).

К сожалению, оказалось, что быстродействие туннельных диодов ограничено гораздо более низкими частотами из-за иных причин, включая чисто технологические, — контакты, пространственные заряды и т.п. Так что проверить теоретическую оценку [14] экспериментально в то время не удалось. Для диодов Эсаки процесс туннелирования можно считать практически мгновенным.

Вопрос о длительности процесса туннелирования приобрёл особую актуальность после созда-

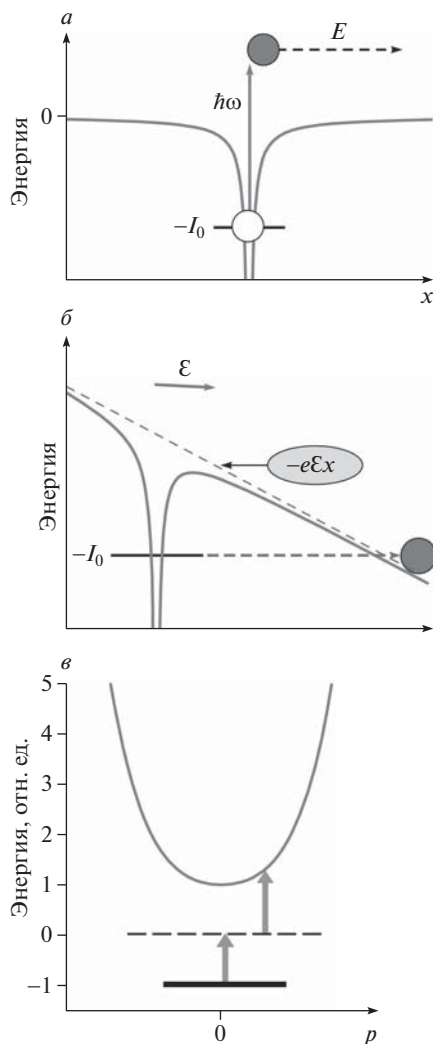


Рис. 5. Механизмы взаимодействия

a — туннельный эффект, b — фотоэффект, c — многофотонные процессы

ния мазеров [15, 16] и лазеров [17, 18], когда стало возможным выстраивать поля оптических частот со значениями напряжённости, ранее немыслимыми даже для статических полей. На сегодня достижимы напряжённости поля, ранее на Земле вообще не существовавшие и на несколько порядков превышающие внутриатомные. Возникла совершенно новая область исследований — изучение процессов взаимодействия такого мощного излучения с веществом.

Начинать естественно с простейшего — с атома водорода. Уже более 100 лет известны два основных процесса ионизации атомов электрическими полями — эффект туннельный и фотоэффект (рис. 5, a , b). Они, в известном смысле, не только взаимно противоположны, но и взаимодополняемы. Фотоэффект — процесс высокочастотный, наблюдается только для излучения с энергиями

квантов, превышающими потенциал ионизации атома, что соответствует далёкому ультрафиолетовому диапазону, и линейный по интенсивности излучения, наблюдаемый поэтому уже при ничтожно малых, по сравнению с внутриатомными, напряжённостях поля, характерных для любых источников света в долазерную эпоху. В отличие от фотоэффекта, туннельный эффект рассматривался ранее только в статических полях и благодаря своей сильнейшей нелинейной зависимости от поля мог быть наблюдаем лишь при напряжённостях, заметных на фоне внутриатомных полей, что хорошо видно из формулы, выведенной ещё Оппенгеймером [2]. Если частота излучения выше пороговой для фотоэффекта, то нет проблем — осуществляется обычный фотоэффект, хотя и он изменится при достаточно высоких интенсивностях. Однако для большинства мощных лазеров тогда, да и теперь, энергия кванта существенно меньше потенциалов ионизации атомов. Газы таких атомов, а также твёрдые и жидкие диэлектрики, у которых ширина запрещённой зоны превышает энергию лазерного кванта, прозрачны для излучения таких лазеров, если интенсивность излучения невелика.

Ситуация может измениться с ростом интенсивности. Появляются нелинейные, так называемые многофотонные процессы (рис. 5, c), в которых энергия для электронного перехода накапливается за счёт одновременного поглощения нескольких фотонов. Для ионизации различных атомов излучением наиболее типичных мощных лазеров требуется от 5 до 20 фотонов. Двухфотонные переходы хорошо изучены в процессах излучения, но уже для двухфотонного и тем более для многофотонного поглощения требуются высокие интенсивности, бывшие недоступными в световом диапазоне в долазерную эпоху. Дело в том, что в отличие от так называемых каскадных процессов здесь речь идёт о системах, где нет электронных состояний с энергиями, промежуточными между начальной и конечной для рассматриваемого перехода. Поэтому невозможны двух- или многоступенчатые процессы, состоящие из двух или нескольких последовательных реальных переходов. Вместо этого происходят виртуальные переходы через какие-то промежуточные состояния, но с нарушением баланса энергий. В таком виртуальном промежуточном состоянии электрон может находиться в течение малого времени Δt , пока квантовая неопределённость энергии $\hbar/\Delta t$ разрешает такое нарушение. За это короткое время должен поглотиться второй, третий и т.д. фотоны. Таким образом, качественная оценка вероятности $(n+1)$ -фотонного поглощения $w_{n+1} \sim w_n w_1 \Delta t$ и $\Delta t \sim \hbar/\Delta E$ (ΔE — отличие полученной энергии по абсолютной величине от той, которая была бы нужна для реального перехода через промежуточное состояние). Отсюда, поскольку вероятность одноквантового поглоще-

ния пропорциональна интенсивности I : $w_{n+1} \sim w_1(w_1 \Delta t)^n \sim I^{n+1}$.

Частотная зависимость многоквантового фотоэффекта, подобно одноквантовому, содержит резонансы, соответствующие тому, что при поглощении какого-то числа фотонов, ещё недостаточного для ионизации, энергия системы приближается к одному из реальных промежуточных уровней. Таким образом, основной механизм ионизации атомов мощным лазерным излучением определяется конкуренцией многофотонного фотоэффекта и высокочастотного туннельного эффекта, если он существует.

Проблема туннельного эффекта на оптических частотах — соотношение времени туннелирования и полупериода оптической частоты. Если поле успевает изменить знак прежде, чем произойдёт туннелирование, то, казалось бы, туннелирование не может состояться или, по крайней мере, должно быть сильно подавлено. На частотах $\hbar\omega \ll I_0$ действие внешнего поля наиболее существенно на свободные расстояния: $p \rightarrow p(t) = p - eA(t)$. Для монохроматического поля:

$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos \omega t \rightarrow A(t) = -\frac{\varepsilon_0}{\omega} \sin \omega t$. В общем случае: $A(t) = -\int \varepsilon(t) dt$.

Теоретически проблема может быть рассмотрена в рамках подхода, использовавшегося для описания динамического междужонного туннелирования в кристаллах, то есть как проблема перехода под действием поля из связанного состояния электрона в атоме в состояние свободного электрона. При этом в качестве начального состояния, считая внешнее поле хотя и сильным, но всё же слабым по сравнению с внутриатомным, используется волновая функция основного состояния электрона в атоме. А в качестве конечного состояния — волновая функция свободного электрона, учитывающая, однако, полностью действие внешнего электрического поля. Эта функция характеризуется значением импульса, а воздействие внешнего (однородного) электрического поля проявляется в том, что импульс изменяется во времени по классическому закону. Такому нестационарному состоянию, как было объяснено выше, нельзя приписать определённое значение энергии. Вместо этого состояние выглядит как квантовая суперпозиция состояний с разными значениями энергии. В случае монохроматического лазерного поля спектр этих энергий выглядит как усреднённая за период внешнего поля классическая энергия свободного электрона со средним импульсом p плюс (или минус) энергия произвольного числа квантов внешнего поля.

Приведу основные результаты вычислений с такими волновыми функциями.

1. Процесс ионизации происходит одновременно по разным каналам, соответствующим разным числам поглощённых фотонов: $n \cdot \hbar\omega = \tilde{I}_0 + E_n$.

2. Потенциал ионизации увеличивается на величину средней колебательной энергии свободного электрона под действием поля:

$$\tilde{I} = I_0 + \frac{e^2 \varepsilon^2}{2m\omega^2} \quad n_{\min} \geq \tilde{I}_0 / \hbar\omega.$$

3. Характер процесса ионизации определяется параметром $\omega \cdot \tau_{\text{tun}}$

$$\tau_{\text{tun}} = \sqrt{2mI_0 / (e\varepsilon)}.$$

При $\omega \cdot \tau_{\text{tun}} \gg 1$ доминирует вклад с минимальным числом поглощаемых фотонов $n = n_{\min}$, а зависимость от интенсивности имеет вид, характерный для многофотонного процесса

$$w \sim \left(\frac{e^2 \varepsilon^2}{2mI_0 \cdot \omega^2} \right)^{n_{\min}} \sim I^{n_{\min}}.$$

Когда $\omega \cdot \tau_{\text{tun}} \sim 1$, становятся существенными и вклады каналов с $n > n_{\min}$, а их зависимость от интенсивности начинает меняться, превращаясь постепенно при $\omega \cdot \tau_{\text{tun}} \ll 1$ в чисто туннельную

$$w \sim \exp(-4\varepsilon_{at}/3\varepsilon) \varepsilon_{at} \equiv \sqrt{2mI_0^3 (e\hbar)}.$$

Каждый из каналов процесса ионизации, упомянутых выше в пунктах 1 и 2, соответствует какой-либо одной из компонент суперпозиции, образующей волновую функцию конечного состояния электрона. Отличие перенормированного потенциала ионизации атома \tilde{I} от его значения для свободного атома I_0 — так называемый pondermоторный потенциал — средняя за период добавка к кинетической энергии свободного электрона вследствие его колебаний под действием внешнего переменного поля. Такая добавка сдвигает все энергии свободного электрона, но практически отсутствует в энергии связанного состояния и таким образом изменяет потенциал ионизации.

На рисунке 6, а показан, в частности, пример расчётного энергетического спектра фотоэлектронов, на котором отчётливо видны вклады многих каналов, сдвинутые относительно друг друга на величину энергии нескольких квантов. А на рисунке 6, б воспроизведены экспериментальные данные французской группы П. Агостини [19], впервые наблюдавшей это явление экспериментально и назвавшей его надпороговой ионизацией (Above Threshold Ionization, ATI).

На рисунке 7, а в двойном логарифмическом масштабе показана зависимость скорости ионизации от интенсивности лазерного излучения в случае, когда для ионизации необходимо поглощение не менее 8 фотонов. Видно, что зависимость эта очень сильная: при уменьшении интенсивности на 2 порядка вероятность ионизации падает почти на 10 порядков. Там же приведены результаты экспериментов (рис. 7, б, в, г) Ливер-

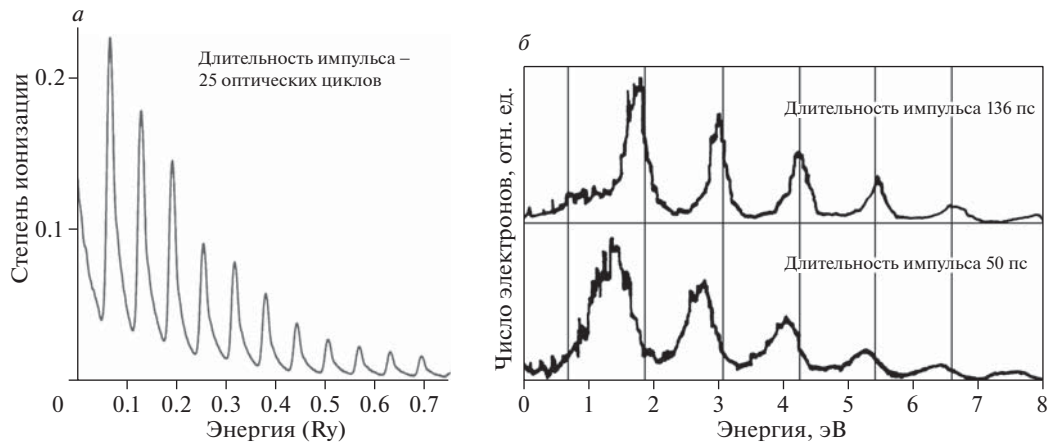


Рис. 6. Спектры фотоэлектронов

a — теоретический расчёт, *б* — данные эксперимента

морской группы М.Д. Перри с соавторами [20] и их сопоставление с теорией (рис. 7, *a*). Отрицательные зубцы на теоретической кривой связаны с последовательным закрытием низших каналов ионизации по мере возрастания потенциала ионизации \tilde{I} . При более полном рассмотрении, учитывающем кулоновское притяжение электрона к иону в конечном состоянии, они выглядят не как зубцы, а как ступеньки. Сильная зависимость вероятности ионизации от обоих параметров поля — частоты и напряжённости — определяется в основном экспоненциальным фактором

$$w \sim \exp\left(-\frac{I}{\hbar\omega} f(\gamma)\right),$$

входящим в теоретическую формулу. Здесь $\gamma = \omega \cdot \tau_{\text{tun}}$, а

$$f(\gamma) = \sinh^{-1} \gamma - \gamma \frac{\sqrt{1 + \gamma^2}}{1 + 2\gamma^2}.$$

Именно функция $f(\gamma)$ ответственна за результаты, представленные в пункте 3: при малых значениях γ вероятность w сводится к туннельной зависимости от напряжённости поля, при больших — к многофотонной, соответствующей вероятности одновременного поглощения минимального числа квантов, достаточного для ионизации данного атома. Таким образом, в многофотонном режиме доминирует вклад одного — наинизшего по числу

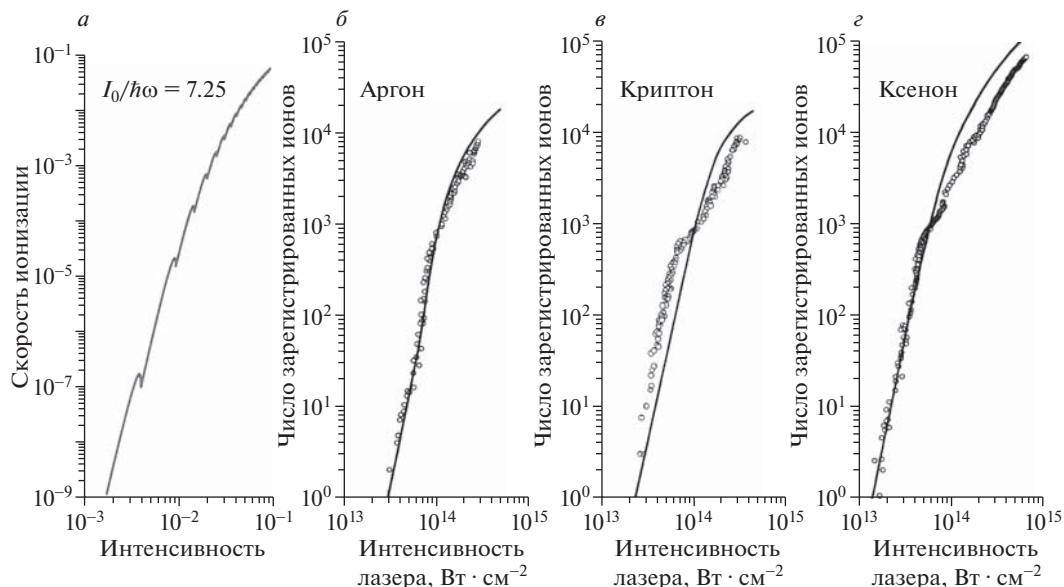


Рис. 7. Многофотонная ионизация

a — теоретический расчёт, *б, в, г* — данные эксперимента

поглощаемых квантов — канала, а в туннельном режиме сравнимый вклад дают многие каналы, и число таких существенных каналов растёт пропорционально γ^{-3} . При этом в многофотонном режиме присутствует и столь же сильная частотная зависимость, как и зависимость от напряжённости поля, а в туннельной области параметров частотная зависимость слабая.

Основные качественные выводы теории таковы:

- время туннелирования убывает с ростом поля;
- туннельный эффект существует при любых

частотах $\hbar\omega \ll I_0$ в области полей $\frac{\hbar\omega}{I_0} \ll \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{at}} \ll 1$;

- туннельный эффект и многоквантовый фотоэффект — противоположные предельные случаи одного и того же процесса ионизации атомов и молекул внешним электрическим или электромагнитным полем. Бессмысленно говорить об их сосуществовании и тем более конкуренции — они реализуются в разных диапазонах параметров поля. В достаточно широкой области $\gamma \sim 1$ осуществляется постепенная трансформация многофотонного механизма в туннельный. Туннельный эффект может происходить на любых частотах, если напряжённость поля достаточно велика, поскольку время туннелирования убывает обратно пропорционально напряжённости. Наиболее наглядно результаты выглядят в естественной для рассматриваемой задачи “атомной” системе единиц.

В атомной системе единиц ($\hbar = e = m = 1$)

$$\frac{\hbar\omega}{I_0} = \Omega \quad \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{at}} = F \quad \omega \cdot \tau_{tun} = \Omega/F$$

$\Omega > F$ — многофотонный режим, $F > \Omega$ — туннельный режим.

В ней “адиабатический параметр” есть просто отношение частоты внешнего поля к его максимальной напряжённости. В пределе, когда внешнее поле приближается к внутриатомному $F \sim 1$, время туннелирования становится порядка атомных времён $\hbar/I_0 \sim 40$ асес. Следует оговориться, что всё проведённое рассмотрение имеет смысл, только пока оба параметра — и напряжённость поля, и частота — малы в атомных масштабах. В полях больше атомных атомы не существуют, а при частотах выше атомных доминирует одноквантовый фотоэффект. Однако если иметь в виду ионизацию не нейтральных атомов, а ионов, особенно многозарядных, то их потенциалы ионизации могут во много раз превышать потенциал ионизации атома водорода. Соответственно преобразуются и все масштабы: характерное время уменьшается обратно пропорционально потенциалу ионизации, а “внутриатомное поле” возрастает пропорционально потенциалу ионизации в степени $3/2$.

Основным дефектом проведённого рассмотрения было пренебрежение кулоновским притяжением электрона к иону в конечном состоянии. Поэтому, строго говоря, рассмотренная модель, скорее, соответствует ионизации однократно заряженного отрицательного иона. Однако все качественные выводы о трансформации механизма ионизации и оценки характерных областей параметров остаются в силе и для атомной задачи. Легко учесть роль взаимодействия в туннельной и, по-видимому, промежуточной областях. Учёт этот изменяет только малосущественный предэкспоненциальный множитель в приведённой выше общей формуле для вероятности ионизации. Однако в частотной зависимости в многофотонной области должны проявиться резонансы, связанные с близостью энергии одного (или нескольких) из промежуточных состояний к энергии реальных возбуждённых уровней атома. Зависимость скорости ионизации от интенсивности в каждом таком резонансе индивидуальна и определяется числом квантов, требуемых для достижения энергии резонансного промежуточного состояния.

Первоначальный вариант теории рассматривал ионизацию атомов монохроматическим лазерным полем постоянной амплитуды. Однако поля требуемой интенсивности реализуемы только в ультракоротких импульсах субнаносекундной длительности ($< 10^{-10}$ с). Более длительное воздействие разрушает любые материалы, включая и сам лазер. Типичные ультракороткие импульсы содержат десятки или даже сотни периодов оптической частоты, как показано на рисунке 8, а. Такое поле можно рассматривать как квазимонохроматическое с медленно меняющимися параметрами — амплитудой и частотой (chirp). Из-за сильной нелинейности процесса ионизации основной вклад даёт область максимума амплитуды, слегка смещённая, если частота плавно изменяется в течение импульса, в сторону возрастания частоты. Именно это обстоятельство почти два десятилетия препятствовало экспериментальному обнаружению высокочастотного туннельного эффекта и подтверждению выводов теории. Дело в том, что если пространственно-временная структура импульса не очень строго контролируется, то случайные, даже небольшие выбросы поля могут давать доминирующий вклад в полный выход, делая качественно невозможным сопоставление его с теоретическим предсказанием, использующим идеализированную сглаженную форму импульса. К середине 1980-х годов эти трудности удалось преодолеть, и стали накапливаться многочисленные экспериментальные подтверждения представленной выше картины перехода от многоквантового фотоэффекта к высокочастотному туннельному эффекту. По-видимому, первое такое наблюдение было сделано в работах группы С.Л. Чина [21] в Университете Лавала в Квебеке (Канада), использовавшей инфракрасное излучение CO_2 лазера.

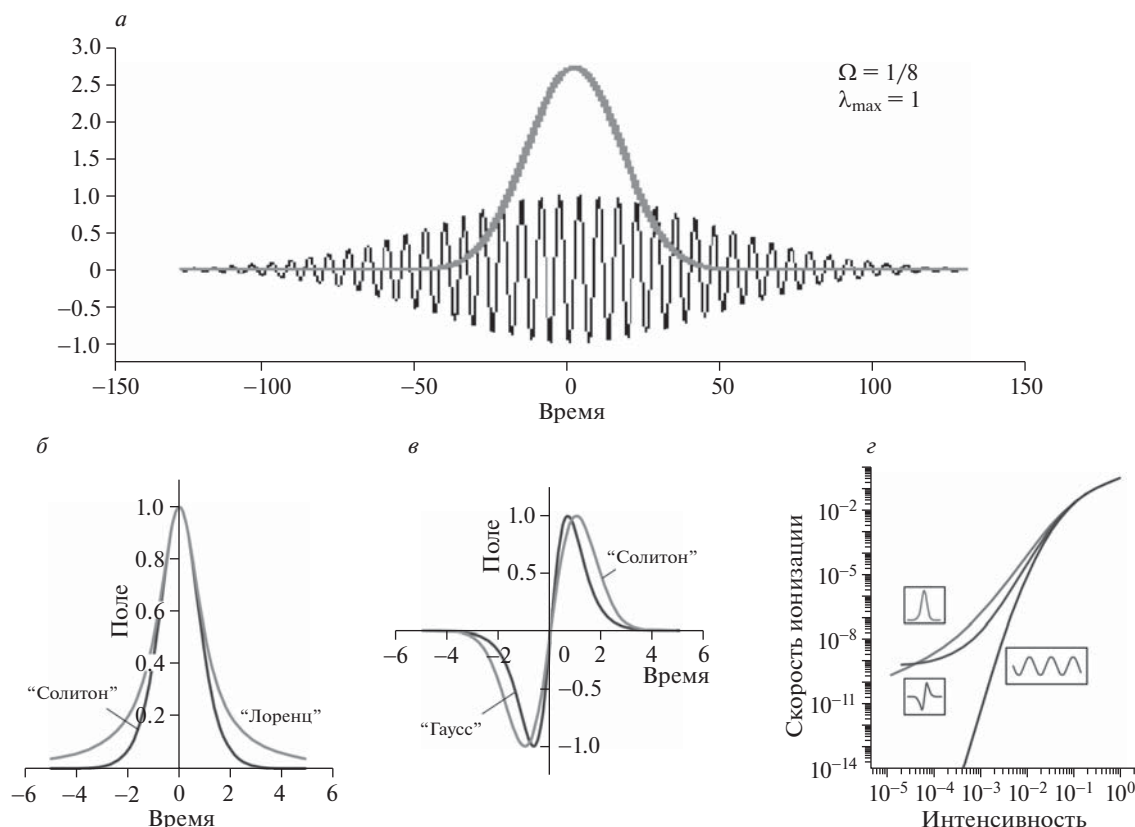


Рис. 8. Ультракороткие импульсы

a — интенсивность ионизации (ionization rate) в зависимости от времени; вероятность ионизации при предельно коротких импульсах: при любой форме импульса в области сильных полей ионизация имеет универсальный туннельный характер и происходит в узком временном интервале вокруг максимума импульса; *б* — полупериодные (HCP) импульсы; *в* — одноцикловые (OCP) импульсы; *г* — вероятность ионизации при воздействии монохроматическим полем

Дальнейшее развитие лазерной техники сделало возможной генерацию ещё более коротких импульсов, содержащих лишь несколько, вплоть до одного и даже половины периода поля. Примеры одноцикловых (one-cycle pulse — OCP) и даже полупериодных (half-cycle pulse — HCP) импульсов приведены на рисунке 8, б, в. Такие поля уже ни в каком приближении нельзя считать монохроматическими, и из-за всё той же сильной нелинейности процесса их воздействие на атом существенно зависит от деталей пространственно-временной структуры импульса. Универсальной остаётся лишь область сильных полей $\tau_{\text{ин}} \ll T$ — туннельная (T — длительность импульса). На рисунке 8, г показаны вероятности ионизации одноцикловыми и полупериодными импульсами, а для сравнения — монохроматическим полем. При этом все данные приведены для полупериодов одинаковой длительности и одинаковых значений поля в максимуме импульса. Для OCP показана полная вероятность ионизации импульсом, для HCP — удвоенная, для монохроматического поля — отнесённая к длительности одного периода. Видно, что в области сильных полей все три кривые сливаются, а значит, следуют той же туннельной

зависимости, что и в случае монохроматического поля. Более того, это совпадение подтверждает, что доминирующий вклад в ионизацию даёт узкая окрестность максимума импульса, поскольку вдали от максимума значения поля в этих импульсах существенно различны.

В области умеренных полей $\tau_{\text{ин}} > T$ — «многофотонной» — зависимость ионизации от интенсивности для импульсов разной формы индивидуальна и, в отличие от случая монохроматического поля, не следует какой-либо степенной зависимости. Это нетрудно понять, приняв во внимание, что каждый такой импульс может быть представлен суперпозицией монохроматических волн (Фурье-представление) с частотами в интервале, ширина которого сравнима со средним значением частоты $\Omega \sim 2\pi/T$. Каналы в энергетическом спектре фотоэлектронов при этом уширяются, перекрываются и сливаются в один общий сплошной спектр, в котором, вообще говоря, не фиксированы ни энергии поглощённых фотонов, ни их число. Любая конечная энергия может быть получена поглощением разного числа различных фотонов. То же относится и к самому процессу ионизации. Однако вклад каждого такого «пути»

ионизации в полную вероятность зависит и от распределения амплитуд в Фурье-спектре импульса, и от его полной энергии. При самых малых значениях поля (энергии) будет доминировать обыкновенный одноквантовый фотоэффект, связанный с присутствием в спектре высокочастотных гармоник $\Omega > 1$ (в атомных единицах). Такие гармоники всегда присутствуют в спектре любого импульса, но для длинных (в атомных единицах) и достаточно гладких импульсов вклад их экспоненциально мал. Максимально же присутствие гармоник с частотами порядка средней частоты, то есть обратной величины длительности импульса. С ростом энергии импульса включаются нелинейные процессы, сначала двухквантовые. Для двухквантовой ионизации нужны кванты с частотами, близкими к $\frac{1}{2}$ в атомных единицах. Амплитуды таких гармоник также экспоненциально малы, но уже экспоненциально велики по сравнению с теми, которые участвуют в одноквантовом процессе. Поэтому вклад двухквантовых процессов вскоре становится доминирующим, а зависимость ионизации от энергии импульса квадратичной. Подобным образом с дальнейшим увеличением энергии импульса последовательно включаются трёхквантовые, четырёхквантовые и т.п. процессы, приводя к всё более сильной зависимости суммарной вероятности ионизации от поля в импульсе, до тех пор, пока не начинается переход в туннельную область. Таким образом интервал умеренных полей $\tau_{\text{tun}} > T$ и для случая предельно коротких импульсов остаётся областью многофотонных процессов, но число фотонов, поглощаемых в процессе ионизации, не фиксировано.

Первоначальная цель рассматриваемой теории — выяснение механизма ионизации сильными оптическими полями [22, 23]. Это было сделано в рамках максимально упрощённой модели для линейно поляризованного поля, основного состояния атома или двухзонной модели полупроводника, пренебрегая воздействием кулоновского взаимодействия на конечное состояние электрона, что может быть оправдано при ионизации отрицательных ионов или для междוזонных переходов в полупроводниках, пренебрегая всеми релятивистскими эффектами, в том числе действием магнитного поля волны, спиновыми явлениями и т.п. В последующие годы теория была существенно расширена и дополнена работами многих авторов. В их числе В.И. Ритус, А.И. Никишов (1966) [24], В.С. Попов, А.М. Переломов и другие (1966–1968) [25], Ф.Г.М. Фейзал (1973) [26], Г.Р. Рейсс (1980) [27], М.В. Аммосов, Н.Б. Делоне, В.П. Крайнов (1986) [28], П.Б. Коркум (1989) [29]. Изложение результатов этих работ и более подробное описание современного состояния теории можно найти, например, в обзорах в журнале “Успехи физических наук” [30, 31]. Там же представлены и многочисленные эксперименты, подтвердившие все основные выводы

теории. Однако стали накапливаться и экспериментальные данные о явлениях, сопутствующих туннельной ионизации, но не находивших объяснения в существующей картине, таких, как аномально большой выход двухзарядных ионов или излучение гармоник лазерного излучения из области, где происходит ионизация атомов лазерным полем. Объяснение этих явлений было дано в работе П. Коркума [32]. И это послужило началом совершенно новой области исследований, выходящей далеко за пределы изучения чисто туннельных эффектов, о которой, по-видимому, пойдёт речь в докладе профессора Коркума.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gamov G.* Zur Quantentheorie des Atomkernes // Zeitschrift für Physik. 1928. V. 51 (3–4). P. 204–212.
2. *Oppenheimer J.R.* Three Notes on the Quantum Theory of Aperiodic Effects // Phys. Rev. 1928. V. 31. P. 66–81.
3. *Fowler R., Nordheim L.* Electron emission in intense electric fields // Proceedings of the Royal Society of London. 1928. V. 119. P. 173–181.
4. *Zener C.* Non-Adiabatic Crossing of Energy Levels // Proceedings of the Royal Society of London. 1932. V. 137(6). P. 696–702.
5. *Bardeen J., Brattain W.* The Transistor, A Semiconductor Triode. Nature of the forward current in Germanium point contacts // Phys. Rev. 1948. V. 74 (2). P. 230–231; Physical principles involved in transistor action // Bell System Technical Journal. 1949. V. 28. P. 239–277; Physical principles involved in transistor action // Phys. Rev. 1949. V. 75. P. 1208–1225.
6. *Shockley W.* Hot electrons in germanium and Ohm's law // Bell System Technical Journal. 1951. V. 30. P. 990–1034; *Shockley W., Sparks M., Teal G.K.* P-N Junction Transistors // Phys. Rev. 1951. V. 83. P. 151–162.
7. *Schwinger J.* On Gauge Invariance and Vacuum Polarization // Phys. Rev. 1951. V. 82. P. 664–679.
8. *Келдыш Л.В.* О поведении неметаллических кристаллов в сильных электрических полях // ЖЭТФ. 1957. Т. 33. № 4 (10). С. 994–1003; translation: *Keldysh L.V.* Behavior of Non-Metallic Crystals in Strong Electric Fields // Soviet Physics JETP. 1958. V. 6. 763–770; О влиянии колебаний решётки кристалла на рождение электронно-дырочных пар в сильном электрическом поле // ЖЭТФ. 1958. Т. 34 (4). С. 962–968; translation: *Keldysh L.V.* Influence of the Lattice Vibrations of a Crystal on Production of Electron-Hole Pairs in a Strong Electrical Field // Sov. Phys. JETP. 1958. V. 7 (4). P. 665–669.
9. *Esaki L.* New phenomenon in narrow germanium p-n junctions // Phys. Rev. 1958. V. 109 (2). P. 603–604 (1958); *Yajima T., Esaki L.* Excess noise in narrow germanium p-n junctions // J. Phys. Soc. Japan. 1958. V. 13 (11). P. 1281–1287 (1958); *Esaki L.* New phenomenon in magneto resistance of bismuth at low temperature // Phys. Rev. Lett. 1962. V. 8 (1). P. 4–7.
10. *Келдыш Л.В.* О влиянии сильного электрического поля на оптические характеристики непроводящих кристаллов // ЖЭТФ. 1958. Т. 34 (5). С. 1138–1141; translation: *Keldysh L.V.* The Effect of a Strong Electric Field on the Optical Properties of Insulating Crystals // Sov. Phys. JETP. 1958. V. 7. P. 788–790.

11. Franz W. Einfluß eines elektrischen Feldes auf eine optische Absorptionskante // *Z. Naturforschung*. 1958. V. 13 (6). P. 484–489.
12. Giaever I. Energy Gap in Superconductors Measured by Electron Tunneling // *Phys. Rev. Lett.* 1960. V. 5 (4). P. 147–148.
13. Josephson B.D. Possible new effects in superconductive tunneling // *Phys. Lett.* 1962. V. 1 (7). P. 251–253.
14. Келдыш Л.В. Ионизация в поле сильной электромагнитной волны // *ЖЭТФ*. 1964. Т. 47. С. 1945–1957; translation: Keldish L.V. Ionization in the field of a strong electromagnetic wave // *Sov. Phys. JETP*. 1965. V. 20. P. 1307–1314.
15. Басов Н.Г., Прохоров А.М. Применение молекулярных пучков для радиоспектрографического изучения вращательных спектров молекул // *ЖЭТФ*. 1954. Т. 27. С. 431–438; О возможных методах получения активных молекул для молекулярного генератора // *ЖЭТФ*. 1955. Т. 28. С. 249–250; Теория молекулярного генератора и молекулярного усилителя мощности // *Доклады АН СССР*. 1955. Т. 101. № 1. С. 47–49; Молекулярный генератор и усилитель // *УФН*. 1955. Т. 57. С. 485–501; Басов Н.Г. Полупроводниковые квантовые генераторы (Нобелевская лекция) // *УФН*. 1965. Т. 85. С. 585–598; Прохоров А.М. Квантовая электроника // *УФН*. 1965. Т. 85. С. 599–604 (Нобелевская лекция).
16. Gordon J.P., Zeiger H.J., Townes C.H. Microwave oscillator and new hyperfine structure in the microwave spectrum of NH_3 // *Phys. Rev.* 1954. V. 95. P. 282–284; The Maser – New Type of Microwave Amplifier, Frequency Standard, and Spectrometer // *Phys. Rev.* 1955. V. 99. P. 1264–1274; Таунс Ч. Получение когерентного излучения с помощью атомов и молекул (Нобелевская лекция) // *УФН*. 1966. Т. 88. С. 461–483.
17. Maiman T. Stimulated Optical Radiation in Ruby // *Nature*. 1960. V. 187. P. 493–494.
18. Javan A., Bennett W.R., Herriott D.R. Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a He-Ne mixture // *Phys. Rev. Lett.* 1961. V. 6 (3). P. 106–110; Javan A. // *Quantum Electronics* (ed. C.H. Townes). New York: Columbia University Press, 1960. P. 564–571.
19. Agostini P. et al. Direct evidence of ponderomotive effects via laser pulse duration in above-threshold ionization // *Phys. Rev.* 1987. V. 36 (10). P. 4111–4114.
20. Perry M.D. et al. Multiphoton ionization of the noble gases by an intense 10^{14} -W/cm² dye laser // *Phys. Rev. A*. 1988. V. 37. P. 747–760.
21. Chin S.L. et al. Multiphoton Ionization of Xe and Kr with Intense 0.62-MU-M Femtosecond Pulses // *Phys. Rev. Lett.* 1988. V. 61. P. 153–156.
22. Popov V.S. On the theory of tunneling and above-barrier ionization of atoms and ions in a strong laser field // *Laser Phys.* 2000. V. 10. P. 1033–1046; Попов В.С. Многофотонная ионизация атомов в поле ультракороткого лазерного импульса // *Письма в ЖЭТФ*. 2001. Т. 73. С. 3–7; translation: Popov V.S. // *JETP Lett.* 2001. V. 73. P. 1–5; Попов В.С. Многофотонная ионизация атомов в поле ультракороткого лазерного импульса // *ЖЭТФ*. 2001. Т. 120. P. 315–332; translation: Popov V.S. // *JETP*. 2001. Т. 93. С. 278–294.
23. Keldysh L. Multiphoton ionization by a very short laser impulse. 2000. P. 1–17. See on-line: <http://ufn.ru/dates/pdf/keldysh/keldysh05082016.pdf>
24. Никушов А.И., Ритус В.И. Ионизация систем, связанных короткодействующими силами, полем электромагнитной волны // *ЖЭТФ*. 1966. Т. 50. С. 255–270; translation: Nikishov A.I., Ritus V.I. Ionization of Systems by Short-range Forces by the Field of Electromagnetic Wave // *Sov. Phys. JETP*. 1966. V. 23. P. 168–177; Никушов А.И., Ритус В.И. Ионизация атомов полем электромагнитной волны // *ЖЭТФ*. 1967. Т. 52. С. 223–241; translation: Nikishov A.I., Ritus V.I. Ionization of Atoms by an Electromagnetic-Wave Field // *Sov. Phys. JETP*. 1967. V. 25. P. 145–156.
25. Переломов А.М., Попов В.С., Терентьев М.В. Ионизация атомов в переменном электрическом поле // *ЖЭТФ*. 1966. Т. 50. P. 1393–1409; translation: Perelomov A.M., Popov V.S., Terent'ev M.V. // *Sov. Phys. JETP*. 1966. V. 23. P. 924–934; Переломов А.М., Попов В.С., Терентьев М.В. Ионизация атомов в переменном электрическом поле: II // *ЖЭТФ*. 1967. Т. 51. С. 309–326; translation: Perelomov A.M., Popov V.S., Terent'ev M.V. // *Sov. Phys. JETP*. 1967. Т. 24. P. 207–217; Переломов А.М., Попов В.С. Ионизация атомов в переменном электрическом поле: III // *ЖЭТФ*. 1967. Т. 52. С. 514–526; translation: Perelomov A.M., Popov V.S. // *Sov. Phys. JETP*. 1967. V. 25. P. 336–343.
26. Faisal F.H.M. Multiple absorption of laser photons by atoms // *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* 1973. V. 6. P. L89–L92.
27. Reiss H.R. Effect of an intense electromagnetic field on a weakly bound system // *Phys. Rev. A*. 1980. V. 22. P. 1786–1813; Reiss H.R. Complete Keldysh theory and its limiting cases // *Phys. Rev. A*. 1990. V. 42. P. 1476–1486; Reiss H.R. Theoretical methods in quantum optics: S-matrix and Keldysh techniques for strong-field processes // *Prog. Quantum Electron.* 1992. V. 16 (1). P. 1–71.
28. Аммосов М.В., Делоне Н.Б., Крайнов В.П. Туннельная ионизация сложных атомов и атомарных ионов в переменном электромагнитном поле // *ЖЭТФ*. 1986. Т. 91. С. 2008–2013; translation: Ammosov M.V., Delone N.B., Krainov V.P. // *Sov. Phys. JETP*. 1986. V. 64. P. 1191–1194; Делоне Н.Б., Крайнов В.П. Туннельная и надбарьерная ионизация атомов и ионов в поле лазерного излучения // *УФН*. 1998. Т. 168. С. 531–549; Delone N.B., Krainov V.P. // *Phys. Usp.* 1998. Т. 41. С. 469–485; Попов В.С. К истории развития теории туннельной ионизации атомов и ионов // *УФН*. 1999. Т. 169. С. 819–820; translation: Popov V.S. // *Phys. Usp.* 1999. V. 42. P. 733–734.
29. Corkum P.B., Burnett N.H., Brunel F. Above-threshold ionization in the long-wavelength limit // *Phys. Rev. Lett.* 1989. V. 62. P. 1259.
30. Попов В.С. Туннельная и многофотонная ионизация атомов и ионов в сильном лазерном поле (теория Келдыша) // *УФН*. 2004. Т. 17 (9). С. 921–951; translation: Popov V.S. // *Phys. Usp.* 2004. V. 47. P. 855–885.
31. Карнаков Б.М., Мур В.Д., Попруженко С.В., Попов В.С. Современное развитие теории нелинейной ионизации атомов и ионов // *УФН*. 2015. Т. 185(1). С. 3–34; translation: Karnakov B.M., Mur V.D., Popruzenko S.V., Popov V.S. // *Phys. Usp.* 2015. V. 58. P. 3–32.
32. Corkum P.B. Plasma perspective on strong field multiphoton ionization // *Phys. Rev. Letters*. 1993. V. 71 (13). P. 1994–1997.

ДОКЛАДЫ ЛАУРЕАТОВ БОЛЬШОЙ ЗОЛОТОЙ МЕДАЛИ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК 2015 ГОДА

ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ ИЗНУТРИ ПРИ ГЕНЕРАЦИИ
ИМИ САМЫХ КОРОТКИХ В МИРЕ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

© 2016 г. П. Коркум

*Объединённая лаборатория аттосекундных исследований Университета Оттавы и Национального
исследовательского совета Канады, Центр перспективных исследований, Оттава, Канада*

e-mail: pcorkum@uottawa.ca

Поступил в редакцию 27.06.2016 г.

В 1964 г. профессор Л.В. Келдыш опубликовал работу, оказавшую глубокое влияние на последующие исследования. В ней он развил теорию многофотонной ионизации атомов и создания электронно-дырочных пар в твёрдом теле. Спустя 50 лет мы получили самые короткие в мире световые импульсы с помощью электронных волновых пакетов, генерируемых атомами редких газов в поле мощного ИК импульса именно так, как предсказал профессор Келдыш. Сверхкороткие вспышки рентгеновского и ультрафиолетового излучения от многих атомов, складываясь когерентно, формируют интенсивные импульсы длительностью всего в 65 аттосекунд; на сегодня это — мировой рекорд. Аналогичные сильно нелинейные процессы возникают и в других атомах, молекулах и твёрдых телах. Этот эффект важен не только как новый источник мягкого рентгеновского излучения и сверхкоротких импульсов; излучение ионизируемых материалов содержит информацию о квантовой системе, в которой оно генерируется. Анализ рентгеновского и ультрафиолетового излучения даёт возможность не только представить молекулярные орбиты, но и определять зонные структуры твёрдых тел.

Ключевые слова: туннелирование, многофотонная ионизация, аттосекундные импульсы, повторные столкновения, электронный волновой пакет.

DOI: 10.7868/S0869587316120069

Для меня высокая честь получить Большую золотую медаль им. М.В. Ломоносова Российской академии наук одновременно с профессором Л.В. Келдышем. Его открытия и сегодня вдохновляют целое поколение исследователей, включая меня и многих сегодняшних студентов моей группы.

В этой статье представлены основные положения моего доклада при вручении медали 22 марта 2016 г., поэтому её не следует рассматривать как

исчерпывающий обзор проблемы, скорее, это личный взгляд. Вы увидите, как мои исследования строятся на работах профессора Келдыша: я специально ссылаюсь на его работу по фотоионизации в газах и его исследования по переходу из валентной зоны в зону проводимости в твёрдом теле [1], которые оказали большое влияние на физику плазмы, атомную физику, оптику и физику твёрдого тела. (Отмечу, что мои профессиональные интересы сместились из области многофотонной ионизации в область физики плазмы в конце 1980-х годов.)



КОРКУМ Пол — профессор физического факультета Университета Оттавы, руководитель научной программы по аттосекундным импульсам Национального исследовательского совета Канады.

Когда атомарный газ поглощает фотоны, он превращается в плазму. Образующаяся плазма будет, вообще говоря, далека от равновесия, а равновесие будет критически зависеть от длин волн и поляризации света. Сформировать плазму с требуемыми параметрами [2, 3] иным способом нельзя. Неравновесность возникает, поскольку, во-первых, кинетическая энергия ионов почти не меняется при ионизации, так что ионы могут оставаться достаточно холодными; во-вторых, энергия ионизации связана с населённостью воз-

буждённых состояний, в-третьих, прирост энергии свободных электронов происходит в ходе процесса, известного как “надпороговая ионизация”. В изолированном атоме этот прирост энергии возникает главным образом при взаимодействии электронов с лазерным полем. В плазме вклад в прирост энергии дают все электрические поля — как лазерные, так и плазменные. Эти сильно неравновесные плазменные среды открывают пути к созданию ультрахолодной плазмы [4], рентгеновских лазеров [5] и даже воздушных лазеров [6, 7]. В статье речь пойдёт о том, какие перспективы решение данной проблемы открывает для атомной физики.

Когда атом или молекула ионизируется, электронный волновой пакет создаётся в континууме. Полная волновая функция электрона содержит две существенных компоненты: основное состояние, описываемое начальной волновой функцией электрона, и волновой пакет. При многофотонной ионизации (особенно в условиях туннелирования) электронный волновой пакет совершает колебания в интенсивном световом поле, необходимым для ионизации атома. Эта колебательная скорость легко может превысить скорость дрейфа; если это произойдёт, части электронного пакета могут возвратиться к иону, возле которого возникли. Такой процесс называется возвратным столкновением [3]. Благодаря возвратным столкновениям многофотонная ионизация открывает новые возможности исследования материи [8, 9], новые перспективы генерации мягкого рентгеновского излучения [10] и новые методы формирования коротких импульсов [11, 12]. Мы начнём с базового принципа — туннелирования.

Туннелирование. Профессор Келдыш указал способ определения реальных значений интенсивности в экспериментах по многофотонной ионизации, позволивший оценить роль повторных столкновений. Он показал, что при достаточной интенсивности облучения атомов инфракрасным световым импульсом возможны два предельных случая, причём разграничение этих случаев связано с параметром, который известен

как параметр Келдыша: $\gamma = \left(\frac{IP}{U_p} \right)^2$, где IP — по-

тенциал ионизации атома и $U_p = \frac{q^2 E^2}{4m\omega^2}$. Здесь q и m — заряд и масса электрона, E — пиковая амплитуда лазерного поля (предполагается, что свет линейно поляризован), ω — угловая частота света. В первом случае, $\gamma < 1$, ионизацию можно приблизительно представить как туннелирование. В частности, вероятность ионизации в любой момент времени можно аппроксимировать формулой для туннелирования в постоянном поле. Для света с длиной волны 800 нм при по-

тенциале ионизации 15 eV граничное значение $\gamma = 1$ возникает при интенсивности порядка 1.3×10^{14} Вт/см². В противоположном случае, $\gamma > 1$, ионизация связана с возмущением.

Можно оценить интенсивность, требуемую для туннельной ионизации атома водорода в импульсе длительностью 10 фемтосекунд. Предположим, что мы хотим иметь вероятность ионизации 10%, то есть мы задаём скорость ионизации 10^{13} с⁻¹. Уравнение ионизации имеет вид:

$$\omega(t) = \omega_0 \frac{E_a}{E(t)} \exp \left[-\frac{2}{3} \frac{E_a}{E(t)} \right].$$

Здесь ω_0 — атомная частота, E_a — атомное поле, $E(t)$ — значение амплитуды светового поля в момент времени t . Подставляя $\omega(t) = 10^{13}$ с⁻¹, получим $E(t) = 3 \times 10^8$ В/см или $I \approx 10^{14}$ Вт/см². Этот результат немного меньше экспериментально измеренной интенсивности ионизации аргона — атома с близким потенциалом ионизации в поле фемтосекундного импульса. Таким образом, концепцию туннелирования можно применить для описания ионизации во многих экспериментах, использующих свет с длиной волны 800 нм.

Уравнения туннелирования показывают, что, поскольку мы заинтересованы в такой высокой степени ионизации при фемтосекундных экспериментах, вероятность туннелирования электрона в возбуждённые состояния должна быть высокой. Хотя это условие и не очевидно для рассматриваемого уравнения, оно возникает из-за достаточно большого экспоненциального фактора (здесь величина этого фактора порядка 10^{-6}). Поэтому в экспериментах с использованием коротких импульсов создаются молекулы как в основном, так и в возбуждённом состоянии. Этим главным образом обеспечивается заселённость возбуждённого состояния для лазерного эффекта на ионах N_2^+ в воздухе [6].

Электронный волновой пакет после туннелирования. Интересно выяснить, каковы характеристики электронного пакета после туннелирования. В лазерном поле направление движения волнового пакета определяется зависящим от времени полем световой волны, и, как будет показано ниже, тенденция электрона к возвратному столкновению с “родительским” ионом будет преобладать, если свет поляризован линейно. Однако, двигаясь в направлении светового пучка с круговой поляризацией, электрон не приобретает от поля дополнительного импульса (исключая лишь небольшой импульс фотона) [13]. Поэтому, измеряя распределение импульсов электронов

ионизации в этом направлении, мы наблюдаем появление импульса, полученного при элементарном акте туннелирования.

В основе рисунка 1, взятого из [14], — отображение карты скоростей на электронном спектрометре (эта карта связана с системой электронных линз, преобразующих два измерения в распределении электронной скорости в два пространственных измерения на детекторе; иными словами, изображение на экране есть двумерная проекция волновой функции электронного волнового пакета в импульсном представлении). Рисунок демонстрирует карту скоростей циркулярно поляризованного света, взаимодействующего с атомами аргона. Свет распространяется вдоль оси, отмеченной как P_z . Гауссово распределение импульса достигает максимума вблизи нуля и простирается до долей атомной единицы. Это распределение возникает из свёртки вероятности туннельного перехода с волновой функцией основного состояния, из которого электрон туннелировал.

Мы можем проверить, сохраняет ли вылетающий электрон некоторую информацию об основном состоянии орбиты, которую он покинул, выполнив такое же измерение на более сложной орбите, используя молекулу так, чтобы проекцию орбиты можно было контролировать в эксперименте. На рисунке 2, взятом из [15], показана нормализованная разница в распределении импульсов электронов, покинувших молекулу кислорода (слева) или азота (справа). В обоих случаях нормализованная разница, найденная для линейно поляризованного света, представляет собой разницу между распределениями для молекул, ориентированных перпендикулярно к направлению распространения лазерной волны, и случайно ориентированными молекулами. Хотя симметрия кислорода непосредственно видна на рисунке, изображение искажено повторными столкновениями, которые мы обсудим ниже.

Полуклассическое движение в сильном поле. Движение электрона в направлении, определяемом световым полем, наиболее легко понять при классическом рассмотрении. (Применение классической физики к атомной задаче может показаться странным. Однако в задачах повторных столкновений мы обычно имеем дело с процессами, где участвуют десятки, сотни, тысячи и даже больше фотонов, и в этом предельном случае многофотонные эффекты можно рассматривать в рамках классической физики.)

Рисунок 3 иллюстрирует основы движения электронов при классическом описании. Показан классический надбарьерный кулоновский переход электрона, следующего за максимумом светового поля. Если электрон испытал туннельный переход, наибольшее влияние на его движение

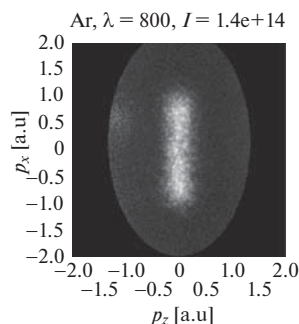


Рис. 1. Двумерная проекция распределения импульсов электронов от атомов аргона, ионизованных 50 фс импульсом волны круговой поляризации $\lambda = 800$ нм с максимальной интенсивностью 2×10^{14} Вт/см²

Свет распространяется в направлении z . Распределение момента в направлении z показывает естественное уширение электронного волнового пакета при туннелировании

оказало электрическое поле световой волны (волнообразная плавная линия). Таким образом, электрон выходит из приграничной области иона. Повторное столкновение с ионом возможно; при этом момент столкновения и энергия электрона определяются в зависимости от времени выхода классическими уравнениями движения. Иными словами, при классическом рассмотрении момент выхода связан с энергией и временем столкновения соотношением $F = ma$.

Классическая физика предсказывает, что наибольшая энергия электрона при повторном столкновении составляет $3.17U_p$. Этот ключевой параметр показывает, что более энергичные элек-

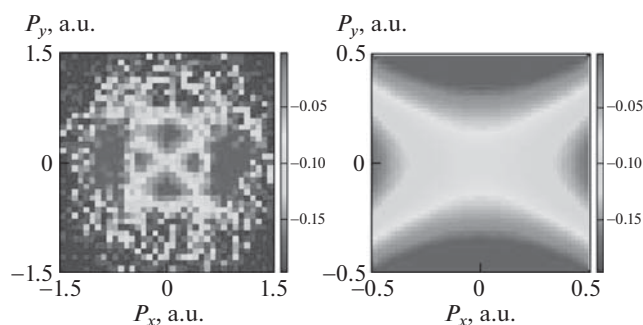


Рис. 2. Двумерная проекция нормализованной разницы распределений импульсов между электронными волновыми пакетами, сформированными в O_2 (слева) и N_2 (справа)

Ионизирующий пучок с максимальной интенсивностью 2×10^{14} Вт/см² и $\lambda = 800$ нм был поляризован в направлении z . Направление электрического поля перпендикулярно к плоскости рисунка. Нормализованная разница найдена для молекул, ориентированных перпендикулярно к направлению поляризации, и случайно ориентированных молекул

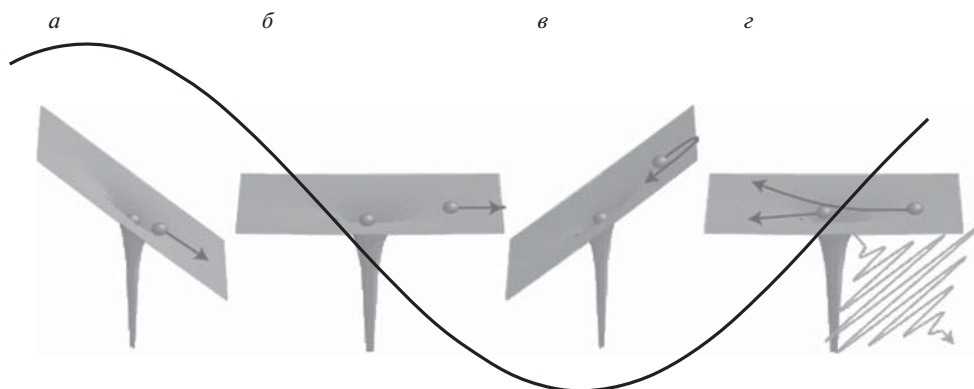


Рис. 3. Качественная иллюстрация одной из многих классических траекторий, определяющих генерацию гармоник. В рамке *a* электрон покидает атом под действием сильного ионизирующего поля, показанного волнообразной плавной линией. В рамках *б* и *в* электрон движется под действием светового поля. В рамке *г* представлено повторное столкновение электрона. Электрон может рассеяться на ионе, возле которого он возник, или рекомбинировать, излучая свет

троны могут быть получены от атомов с высоким потенциалом ионизации. Параметр определяет наметившуюся тенденцию к использованию импульсов среднего ИК-диапазона для ионизации атомов, обуславливающих более высокие энергии повторных столкновений (и, как следствие, появление высоких гармоник в рентгеновском диапазоне). При сегодняшней технике использование фотонов с длиной волны 3 мкм для ионизации гелия приводит к генерации мягкого рентгеновского излучения с энергией фотонов не менее 1 keV [10]. Это же значение $3U_p$, приблизительно найденное в классике, возникает и при квантовых вычислениях, основанных на решениях нестационарного уравнения Шрёдингера, где было показано, что энергии фотонов наивысших гармоник, найденные при расчёте, составляют $IP + U_p$ [16].

Полуклассическое рассмотрение квантовомеханического движения позволяет интерпретировать классические траектории как квантовые. При таком рассмотрении части электронного волнового пакета движутся по классическим траекториям, а изменения фазы вдоль пути, время и энергия повторного столкновения приблизительно определяются классической картиной.

Повторные столкновения электрона представляют интерес не только как источник высоких гармоник излучения (это мы обсудим позже). Электрон также является частью, выделенной из квантовой системы и вернувшейся обратно; при этом он сам может стать инструментом исследования. Например, он может дифрагировать, выявляя в дифракционной картине структуру молекулы [8, 15], или рекомбинировать, генерируя излучение осциллирующего дипольного момента. В приближении, когда электрон при повторном столкновении представляется плоской волной,

его дипольный момент можно рассматривать как Фурье-образ, содержащий существенную информацию об орбитальной волновой функции. Таким образом, электрон тестирует структуру волновой функции основного состояния, из которого вышел и в которое возвращается. Это наиболее яркий пример электронного тестирования молекулы изнутри [9].

Аттосекундные импульсы и высокие гармоники. Как видно из рисунка 3, электронный волновой пакет, возникший вблизи одного максимума поля, возвращается, следуя за соседним максимумом поля, и генерирует излучение, как и предписано классической физикой. Если процесс ионизации и повторного столкновения ограничен только одним столкновением, возникает аттосекундный импульс. Сегодня развиты несколько методов управления такими процессами. Поскольку импульсы естественно модулированы, что видно из классического рассмотрения, то для создания импульса длительностью 65 аттосекунд нужно компенсировать этот “чирп”. Для такой компенсации можно применить металлические фильтры, подобранные так, чтобы устранить имеющийся “чирп” импульса. Ограниченный спектральный интервал компенсации “чирпа” с помощью металлических фильтров определяет сегодня предельную достижимую длительность импульса. В отличие от этого, если процесс повторяется с несколькими полуциклами, мы получим цуг аттосекундных импульсов. Как видно из рисунка 4, наше понимание основных процессов генерации высоких гармоник в терминах электронного интерферометра основано на полуклассической физике. Интерферометр — очень ценный инструмент. Пользуясь им, мы можем регулировать относительную фазу световой волны в каждом плече. Фазу электрона в электронном интерферометре можно регулировать, комбинируя

слабое поле второй гармоники с основным полем. Когда относительная фаза двух пучков изменяется, это приводит к сложению (или вычитанию) фаз на одной из сторон интерферометра.

Важно знать, при каком сдвиге фаз между основной и второй гармоникой возмущение каждой квантовой траектории будет оптимальным. Можно вспомнить соответствие между траекторией и энергией фотона, которое эквивалентно вопросу “какое значение фазы оптимально для генерации некоторой частоты в чётной гармонике?”. Концептуально ясно и подтверждено экспериментально [17], что частотно зависящая разность фаз (или спектральная фаза) является характеристикой процесса повторного столкновения и позволяет измерить “чирп” при повторном столкновении электрона, создающем аттосекундный импульс.

Прежде чем обсуждать проблемы твёрдого тела, следует отметить, что повторное столкновение не является единственным источником гармоник, излучаемых ионизованным газом [18]. В случае туннелирования ионизация возникает скачкообразно, и это определяет скачкообразную динамику электронного тока $J(t) = qn_e(t)v(t)$. Здесь q — заряд электрона, $n_e(t)$ — число свободных электронов в функции времени, $v(t)$ — скорость свободных электронов. Скачкообразная природа этого тока описывает источник в уравнениях Максвелла, не связанный с повторными столкновениями. Этот источник возбуждает относительно низкие гармоники. Имея это в виду, мы можем обратиться к полупроводникам с широкой запрещённой зоной, для которых, согласно идеям профессора Келдыша, можно ожидать аналогичные физические эффекты.

Полупроводники с широкой запрещённой зоной.

В то время как взаимодействие интенсивного света с газами привело, во-первых, к новому источнику мягкого рентгеновского излучения, во-вторых, к генерации световых импульсов продолжительностью менее 1 фс и, в-третьих, к новому способу исследования материалов, аналогичные исследования в физике твёрдого тела сконцентрировались главным образом на совершенствовании лазеров. Влияние этих направлений друг на друга было невелико. Конечно, и там, и там использовалась многофотонная ионизация, открывавшая пути для уникальной диагностики [19–21]. Однако до недавнего времени работы по экстремальному нелинейному отклику твёрдого тела появлялись нечасто. Сейчас эта ситуация начинает быстро меняться.

Простой пример такого изменения — открытие высоких гармоник излучения средневолнового ИК-диапазона (≈ 3.5 мкм), генерируемых в ZnO (полупроводник с широкой запрещённой зоной



Рис. 4. Иллюстрация генерации высоких гармоник при следовании по двум траекториям (пунктир), которые можно считать одинаковыми, исключая тот факт, что они сдвинуты на полпериода относительно друг друга

Слабая вторая гармоника может удлинить одну траекторию и укоротить другую. Этот эффект нарушает симметрию и приводит к генерации чётных гармоник. Каждая гармоника характеризуется разностью фаз между основным колебанием и его второй гармоникой, оптимальной для наибольшего нарушения симметрии

[22]) и в диэлектрике SiO₂ [23]. Здесь мы сосредоточим внимание на ZnO. Чтобы начать рассмотрение полупроводников, удобно описать процесс повторного столкновения электронов в терминах зонной структуры.

В атомных газах многофотонная ионизация в режиме туннелирования создаёт электрон и ион, импульс каждого из которых приблизительно равен нулю (туннелирование показано направленной вверх стрелкой на рис. 5). Как следует из закона сохранения импульса, электрон и ион движутся, получая равные импульсы от поля. Граница электронной зоны параболическая, а граница для тяжёлого иона приближённо представляется горизонтальной линией. Повторное столкновение электрона и иона означает, что электрон рекомбинирует с ионом, излучая фотон (на том же рисунке стрелка, направленная вправо). На языке физики твёрдого тела это значит,

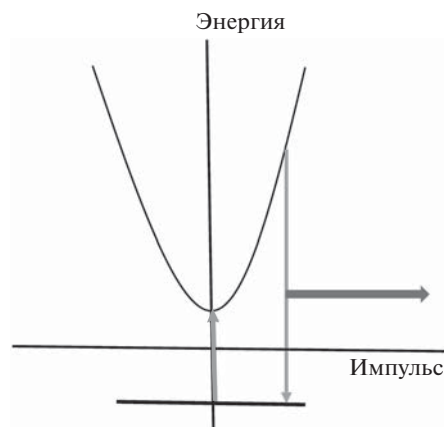


Рис. 5. Представление процесса генерации высоких гармоник в твёрдом теле, аналогичное такому же процессу в газах

Туннелирование переносит электрон в континуум и приводит к движению электрона в параболической зоне; при этом движение иона происходит в плоской зоне. Двигаясь в импульсном пространстве, электрон и ион сталкиваются в физическом пространстве; их столкновение приводит к рекомбинации, показанной на рисунке вертикальным переходом

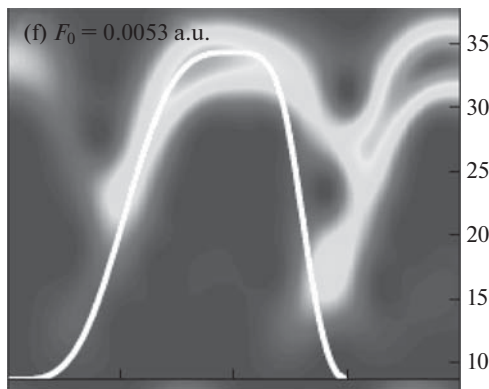


Рис. 6. На рисунке (рассчитан для ZnO, облучённого светом с длиной волны 3.5 мкм) представлена энергия фотонов (отложена на вертикальной оси) как функция времени (или фазы) внутри периода возбуждающего лазерного поля

Шкала показывает интенсивность света, белая линия — результат полуклассических вычислений для движения электронно-дырочной пары с учётом зонной поправки для масс

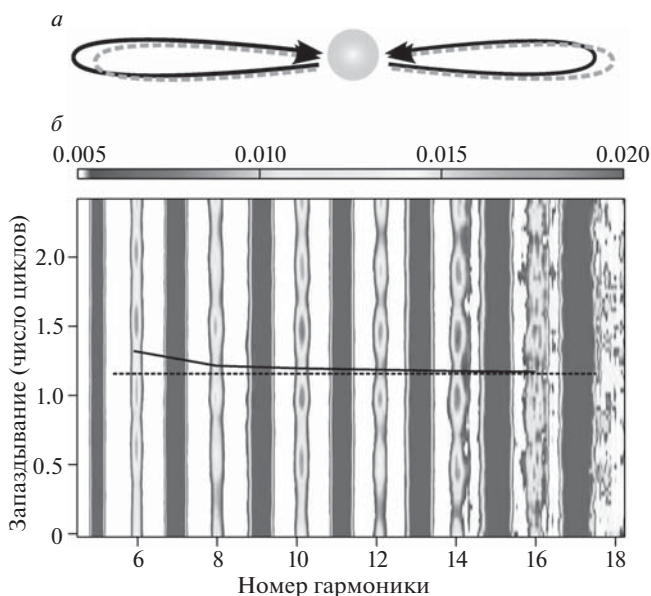


Рис. 7. Сигнал от нечётных гармоник гораздо сильнее, чем от чётных

Повтор рис. 4 (а), иллюстрирующий процесс измерения (б). Экспериментальный график, где измеренный номер гармоники нанесён на горизонтальной оси, а относительная фаза между импульсом накачки ($I = 10^{12}$ Вт/см²) и его второй гармоникой ($I = 10^7$ Вт/см²) — на вертикальной оси. Сплошная линия над пунктирной показывает для каждой гармоники относительную фазу, соответствующую наибольшему нарушению симметрии. Зависимость номера гармоники от оптимальной фазы согласуется с расчётом в рамках двухзонной модели. Это согласуется с механизмом генерации гармоник в ZnO при повторных столкновениях. Рисунок заимствован из [24]

что происходит межзонный переход при значении импульса, который электрон и дырка имели в момент столкновения. Такой подход указывает на важность развития двухзонной модели генерации гармоник в твёрдом теле.

Если рассматривать зонную структуру, близкую, насколько возможно, к структуре ZnO, то двухзонная модель позволит использовать сходство между твердотельными и газовыми экспериментами [24, 25]. Эта модель предсказывает появление высоких гармоник. Но каково их происхождение?

На рисунке 6 представлены результаты ограниченного Фурье-преобразования, показывающие время (горизонтальная ось), когда данная частота (вертикальная ось) будет излучена в пределах единичного цикла основного поля. Мы видим, как сигнал начинается с низких частот и постепенно на протяжении цикла наполняется высокими частотами. Это качественно похоже на то, что мы измеряли в газах и что мы предсказали с помощью траекторий, рассчитанных с помощью $F = ma$. Действительно, белая линия на рисунке получена при классическом расчёте, в котором для массы движущегося электрона использована зонная поправка. При этом в рамках двухзонной модели предполагается, что основным механизмом генерации гармоник в ZnO являются повторные столкновения.

Этот вывод важно подтвердить экспериментально [26]. Для этого мы используем представление, описанное ранее и показанное сплошной и пунктирной линиями на рисунке 4 (идея эксперимента основана на том, что траектория электрона между моментами ионизации и повторного столкновения испытывает слабую модуляцию полем второй гармоники). Если использовать длинный цуг монохроматических волн, мы увидим только нечётные гармоники симметричной системы. Добавление даже слабой второй гармоники нарушает симметрию, а нарушение симметрии позволяет идентифицировать траекторию.

Номер гармоники, отложенный на горизонтальной оси, и относительная фаза между волной накачки и второй гармоникой, отложенная на вертикальной оси, показаны на рисунке 7. Для этого измерения мы использовали основной пучок с длиной волны 3.5 мкм и пиковой интенсивностью 10^{12} Вт/см² и вторую гармонику с интенсивностью 10^7 Вт/см². Из рисунка следует, что сигнал от нечётных гармоник гораздо сильнее, чем от чётных. Сплошная серая линия над чёрной пунктирной соответствует минимумам чётного гармонического сигнала для последовательных чётных гармоник. Относительная задержка подтверждает изменения спектральной фазы (или времени эмиссии) соответствующей

частотной компоненты. Переменная спектральная фаза характеризует повторное столкновение, являющееся источником высоких гармоник, излучаемых ZnO.

Заключительные замечания. Остаётся неясным вопрос, насколько механизм повторных столкновений оказывается общим для излучения гармоник твёрдыми телами. В моей лаборатории мы нашли ситуацию для кремния, напоминающую повторные столкновения [27], но непохоже, что источник гармоник в SiO₂ такой же [23]. Однако для важного класса материалов связь между газами и твёрдым телом установлена. Сделан ряд общих выводов. Отметим некоторые из них.

1. Твёрдые тела могут стать областью приложения для некоторых аспектов аттосекундной технологии. Ослабление требований к системам высокого вакуума значительно упрощает аттосекундную технологию и повышает её роль.

2. Благодаря чувствительности к возмущающим полям, зарегистрированной в наших *in situ* измерениях в ZnO, и наблюдению высоких гармоник из кремния, открылся путь к объединению экстремальной нелинейной оптики и современной электроники. Экстремальная нелинейная оптика может обеспечить три преимущества: во-первых, временное разрешение, достаточное, чтобы наблюдать электронный отклик в любой цепи; во-вторых, пространственное разрешение света с кратчайшими длинами волн, генерированного внутри материала; в-третьих, чувствительность поля (через нарушение симметрии) к величине этого нарушения в условной электронной цепи.

3. Физика повторных столкновений позволяет системе тестировать саму себя. Это справедливо для дифракции электронов, индуцированной лазером [8], оптической томографии [9] и, конечно, для электронных цепей. Возможно также использовать такое “самотестирование” для наблюдения схлопывания материала, облучённого лазером, или для измерения зонной структуры материалов при сверхвысоком давлении [28].

Прошло более 50 лет с момента появления пионерской работы профессора Келдыша. Я думаю, вы согласитесь, что направление, открытое им, сохраняет свою новизну.

Мне приятно выразить признательность Национальному исследовательскому совету Канады, Совету по естественным наукам и техническим исследованиям Канады, Канадскому инновационному фонду и Исследовательскому фонду Онтарио за финансовую поддержку наших работ. Финансовая поддержка США также была существенной, и я с благодарностью подтверждаю их вклад, включающий грант от US AFOSR (FA9550-

13-1-0010), US ARO (W911NF-14-1-0383) и грант AMRDEC (W31P4Q1310017) по программе DARPA PULSE. Большую пользу принесли обсуждения с моими коллегами и студентами из Объединённой лаборатории аттосекундных исследований Университета Оттавы и Национального исследовательского совета Канады. Эта работа была бы невозможна без их помощи и поддержки.

Перевод статьи на русский язык выполнен доктором физико-математических наук А.Б. Шварцбургом (Объединённый институт высоких температур РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Keldysh L.V.* Ionization in the field of a strong electromagnetic wave // *Sov. Phys. JETP*. 1965. V. 20. P. 1307–1314.
2. *Corkum P.B., Burnett N.H., Brunel F.* Above Threshold Ionization in the Long Wavelength Limit // *Phys. Rev. Lett.* 1989. V. 62. P. 1259–1262.
3. *Corkum P.B.* A Plasma Perspective on Strong Field Multiphoton Ionization // *Phys. Rev. Lett.* 1993. V. 71 (13). P. 1994–1997.
4. *Morrison J.P., Rennick C.J., Keller J.S., Grant E.R.* Evolution from a Molecular Rydberg Gas to an Ultracold Plasma in a Seeded Supersonic Expansion of NO // *Phys. Rev. Lett.* 2008. V. 101. 205005 (4 p).
5. *Burnett N.H., Corkum P.B.* Cold Plasma Production for Recombination XUV Lasers by Optical Field Induced Ionization // *J. Opt. Soc. Am. B*. 1989. V. 6. P. 1195–1199.
6. *Liu Y., Houard A. and Mysyrowicz A.* Self-seeded lasing in ionized air pumped by 800 nm femtosecond laser pulses // *Optics Express*. 2013. V. 21. P. 22791–22798.
7. *Zhang H. et al.* Rotational Coherence Encoded in an “Air-Laser” Spectrum of Nitrogen Molecular Ions in an Intense Laser Field // *Phys. Rev. X* 3. 2013. 041009.
8. *Zuo T., Bandrauk A.D., Corkum P.B.* Laser Induced Electron Diffraction: A New Tool for Probing Ultrafast Molecular Dynamics // *Chem. Phys. Lett.* 1996. V. 259. P. 313–320.
9. *Itatani J. et al.* Tomographic Imaging of Molecular Orbitals // *Nature*. 2004. V. 432. P. 867–871.
10. *Popmintchev T. et al.* Bright Coherent Ultrahigh Harmonics in the keV X-ray Regime from Mid-Infrared Femtosecond Lasers // *Science*. 2012. V. 336. P. 1287–1291.
11. *Corkum P.B., Burnett N.H., Ivanov M.Y.* Sub-Femtosecond Pulses // *Opt. Lett.* 1994. V. 19 (22). P. 1870–1872.
12. *Hentschel M. et al.* Attosecond Metrology // *Nature*. 2001. V. 414. P. 509–513.
13. *Smeenk C. et al.* Partitioning of the Linear Photon Momentum in Multiphoton Ionization // *Phys. Rev. Lett.* 2011. V. 106. 193002.

14. *Arissian L. et al.* Direct Test of Laser Tunneling with Electron Momentum Imaging // *Phys. Rev. Lett.* 2010. V. 105. 133002.
15. *Meckel M. et al.* Laser Induced Electron Tunneling and Diffraction // *Science*. 2008. V. 320. P.1478–1482.
16. *Kraus J.L., Schafer K.J., Kulander K.C.* High-order harmonic generation from atoms and ions in the high intensity regime // *Phys. Rev. Lett.* 1992. V. 68. P. 3535–3558.
17. *Dudovich N. et al.* Measuring and controlling the birth of attosecond pulses // *Nature Physics*. 2006. V. 2. P. 781–786.
18. *Brunel F.* Harmonic generation due to plasma effects in a gas undergoing multiphoton ionization in the high-intensity limit // *JOSA B*. 1990. V. 7. P. 521–526.
19. *Gertsvolf M. et al.* Orientation-Dependent Multiphoton Ionization in Wide Gap Crystals // *Phys. Rev. Lett.* 2008. V. 101. 243001.
20. *Grojo D. et al.* Exciton Seeded Multiphoton Ionization in Bulk SiO₂ // *Phys. Rev. B*. 2010. V. 81. 212301.
21. *Gertsvolf M., Spanner M., Rayner D.M., Corkum P.B.* Demonstration of attosecond ionization dynamics inside transparent solids // *J. Phys. B*. 2010. V. 43. 131002.
22. *Ghimire S. et al.* Observation of high-order harmonic generation in a bulk crystal // *Nature physics*. 2011. V. 7. P. 138–141.
23. *Luu T.T.* Extreme Ultraviolet High Harmonic Spectroscopy of Solids // *Nature*. 2015. V. 521. P. 498–502.
24. *Vampa G. et al.* Theoretical Analysis of High-Harmonic Generation in Solids // *Phys. Rev. Lett.* 2014. V. 113. 073901.
25. *Vampa G. et al.* Semi-classical analysis of high harmonic generation in bulk crystals // *Physical Review B*. 2015. V. 91. 064302.
26. *Vampa G. et al.* Linking high harmonics from gases and solids // *Nature*. 2015. V. 522. P. 462–464.
27. *Vampa G. et al.* Generation of High Harmonics from Silicon / *arXiv preprint arXiv*. 2016. 1605.06345.
28. *Vampa G. et al.* All-Optical Reconstruction of Crystal Band Structure // *Phys. Rev. Lett.* 2015. V. 115. 193603.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СУБЪЕКТА В СТРАТЕГИИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2016 г. В.И. Стародубов^а, Н.Г. Куракова^б

^аЦентральный научно-исследовательский институт организации и информатизации
здравоохранения Минздрава России, Москва, Россия

^бИнститут прикладных экономических исследований Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте РФ, Москва, Россия

e-mail: starodubov@mednet.ru; idmz@mednet.ru

Поступила в редакцию 05.04.2016 г.

В статье анализируется обоснованность ключевых тезисов проекта Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 г., связанных с оценкой объёмов финансирования НИОКР в РФ, инвестиций национального делового сектора, изобретательской активности в секторе генерации знания, результативности персонала, занятого исследованиями и разработками, в сопоставлении с аналогичными показателями в других странах. Обращается внимание на тот факт, что ресурсы увеличения объёмов государственного финансирования российской научно-технологической сферы в среднесрочной перспективе исчерпаны, поэтому единственная возможность достичь запланированного указом Президента РФ № 599 увеличения показателя внутренних затрат на исследования и разработки до 1.77% от ВВП предполагает резкий рост объёмов их внебюджетного финансирования. Особое внимание авторы уделяют несбалансированности бюджета относительно численности персонала, в результате чего Россия имеет один из самых низких среди развитых стран показатель “внутренние затраты на НИОКР в расчёте на одного исследователя”. Делается вывод: в проекте Стратегии в качестве главного субъекта научно-технологического развития страны ошибочно рассматривается учёный и исследовательская организация, а не национальный предпринимательский сектор.

Ключевые слова: научно-технологическое развитие, стратегия, ресурсы, Российская Федерация, расходы на исследования и разработки, национальный корпус исследователей, промышленный сектор, инвестиции в НИОКР.

DOI: 10.7868/S0869587316120112



СТАРОДУБОВ Владимир Иванович — академик РАН, и.о. вице-президента РАН, директор ЦНИИОИЗ МЗ России. КУРАКОВА Наталия Глебовна — доктор биологических наук, директор Центра научно-технической экспертизы ИПЭИ РАНХ и ГС при Президенте РФ.

В мае 2016 г. на публичное обсуждение был вынесен проект Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года (СНТР-2035) [1], подготовленный Фондом “Центр стратегических разработок” по заданию Минобрнауки России. В нём, в частности, утверждается: “...в настоящее время российский сектор исследований и разработок является одним из самых значительных в мире — как по объёмам бюджетного финансирования НИР и НИОКР, так и по численности занятых в этом секторе работников”, однако “рост финансирования исследований и разработок и инновационной инфраструктуры не привёл к автоматической реализации инновационного сценария РФ. Доля России в общем мировом экспорте высокотехнологичных товаров составляет всего 0.4%”; “текущая активность в сфере исследований

и разработок не трансформируется в результаты оформленных изобретений” [1, с. 9, 10], поэтому *“необходимо повысить эффективность деятельности российских исследователей и разработчиков”* [1, с. 14]. Все ли из этих утверждений верны? В отличие от авторов процитированного документа мы полагаем, что в построенной ими причинно-следственной конструкции игнорируется актуальная информация, касающаяся как объёмов финансирования НИР и НИОКР в РФ и их оценки в сопоставлении с аналогичными международными показателями, так и изобретательской активности в сфере исследований и разработок (ИиР), что приводит к ошибочной идентификации субъекта, ответственного за реализацию инновационного сценария в Российской Федерации. В качестве такового в СНТР-2035 рассматриваются российские исследователи и разработчики, а не предпринимательский сектор страны.

Согласно теории и основам военных наук, “стратегия особенно необходима, когда для прямого достижения основной цели наличных ресурсов недостаточно” [2, с. 458]. Представляется очевидным, что при создании СНТР-35, наделённой статусом “документа стратегического планирования, разрабатываемого в рамках целеполагания на федеральном уровне” [3], надо прежде всего учесть объективную информацию, характеризующую ресурсы, которыми располагает страна для достижения целей своего научно-технологического развития. Рассмотрим с этой точки зрения обоснованность некоторых ключевых тезисов проекта СНТР-2035.

“В настоящее время российский сектор исследований и разработок является одним из самых значительных в мире по объёмам бюджетного финансирования НИР и НИОКР”. Выбранный для сопоставления национальных бюджетов на исследования и разработки показатель, с нашей точки зрения, не даёт возможности оценить конкурентоспособность российского бюджета, выделяемого на указанные цели. Это связано с тем, что во всех индустриально развитых странах доля бюджетных ассигнований на НИОКР уже давно не превышает 20–30% от внутренних затрат на ИиР [4]. Например, в Японии она составляла в течение последних пяти лет около 18%, в Китае — около 23%, в Германии — 28%, в Великобритании — 31%. В США в 2014 г. национальный бюджет на ИиР оценивался в рекордные 465 млрд. долл., из которых только 135 млрд. долл. (29%) составляли средства государства [5]. В Российской Федерации доля внебюджетного финансирования даже в период высоких цен на углеводороды не превышала 25–29% от внутренних затрат на ИиР [6], и пока нет оснований полагать, что индустриальный сектор начнёт активно увеличивать расходы на корпоративные НИОКР в краткосрочной пер-

спективе. В этой связи нам представлялось важным сопоставить конкурентоспособность внутренних затрат на ИиР в Российской Федерации с таковыми в индустриально развитых странах и странах БРИКС.

Для оценки доли консолидированного национального бюджета РФ на ИиР от общемирового бюджета на НИОКР в 2016 г. мы воспользовались данными аналитического обзора “2016 Global R&D Funding forecast”, подготовленного по заказу Института индустриальных исследований США, журнала “R&D Magazine” и опубликованного в начале 2016 г. [7]. В исследовании предложены прогноз объёмов внутренних затрат на исследования и разработки в различных странах в 2016 г., которые рассчитываются как сумма государственных и негосударственных расходов на НИОКР, выраженная в процентах валового внутреннего продукта (ВВП) по паритету покупательной способности (ППС). Однако авторами обзора не были учтены данные о сокращении доли внутренних затрат на ИиР, планируемые в Российской Федерации в 2016 г. Согласно Федеральному закону № 359-ФЗ “О федеральном бюджете на 2016 год” [8], расходы на научные ИиР гражданского назначения составят в текущем году 306 млрд. руб. В новой экономической реальности, связанной с падением ВВП, значительным снижением курса национальной валюты и режимом санкций, следует ожидать сокращения внебюджетной поддержки прикладных исследований и разработок со стороны индустриального сектора. Поэтому показатель “процент внутренних затрат на ИиР от ВВП по паритету покупательной способности”, определённый авторами обзора для РФ как 1.5, представляется правильным заменить на 1.15, учитывая тот факт, что в 2013–2015 гг. он составлял 1.17% ВВП РФ.

Что касается прогнозных оценок ВВП РФ по ППС в миллиардах долларов, то, по нашим расчётам, они корректны при допущении, что сокращение ВВП в 2016 г. составит 2%; как прогнозирует Центральный банк [9], инфляция не превысит 10% [10], а среднегодовой валютный курс окажется на уровне 70 руб. за доллар. При таких параметрах ВВП РФ по ППС, выраженный в миллиардах долларов, будет близок к величине, определённой авторами обзора (3396.6 млрд. долл.).

По представленным в обзоре “2016 Global R&D Funding forecast” оценкам, мировой бюджет на ИиР в 2016 г. составит 1935.86 млрд. долл. (с учётом выполненной нами коррекции для РФ), из которых 1874.81 млрд. долл., то есть 96.84% мирового бюджета на ИиР, придётся на национальные бюджеты всего 40 стран. Таким образом, можно говорить о высокой концентрации финан-

совых ресурсов в ограниченном числе государств, конкурирующих за будущие рынки, которые сформируются на основе товаров и услуг нового технологического уклада.

Проведённые расчёты дают основание прогнозировать, что в 2016 г. РФ займет девятую позицию по объёму своего национального бюджета на ИиР и встанет в один ряд с такими странами, как Великобритания, Бразилия и Канада, при этом на её долю, по нашим расчётам, придётся не более 2% мирового бюджета на эти цели. Для сравнения: доля бюджетов трёх стран – США, Китая и Японии, как ожидается, достигнет 55.6%. По прогнозам Международного валютного фонда, рост ВВП Китая в 2016 г. составит 6.3%, а США – 2.8%, поэтому авторы обзора предполагают, что к 2026 г. Китай оттеснит США с первой позиции рейтинга стран по объёму внутренних затрат на ИиР [11]. В Индии в последнее время также отмечается заметный рост ВВП и внутренних затрат на ИиР, что уже в 2016 г. позволит стране занять шестое место по объёму национального бюджета на НИОКР, а к 2018 г. она может превзойти по этому показателю Республику Корея и Германию [11]. В итоге прогнозируется, что в шестёрку стран-лидеров по объёмам национальных расходов на ИиР в 2016 г. войдут США, Китай, Япония, Германия, Республика Корея и Индия. Совокупная доля затрат на ИиР этих стран, как ожидается, составит 68.5% общемирового объёма (рис. 1).

В числе геополитических событий, которые, вероятно, в самое ближайшее время приведут к изменению состава лидеров мировой науки, аналитики отмечают намерение Ассоциации государств Юго-Восточной Азии (АСЕАН) превратить этот регион в общий рынок и общую производственную базу. Ожидается, что запланированное устранение ограничений на трансграничное передвижение рабочей силы и услуг будет стимулировать сотрудничество в области науки и технологии и тем самым укрепит зарождающийся азиатско-тихоокеанский центр знаний [11].

Уже сегодня глобальный рынок интеллектуальной собственности, связанный с производством высокотехнологичных товаров и услуг, практически полностью сконцентрирован в трёх мировых технологических ареалах – США, странах ЕС-14 (Австрия, Бельгия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Ирландия, Италия, Нидерланды, Португалия, Испания, Швеция, Великобритания) и Юго-Восточной Азии (Китай, Индия, Индонезия, Япония, Малайзия, Филиппины, Сингапур, Южная Корея, Тайвань, Таиланд). В совокупности эти три зоны производят около 90% продукции мирового высокотехнологичного сектора. На долю лидерской группы приходится 82% мирового импорта ин-

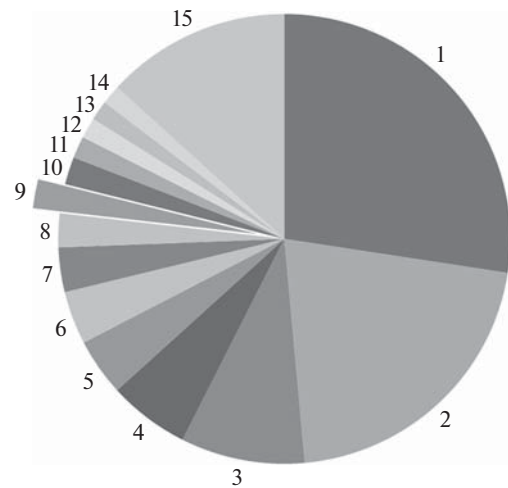


Рис. 1. Соотношение прогнозируемых валовых внутренних затрат на исследования и разработки в различных странах в 2016 г., млрд. долл.

1 – США (514), 2 – КНР (396), 3 – Япония (166.6), 4 – Германия (109.2), 5 – Республика Корея (77.1), 6 – Индия (71.4), 7 – Франция (60.0), 8 – Великобритания (45.5), 9 – Россия (39.0), 10 – Бразилия (37.1), 11 – Канада (29.4), 12 – Австралия (27.8) 13 – Италия (26.6), 14 – Тайвань (25.9), 15 – Другие (248.2)

Источник: расчёты авторов по данным “2016 Global R&D funding forecast”

теллектуальной собственности и свыше 94% её экспорта, поэтому входящие в эту группу страны получили статус технологической олигополии [11]. Доля остальных стран, входящих в так называемую технологическую периферию, в объёме мировых продаж прав интеллектуальной собственности составляет всего 6%, в объёме её мировых приобретений – 19%. [12–14]. К сожалению, в число стран “технологической периферии” входит и Россия. С учётом этого факта ожидаемый в 2016 г. её национальный бюджет на ИиР выглядит явно недостаточным для целей достижения глобального технологического превосходства, провозглашённых практически во всех стратегических документах последних пяти лет.

В августе 2015 г. Профсоюз работников РАН направил на имя Президента РФ официальный запрос о перспективах достижения запланированного указом Президента РФ № 599 показателя, обеспечивающего увеличение внутренних затрат на исследования и разработки до 1.77% ВВП страны [15]. В ответе Администрации Президента РФ на это обращение отмечается, что государственная составляющая финансового обеспечения российской науки для достижения доли внутренних затрат на ИиР в ВВП достаточна и соответствует аналогичным показателям экономически развитых стран: отношение объёма бюджетных ассигнований на исследования и разработки к ВВП в 2012 г.

составило в России 0.88% (в том же году в Италии — 0.54%, в Великобритании — 0.59%, в Японии — 0.81%, во Франции — 0.84%, в Германии — 0.93%), при этом отношение внутренних затрат на ИиР к ВВП оказалось на уровне 1.13% (в Италии — 1.25%, Великобритании — 1.77%, Японии — 3.39%, Франции — 2.24%, Германии — 2.88%) [16]. Поэтому, как подчёркивалось в ответе, фактически увеличение наукоёмкости ВВП означает увеличение притока внебюджетных инвестиций в ИиР вследствие повышения востребованности результатов науки реальным сектором экономики. Расширение внебюджетной поддержки должно происходить в сфере прикладных исследований и экспериментальных разработок. Замещение частным капиталом бюджетных инвестиций в сегменте прикладных исследований должно создать возможности для государства увеличить финансирование фундаментальных исследований, что позволит повысить конкурентоспособность сектора фундаментальной науки и достичь других целевых показателей, заданных майскими указами Президента Российской Федерации, в частности обеспечить достойный уровень оплаты труда в секторе исследований и разработок [16]. Таким образом, из ответа Администрации Президента следует, что достижение уровня внутренних затрат на ИиР 1.77% от ВВП — задача не государства, а бизнес-сообщества.

Ещё один спорный тезис Стратегии касается соотношения бюджетных и внебюджетных ассигнований на исследования и разработки. Из текста проекта СНТР-2035 следует, что *“в условиях жёстких бюджетных ограничений государство даже в долгосрочной перспективе не сможет увеличить финансирование ИиР больше, чем на 0.1–0.3%. Рост финансирования данных работ должен быть связан с ростом инвестиций со стороны компаний”* [1, с. 63]. Однако из данных таблицы 2 проекта СНТР-2035 [1, с. 64] следует, что *“научно-технологическое лидерство РФ с ориентацией на новую экономику может быть достигнуто уже при соотношении средств бюджетов и внебюджетных средств как 0.85% к 0.26% ВВП в 2016–2020 гг.”* Такие предположения разработчиков документа стратегического планирования не выглядят убедительными.

Действительно, в последние пять лет сокращение участия в НИОКР государственного сектора наблюдается во многих странах с высоким уровнем доходов (Австралия, Канада, США, Великобритания, Франция и др.). Среди стран ЕС только Германия смогла за пятилетие увеличить ассигнования на государственные НИОКР. Во Франции и Соединённом Королевстве эти объёмы сократились, как и в Канаде, где напряжённая ситуация с финансированием научных исследований из национального бюджета привела к значительному снижению интенсивности НИОКР, финан-

сируемых правительством. В Индии финансовая поддержка НИОКР со стороны делового сектора увеличивается быстрее, чем аналогичные государственные вливания [11].

Однако важно отметить, что сокращение государственных ассигнований коснулось в этих странах только сектора прикладных исследований, в то время как объёмы вложений в фундаментальные исследования даже возросли, потому что без фундаментальной науки, как известно, не будет и науки, достижения которой можно применять на практике. В США федеральное правительство сосредоточилось на поддержке фундаментальных исследований, оставляя за промышленностью ведущую роль в отношении прикладных исследований и технологического развития. Республика Корея за период 2001–2011 гг. увеличила объёмы финансирования фундаментальных исследований с 13 до 18% всех внутренних расходов на НИОКР. По тому же пути пошла Малайзия (с 11% в 2006 г. до 17% в 2011 г.). В Российской Федерации в 2008–2013 гг. расходы на фундаментальные исследования, напротив, сократились с 26 до 17% суммы валовых расходов [11].

В 2016 г. ВВП России по бюджетной росписи составит 78 673 млрд. руб., на фундаментальные исследования будет потрачено 110.6 млрд руб. (ФЗ № 359) [8], то есть 0.14% ВВП. Этот показатель существенно ниже, чем в индустриально развитых странах: в Республике Корея в 2013 г. он составлял 0.74%, в США — 0.46%, Японии — 0.44%, во Франции — 0.64%, в Израиле — 0.44%) [4]. Тем не менее у нас в ущерб сектору фундаментальных исследований в 2016 г. ассигнования федерального бюджета на прикладные разработки запланированы в объёме 196.3 млрд. руб. — это 56.5% средств государства, выделяемых на гражданскую науку.

В странах, которые ориентированы на обеспечение конкурентоспособности своей промышленности, доля внутренних затрат на НИОКР, приходящаяся на инвестиции делового сектора, динамично растёт. Так, в 2001–2011 гг. совокупная доля таких вложений в Китае и Индии увеличилась в 4 раза (с 5 до 20%) в значительной мере за счёт средств, поступивших из Западной Европы и Северной Америки. Заметно вырос этот показатель в Республике Корея, в меньшей мере в Германии, США, Турции и Польше, стабильно высок он в Японии и Соединённом Королевстве. В нашей стране, несмотря на усилия правительства, финансовый вклад промышленных отраслей в валовые внутренние расходы на НИОКР в России в 2000–2013 гг. сократился с 33 до 28% [11].

Парадоксальным выглядит тот факт, что предпринимательский сектор российской науки привлекает на свои ИиР 54% средств государства, в то

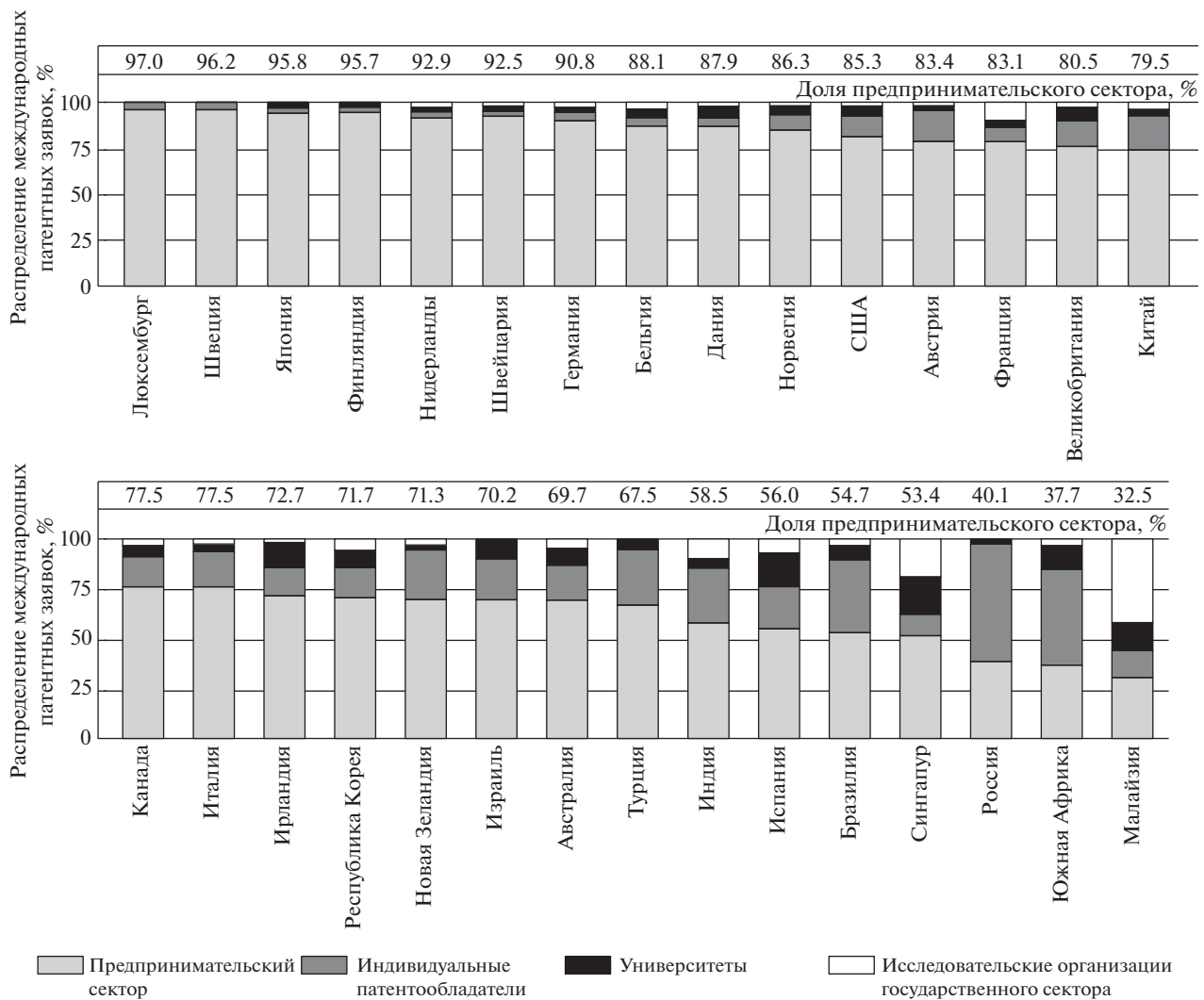


Рис. 2. Распределение патентных заявок в разбивке по четырём типам заявителей (компании, частные лица, университеты, правительственные и научно-исследовательские институты) для 30 стран их происхождения

Источник: Patent Cooperation Treaty Yearly Review. Publication Date: June 2015. [электронный ресурс] http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_901_2015.pdf (дата обращения 10.02.2016)

время как сам направляет в государственный сектор ИиР лишь 12.9% [6]. При этом предпринимательский сектор практически не производит наукоёмкой продукции с высокой добавленной стоимостью, не вносит сколько-нибудь заметного вклада в формирование национального патентного и публикационного потока. Демонстрируя очевидную неэффективность использования государственных средств на ИиР, этот сектор оказался “освобождённым” от публичной отчётности за показатель доли России в общем мировом экспорте высокотехнологичных товаров, которая, согласно СНТР-2035, составляет, как упоминалось, всего 0.4% [1, с. 10].

“Текущая активность в сфере исследований и разработок не трансформируется в результаты оформленных изобретений”. Согласно данным до-

клада Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС), по итогам 2014 г. Российская Федерация заняла почётное 7-е место по количеству заявок на изобретения, поданных резидентами [17], что оценивается экспертами ВОИС как высокий показатель, причём со стабильной положительной динамикой. Нетипична, по мнению авторов этого авторитетного доклада, структура российских патентообладателей. Так, в 2014 г. в среднем по 30 индустриально развитым странам 85.1% всех опубликованных патентных заявок поданы компаниями, 7.8% заявок – физическими лицами, 4.8% – университетами и 2.3% – государственными организациями и научно-исследовательскими институтами. В России, в отличие от других стран, отмечена самая большая доля патентных заявок, поданных частными

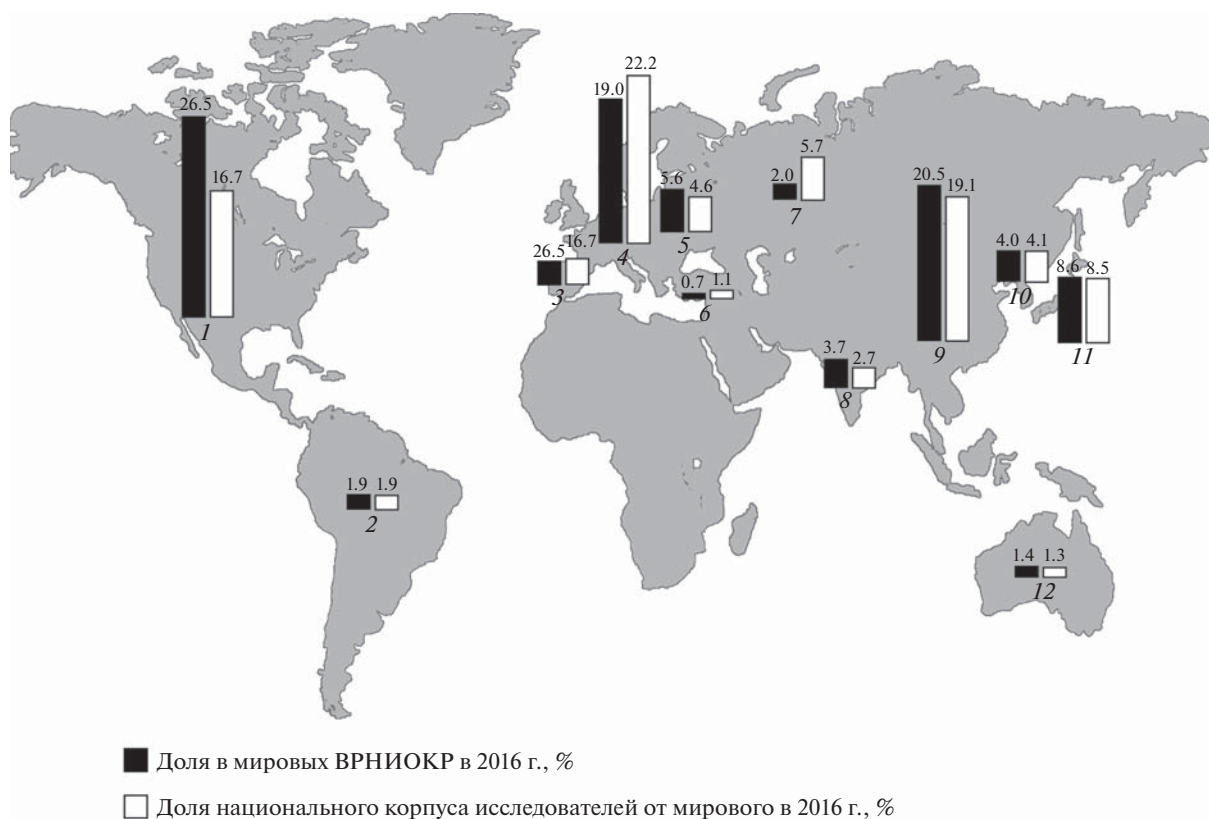


Рис. 3. Соотношение доли внутренних затрат на ИиР и доли исследователей от общемировых показателей для различных стран

1 — США, 2 — Бразилия, 3 — Франция, 4 — Евросоюз в целом, 5 — Германия, 6 — Турция, 7 — Россия, 8 — Индия, 9 — КНР, 10 — Республика Корея, 11 — Япония, 12 — Австралия

лицами — 58.2%, что более чем в 7 раз превышает средние показатели по 29 странам. Только 38% заявок на изобретения резидентов России принадлежат коммерческим компаниям, что более чем вдвое ниже средних значений по другим странам. Доля заявок от российских университетов и исследовательских институтов составляет около 4%, что соответствует средним значениям (рис. 2).

Представленные данные опровергают тезис проекта СНТР-2035 о низкой изобретательской активности российских индивидуальных исследователей и научных организаций. Как следует из данных рисунка 2, они, напротив, демонстрируют нетипичную для индустриально развитых стран активность, в то время как российские компании не выполняют роль драйверов технологического и промышленного развития страны.

“РФ, имея численность персонала, занятого в ИиР на уровне, близком к Японии, проигрывает последней по количеству публикаций...”. По данным доклада “UNESCO Science Report: towards 2030”, в настоящее время в научных исследованиях во всём мире занято около 7.8 млн. учёных, с 2007 г. их число возросло на 21% [11]. Лидером по числу исследователей остаётся ЕС: его доля составляет

22.2%. На долю Китая в 2013 г. приходилось 19.1% исследователей, по этому показателю он обогнал США (16.7%). Доля Японии сократилась с 10.7% (2007 г.) до 8.5% (2013 г.), а доля Российской Федерации с 7.3% в 2007 г. до 5.7% в 2013 г. (рис. 3). Однако, согласно данным Росстата на октябрь 2015 г. [18], численность персонала, занятого исследованиями и разработками в РФ, в 2016 г. составила 732.3 тыс. человек, или 9.4% мировой численности. С таким показателем РФ окажется на 4-й позиции в рейтинге стран, имеющих самый многочисленный персонал, занятый ИиР. При этом следует помнить, что на долю США, Китая, ЕС и Японии приходится соответственно 26.5%, 20.5%, 19.0%, 8.6%, мирового бюджета на ИиР, в то время как на долю РФ — около 2%.

Такая диспропорция долей внутренних затрат на ИиР и национального корпуса исследователей характерна только для России. Как нам представляется, это требует разработки подходов к гармонизации двух показателей, которые важно обозначить в Стратегии научно-технологического развития страны. Пока же несбалансированность национального бюджета на ИиР и численности персонала, занятого ИиР, приводит к тому, что

Сравнение распределения персонала, занятого ИиР, по секторам в России и индустриально развитых странах

Страна	Персонал, занятый в государственном секторе ИиР, %	Персонал, занятый в промышленном секторе ИиР, %	Персонал, занятый в секторе ИиР вузов, %
Россия	32.5	46.7	20.6
Германия	15.7	56.4	27.9
Китай	19.5	62.2	18.4
Япония	4.7	73.5	20.7
Республика Корея	7.2	78.7	13.0
Израиль	0.8	83.7	14.8

Источник: Индикаторы науки: 2016. Статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ, 2016.

Россия имеет один из самых низких среди развитых стран показатель “внутренние затраты на НИОКР в расчёте на одного исследователя”. В Швейцарии он составляет 419 тыс. долл, в Швеции — 282 тыс., США — 342 тыс., Германии — 293 тыс., Китае — 209 тыс., Испании — 154 тыс., в России — 88 тыс. [19].

Важно учитывать, что в индустриально развитых странах большая часть национального корпуса учёных занята в промышленном секторе и им же оплачивается (табл.), что, видимо, и обеспечивает тот самый диалог науки с промышленностью, значимость которого вновь обсуждается в проекте СНТР-2035. Например, в Израиле в промышленном секторе занято 83.7% участников исследовательской и конструкторской деятельности, в Республике Корея — 78.7%, в Японии — 73.5%. В России на долю промышленного сектора приходится лишь 46.7% персонала, занятого ИиР.

С нашей точки зрения, результативность национального корпуса исследователей, выраженная показателями публикационной и патентной активности, зависит главным образом от двух индикаторов: “внутренние затраты на НИОКР в расчёте на одного исследователя” и “доля персонала, занятого в промышленном секторе ИиР”. Последний индикатор определяет чёткость целеполагания поисковых задач, ускорение технологического трансфера, как правило, высокий уровень инструментального обеспечения исследований и пр. Поэтому констатация “общей неэффективности” [1, с. 12] российского сектора науки без учёта отмеченных выше показателей в индустриально развитых странах представляется малообоснованной.

В проекте СНТР-2035 справедливо отмечено, что место науки в мире меняется: она играет всё более значимую роль в качестве производительной силы, поэтому наука обоснованно рассматривается как часть общей экономической политики развитых стран [1, с. 11]. Как отмечается в Докладе “UNESCO Science Report: towards 2030”, завершение недавнего бума сырьевых рынков в

сочетании с обвалом мировых цен на нефть в 2014 г. подчеркнуло уязвимость национальных систем поощрения инноваций в целом ряде богатых ресурсами стран, которым в настоящее время с трудом удаётся сохранять свою конкурентоспособность [11]. К сожалению, Российская Федерация оказалась в их числе.

Сегодня эксперты единодушны во мнении, что основным триггером изменений в структуре российской экономики, основой её диверсификации могут стать лишь высокотехнологичные отрасли, обладающие потенциалом производства продуктов с высокой добавленной стоимостью. Однако создание конкурентоспособных высокотехнологичных товаров и услуг новой технологической повестки для глобального рынка, захват технологического лидерства не являются задачами сектора генерации знания, эту миссию выполняет промышленный сектор любой страны.

К сожалению, в СНТР-2035 в качестве субъекта, ответственного за технологическое развитие РФ, рассматриваются учёные и исследовательские организации. При этом вопиющий факт, что внутренние затраты на НИОКР в расчёте на одного исследователя в РФ в несколько раз меньше, чем во всех индустриально развитых странах мира, замалчивается, к нему не привлекается должного внимания, не прогнозируются последствия.

Единственная возможность достижения запланированного указом Президента РФ № 599 увеличения показателя внутренних затрат на ИиР связана с резким ростом объёмов внебюджетного финансирования отечественной науки. Однако, как справедливо отмечают авторы упоминавшегося доклада “UNESCO Science Report: towards 2030”, в странах, богатых природными ресурсами, высокие темпы роста за счёт добычи полезных ископаемых, как правило, лишают деловой сектор стимулов для сосредоточения усилий на инновациях и устойчивом развитии.

Представляется, что без рассмотрения в проекте СНТР-2035 причин и следствий отсутствия у российского предпринимательского сектора за-

интересованности в технологическом развитии стратегическое планирование в отечественном научно-технологическом секторе будет выглядеть несистемным. В связи с этим хотелось бы увидеть в окончательной редакции СНТР-2035 комплекс мер, направленных не только на повышение результативности отечественного сектора генерации знаний, но и на создание условий, стимулирующих инвестиции промышленного сектора в исследования и разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проект Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года от 05 мая 2016 г. (2016). Фонд “Центр стратегических разработок”. http://sntr-rf.ru/upload/iblock/456/СНТР%2005.05.2016_редакция%2021.pdf.
2. Клаузевиц К. О войне. М.: Госвоениздат, 1934.
3. Перечень поручений по итогам заседания Совета при Президенте РФ по науке и образованию. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/51190>
4. OECD—Main Science and Technology Indicators 2014.
5. 2014 GLOBAL R&D. December 2013. https://www.battelle.org/docs/tpp/2014_global_rd_funding_forecast
6. Индикаторы науки: 2016. Статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ, 2016.
7. 2016: Global R&D Funding Forecast // Battelle, R&D Magazine. 2016. <http://www.iriweb.org/sites/default/files/2016GlobalRDFundingForecast.pdf>
8. Федеральный закон от 14.12.2015 № 359-ФЗ “О федеральном бюджете на 2016 год” // Российская газета. 2015. Федеральный выпуск № 6856(285) (17 декабря).
9. <http://www.business-gazeta.ru/news/305171>
10. <https://www.vedomosti.ru/economics/news/2016/01/20/624730-tsb-prognoziruet>
11. UNESCO Sceince Report: towards 2030, 2015. <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002354/235407r.pdf>
12. World Development Indicators. Washington: The World Bank, 2014. Table 5.12
13. Bagchi A., Mukherjee A. Technology licensing in a differentiated oligopoly // International Review of Economics & Finance, 2014, V. 29, P. 455–465.
14. Chen Y., Yang Y., Wang L., Wu S. Technology licensing in mixed oligopoly // International Review of Economics & Finance. 2014. V. 31. P. 193–204.
15. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. N 599 “О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки” // Российская газета. 2012. Столичный выпуск № 5775(102) (9 мая).
16. <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=e9a13d1b-b6f3-408f-a480-65bdf36a58e3>
17. Patent Cooperation Treaty Yearly Review. Publication Date: June 2015. [электронный ресурс] http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_901_2015.pdf (дата обращения 10.02.2016).
18. <http://www.mk.ru/science/2015/10/07/rosstat-fiksiruets-uluchshenie-pokazateley-rossiyskoy-nauki.html>
19. Наука, технологии, инновации России. М.: ИПРАН, 2014.

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ
ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СМЕРТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ

© 2016 г. С.А. Бойцов, И.В. Самородская

ФГБУ «Государственный научно-исследовательский центр профилактической медицины Минздрава России»,
Москва, Россия

e-mail: prof.boytsov@gmail.com; samor2000@yandex.ru

Поступила в редакцию 04.12.2015 г.

Авторами проведён анализ отечественных и международных исследований влияния социально-экономических факторов, окружающей среды, генетических и поведенческих особенностей, системы здравоохранения на смертность населения. Указывается, что необходимо различать понятия «факторы, оказывающие влияние на показатели смертности населения» и «факторы, оказывающие влияние на смертность (продолжительность жизни)». На показатели смертности значительное влияние оказывают демографические процессы (рождаемость, смертность, миграция), в то время как на смертность влияет целый комплекс факторов, значимость каждого из которых до сих пор не определена и, по мнению авторов, может существенно варьироваться в разных популяциях в зависимости от особенностей сочетания этих факторов.

Ключевые слова: смертность, показатели смертности, продолжительность жизни, социально-экономические факторы, окружающая среда, генетические факторы, поведенческие факторы, система здравоохранения.

DOI: 10.7868/S0869587316110037

По предварительным данным Росстата, в первой половине 2015 г. в России зафиксировано увеличение смертности населения по сравнению с предыдущими годами, когда наблюдалась отчётливая тенденция снижения показателей смертности как населения в целом, так и отдельно по всем возрастным подгруппам. Причины изменения динамики показателей неоднократно обсужда-

лись в Правительстве РФ, средствах массовой информации и на различных научных площадках. Разнообразие высказываемых мнений делает целесообразным анализ результатов исследований, посвящённых оценке влияния различных факторов на смертность населения.

Прежде всего следует отметить, что степень значимости этих факторов различается в зависимости от того, идёт ли речь о продолжительности жизни и риске преждевременной смерти отдельного индивида, какой-то популяционной группы населения или общества в целом. На риск смерти конкретного человека оказывают влияние наличие тяжёлого декомпенсированного врождённого или приобретённого заболевания, возможность получения своевременной качественной медицинской помощи, курабельность случая лечения (наличие технологий, позволяющих вылечить заболевание или продлить жизнь пациента на фоне заболевания), возраст (самый существенный фактор, поскольку средства от бессмертия ещё не разработаны), пребывание в экстремальных условиях (стихийные бедствия, война, экстремальные виды досуга и спорта и т.д.). Развитию хронических инвалидизирующих и жизнеугрожающих заболеваний и преждевременной смерти конкретного индивида способствуют поведенче-



БОЙЦОВ Сергей Анатольевич — доктор медицинских наук, директор ФГБУ «ГНИЦПМ». САМОРОДСКАЯ Ирина Владимировна — доктор медицинских наук, руководитель лаборатории демографических аспектов здоровья населения ФГБУ «ГНИЦПМ».

ские факторы риска (курение, злоупотребление алкоголем, низкая или, наоборот, чрезвычайно высокая физическая активность, неправильное питание), конституционально-биологические особенности (повышенный уровень холестерина, артериального давления, врождённые и генетические аномалии развития, “яблочный” тип ожирения, депрессия), проживание в неблагоприятных условиях (окружающая среда, бедность, социальный стресс).

На показатель смертности в популяции, рассчитываемый как число умерших на 1000 человек, значительное влияние оказывают демографические процессы — рождаемость, возрастная структура населения, смертность в отдельных половозрастных подгруппах и процессы миграции. Так, при равном уровне смертности в стратифицированных по возрасту подгруппах в целом смертность выше в популяции с более высокой долей пожилого населения. Но в том случае, если увеличение доли пожилого населения сопровождается снижением смертности в каждой возрастной подгруппе, величина общепопуляционных показателей смертности снижается. Поэтому в Германии, по данным Всемирного банка, при увеличении доли населения старше 65 лет с 14.9% в 1990 г. до 20.6% в 2010 г. и одновременном увеличении средней продолжительности жизни с 75 до 80 лет нестандартизованный коэффициент смертности снизился с 11.6 до 10.5 на 1000 человек. В России за тот же период доля населения старше 65 лет возросла с 10.3 до 12.8%, коэффициент смертности — с 11.2 до 14.2, а продолжительность жизни снизилась с 69.3 до 69.0 лет (также данные Всемирного банка).

Воздействие отдельных демографических процессов в определённой мере нивелируется в стандартизованных коэффициентах смертности, в которых учитывается возрастная структура населения и которые могут довольно сильно расходиться с фактическими показателями, в первую очередь по причине различий в демографической структуре сравниваемых популяций. Без стандартизации коэффициентов сравнение показателей смертности может быть некорректным и даже бессмысленным. В то же время значения стандартизованных показателей зависят от выбора “стандарта популяции” и метода стандартизации [1, 2].

На смертность в популяционной выборке населения (или более корректный для таких оценок показатель ожидаемой продолжительности жизни) влияет, согласно исследованиям, целый комплекс факторов, которые мы в настоящей статье очень условно разделили на несколько подгрупп. Авторы многих работ ссылаются на данные Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в соответствии с которыми состояние здоровья на 50% определяется образом жизни, факторы среды

обитания и наследственности вносят по 20%, оставшиеся 10% — вклад такого фактора, как качество медико-санитарной помощи. Следует отметить, что нам так и не удалось найти первоисточник этих цитирований, так же, как и ссылки на математическую модель, которая учитывала бы все известные на сегодня факторы, воздействующие на смертность.

Социально-экономические факторы. В многочисленных исследованиях неоднократно отмечалось наличие тесной взаимосвязи между социально-экономическим развитием государства, уровнем доходов, социальной защитой и состоянием здоровья населения. Сегодня имеются убедительные доказательства того, что градиент смертности (выраженные различия в показателях смертности между богатыми и бедными) проявляется как между богатыми и бедными странами, так и внутри каждой страны — между группами населения, выделенными в зависимости от их социально-экономического статуса. При этом, как подчёркивается в документах ВОЗ, смертность в социально незащищённых слоях населения с низким доходом гораздо выше в бедных странах, чем в богатых, а величина градиента смертности среди благополучных и неблагополучных групп населения, например в Европе, значительно ниже по сравнению со странами Ближнего Востока и Северной Африки [3, 4].

Безусловно, невозможно говорить о линейном характере взаимосвязей экономических показателей и смертности, тем не менее данные Росстата о смертности в России свидетельствуют: в период экономических реформ, обернувшихся массовым обнищанием и резким расслоением населения по уровню жизни, показатели смертности значительно увеличились [5, 6]. Для оценки внутрироссийской ситуации также важно отметить, что негативное влияние бедности отдельных слоёв населения и усиливающегося неравенства доходов может снижать позитивное влияние роста ВВП на душу населения. Например, в странах Латинской Америки рост ВВП на фоне увеличения неравенства доходов привёл лишь к очень незначительному росту продолжительности жизни и снижению младенческой смертности [7].

Опирающийся на системный подход экспертный анализ публикаций по проблеме смертности показывает, что в настоящее время фактические данные не могут в полной мере объяснить различия в состоянии здоровья между разными социально-экономическими слоями общества. Влияние социально-экономических факторов носит опосредованный характер, действуя на отдельные популяционные группы через другие факторы [8]. Так, более высокая смертность среди мужчин, принадлежащих к социально и экономически неблагополучным группам населения, наблюдается

на фоне более высокой распространённости среди них курения, злоупотребления алкоголем, тяжёлой физической работы [9].

В ряде публикаций была продемонстрирована тесная взаимосвязь между смертностью, экономическими факторами и факторами социального стресса. К последним относят: плохое жильё; отсутствие определённого места жительства; неуверенность в сохранении места работы; наличие вредной, опасной или связанной с постоянным стрессом и депривацией работы; дискриминацию; отсутствие перспектив служебного роста; необходимость прилагать все усилия, для того чтобы прокормить семью и вырастить детей в трудных условиях; исключение из жизни общества; неадекватное пенсионное обеспечение [3, 4]. В США относительный риск смерти от всех причин среди лиц с низким уровнем социальной поддержки составляет 1.34 и приводит к дополнительным 150 тыс. смертей ежегодно [10]. В то же время социальная поддержка и социальная интеграция оказывают протективную роль. При обследовании 32624 мужчин было выявлено, что наибольший риск смертности от сердечно-сосудистой патологии (1.90) наблюдается среди лиц с самым низким уровнем социальной поддержки [11]. Социальную поддержку при этом определяют как заботу о членах семьи, друзьях, знакомых, эмоциональный, двусторонний, активный межличностный обмен информацией, наличие развитых социальных связей, участие в групповых мероприятиях (семейных встречах, групповых играх, религиозном общении и т.д.), материальную поддержку членов сообщества.

В последние годы активно изучаются вопросы влияния периодов экономической турбулентности на состояние здоровья и показатели смертности. Серия экономических кризисов в США и странах Европы привела к дефициту государственного бюджета, значительному экономическому спаду, высокому уровню безработицы, и всё это в совокупности способствовало увеличению числа бездомных, росту алкоголизма и токсикомании, учащению случаев насилия в семье и самоубийств, ограничению доступа к медицинской помощи [12]. Однако в целом в промышленно развитых странах критические процессы в экономике оказывают незначительное воздействие на продолжительность жизни. Тяжесть их последствий возрастает, если падение экономических показателей сочетается с глубокими социальными и политическими изменениями [13].

Одно из крупнейших международных исследований, включавшее лиц, проживающих в США и 11 странах Западной Европы, выявило значительные различия в продолжительности жизни и уровне смертности между людьми с низким и высоким уровнем образования [14]. В США относи-

тельный риск смерти среди лиц, принадлежащих к первой категории, в возрасте 25–64 лет в 1.8 раза превышает соответствующий показатель у лиц, относящихся ко второй категории, а в возрасте старше 65 лет это превышение составляет 1.3 раза [15]. Однако, так же как и в случае других социально-экономических факторов, уровень образования влияет на здоровье и показатели смертности опосредованно — через принадлежность к той или иной социально-экономической группе и образ жизни, который типичен для этой группы. Люди с низким уровнем образования чаще имеют низкий достаток, у них чаще нет медицинской страховки, постоянного места работы, они плохо осведомлены о факторах риска, симптомах болезней, возможностях получения медицинской помощи и т.д. [16, 17].

Окружающая среда. Изучение влияния загрязнения воды, почвы и воздуха на здоровье человека является сложной задачей, требующей анализа очень большого объёма фактических данных и научных работ, в которых рассматриваются вопросы воздействия загрязняющих веществ на организм. Согласно результатам метаанализа 30 исследований, нацеленных на выявление зависимости смертности и состояния здоровья от изменений климата (потепления), последние сопровождаются изменением адаптационных механизмов и социальных условий жизни (конструкции жилья, системы охлаждения и т.д.) [18]. Поскольку весь комплекс изменений очень сложно интегрировать в статистических моделях, точная и дифференцированная оценка влияния изменений окружающей среды на здоровье и разработка рекомендаций по преодолению негативных последствий таких изменений оказываются весьма проблематичными.

По данным Института измерений и оценки здоровья (Institute for Health Metrics and Evaluation — IHME), из числа факторов окружающей среды наибольшее влияние на уровень смертности оказывают в настоящее время загрязнение воздуха, факторы, связанные с профессией (работа с асбестом, мышьяком, бериллом, кадмием, трихлорэтиленом, свинцом, радоном и т.д.), наличие и обеспеченность чистой питьевой водой. При этом доля смертей, связанных с неблагоприятными факторами окружающей среды, от общего числа умерших составляет, по расчётам IHME, 14.9%. Ряд исследований указывает на комплексное воздействие на смертность таких факторов, как погода/загрязнение воздуха [19–21]¹.

Большинство исследований свидетельствует о значительном росте смертности в периоды экстремальной жары или холода (волны жары и волны холода) в ряде регионов планеты. Понятия “жара” и “холод” определяются на основании

¹ Подробнее см.: <http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/heatmap>

среднесуточных температур не только для каждой климатической зоны, но и для отдельных городов, особенно мегаполисов. В северных регионах России, по сведениям, представленным Б.А. Ревичем и Д.А. Шапошниковым, волны холода сильнее влияют на уровень смертности населения, чем волны жары, а длинные волны холода дают более чувствительный эффект, чем короткие волны холода, хотя длинные волны жары, наоборот, вызывают меньшее изменение смертности по сравнению с короткими [20].

Действие климатических и погодных факторов усиливается при наличии неблагоприятных экономических условий. Центр по контролю и профилактике заболеваний США отмечает, что риск дополнительных смертей, связанных с погодой (в том числе волн жары, холода, наводнений и ураганов), в 2–7 раз выше в районах с низким уровнем дохода по сравнению с районами с высоким уровнем доходов [22]. При этом в большинстве случаев фиксируется рост смертности в популяции, но конкретной причиной смертей становится не переохлаждение или тепловой удар, а другие патологические состояния, например, обострение хронических заболеваний. Такая идентификация причин смерти связана, с одной стороны, с критическим обострением хронических заболеваний в условиях неблагоприятного погодного фона, а с другой — с отсутствием надёжных критериев регистрации экстремальных погодных условий в качестве причин смерти [21].

Генетические факторы. В настоящее время доказана роль генетических факторов в развитии ряда заболеваний, ведущих к значительному сокращению продолжительности жизни (гемофилия, наследственная гиперхолестеринемия, серповидно-клеточная анемия и т.д.). Однако распространённость таких заболеваний в популяции достаточно низкая, и нет убедительных данных, свидетельствующих о том, что они влияют на показатели смертности в стране или регионе. Также, несмотря на то, что в мире постоянно описывают и изучают географические районы или отдельные этнические группы с более высокой долей населения в возрасте старше 90 лет [23, 24], нет весомых аргументов в пользу наличия зависимости между увеличением продолжительности жизни и теми или иными генетическими особенностями. Согласно данным ещё одного метаанализа, одной из причин отсутствия надёжных доказательств влияния генетических факторов на продолжительность жизни является то, что на фоне значительной вариабельности многие гены на индивидуальном уровне дают очень слабые эффекты. Результаты анализа пяти исследований долгожителей из США, Европы и Японии смогли лишь подтвердить гипотезу, в соответствии с которой генетическое влияние на продолжительность жизни возрастает в пожилом возрасте, но

не является причиной вариабельности смертности в разных странах и регионах мира [25].

Также сегодня не получено доказательств существования такого феномена, как преждевременное старение. Имеются лишь научные гипотезы и результаты исследований, косвенно указывающие на возможность его существования. Предполагается, что в основе данного феномена может лежать комплекс неблагоприятных социально-экономических обстоятельств, особенно тех, которые проявляются на раннем этапе жизни человека — в детстве. Недавно были представлены результаты 20-летнего исследования процессов старения, в котором принимали участие 954 человека, — “Dunedin study birth cohort”. К моменту завершения исследования участники одного и того же хронологического возраста (38 лет) значительно отличались по своему биологическому возрасту, оцениваемому с помощью разработанной для данного исследования методики. Уже к середине жизни выделилась часть обследуемых, которые старели быстрее, чем их сверстники, имели худшие физические показатели здоровья, демонстрировали снижение когнитивных функций и признаки старения мозга, выглядели старше. Учёные допускают возможность влияния “социального градиента здоровья” (у детей, рождённых в бедных семьях, по сравнению с их сверстниками, родившимися в богатых семьях, развивается феномен ускоренного старения) и делают вывод, что неблагоприятные условия жизни могут стимулировать старение ещё до развития хронических заболеваний [26].

Нездоровый образ жизни и другие поведенческие факторы риска. К наиболее уязвимым группам в плане риска развития жизнеугрожающих состояний и преждевременной смерти относятся лица без определённого места жительства и работы, дети-сироты, мигранты, лица с поведенческими факторами риска (алкоголизм, наркомания, экстремальное, жизнеугрожающее для себя и других поведение — опасные виды досуга, туризма), лица с биологическими поведенческими особенностями, увеличивающими риск развития хронических неинфекционных заболеваний и преждевременной смерти.

Большинство поведенческих факторов риска коррелирует с низким доходом, низким уровнем образования, отсутствием постоянной работы и дома. Чем выше в обществе удельный вес людей, принадлежащих к группам риска, тем хуже показатели общественного здоровья и выше вероятность преждевременной смерти. Следует отметить, что в связи с отсутствием возможности точно оценить вклад каждого фактора риска (и даже группы факторов) многие существующие на сегодня представления, основанные на экспертных мнениях и теоретических выводах, возможно, яв-

ляются не более чем мифами. Так, последнее глобальное исследование DALY² показало, что в настоящее время насчитывается 67 факторов, способствующих преждевременной смерти и/или потере здоровья [27]. В их числе артериальная гипертензия, табакокурение, низкий уровень потребления фруктов и овощей, злоупотребление алкоголем, повышенный индекс массы тела и уровень глюкозы и холестерина, низкий уровень физической активности, высокий уровень потребления соли, загрязнение окружающего воздуха в результате использования твёрдого топлива, низкий уровень потребления продуктов с содержанием цельных зёрен, орехов, клетчатки, морепродуктов с высоким содержанием омега-3 жирных кислот, высокий уровень потребления мяса, употребление наркотиков, профессиональный риск травм и болей в спине, недоедание в детском возрасте, неправильное грудное вскармливание, дефицит железа, сексуальное насилие. В исследовании указывается, что для анализа были использованы данные, собранные в ходе выборочных опросов населения некоторых стран. Однако для оценки вклада факторов риска использовался не 95%-ный доверительный интервал, а 95%-ный интервал неопределённости. То есть, по сути, в отчёте с помощью оценочных суждений измерялись параметры, относительно которых понятие “истинная величина” не имеет содержательного смысла. Интервал неопределённости лишь задаёт диапазон значений, соответствующий разбросу оценок, которые, по мнению экспертов, могут быть получены по результатам опроса других независимых специалистов.

Вместе с тем, согласно другим данным, нездоровый образ жизни и факторы риска, существенно влияя на риск смерти отдельного человека, оказывают относительно небольшое влияние на продолжительность жизни населения в целом [28]. Человек, который курит, имеет избыточный вес и ведёт неактивный образ жизни, может потерять 7–8 и более лет жизни. Если же около четверти населения — курильщики, и каждый курильщик бросит эту вредную привычку, то общая продолжительность жизни населения увеличится на 1.5 года. Если люди, страдающие от избыточного веса и ожирения, возвращаются к нормальному весу, их ожидаемая продолжительность жизни, по расчётам, увеличивается примерно на 1.5 года. Принимая во внимание, что избыточный вес регистрируется более чем у половины британцев и американцев, а ожирение — у каждого пятого жителя этих стран, их возвращение к нормальному весу могло бы обеспечить увеличение

общей продолжительности жизни населения примерно на 0.5 года [там же].

Негативное влияние употребления алкоголя на уровень смертности фиксируется во всех странах. Одновременно многие отечественные и зарубежные специалисты обращают внимание на неадекватный учёт смертности от этой причины: поскольку чёткие критерии дифференциальной диагностики отсутствуют, значительное число случаев смерти на фоне алкогольных висцеропатий входит в структуру смертности от заболеваний внутренних органов [29–31]. Кроме того, смерть, наступающая вследствие злоупотребления алкоголем, ассоциируется с чем-то постыдным, поэтому в графу “Отравление алкоголем” обычно попадают лишь единичные случаи (например, люди без определённого места жительства и неопознанные трупы), а остальная часть смертей от алкогольных отравлений маскируется другими причинами, в том числе сердечно-сосудистыми заболеваниями. Поэтому официальная статистика случаев смерти, связанных с употреблением алкоголя, может существенно занижаться, причём происходит это как в России, так и в ряде других стран. Например, в Германии отмечается недооценка распространённости злоупотребления алкоголем и несоответствующая этому уровню выдача больничных листов и свидетельств смерти, в которых в графе “причина” указываются чрезмерное употребление алкоголя и вызванные им последствия. Это объясняется нежеланием врачей стигматизировать пациентов (пациенты с подобным диагнозом обычно рассматриваются как “опасные”, виновные в имеющихся у них болезнях, не соблюдающие рекомендации и “недостойные” лучшего лечения), поэтому зачастую при постановке диагноза ограничиваются только “очевидными” случаями [31].

Ряд исследований показывает, что на величину алкогольной смертности влияет количество потребляемого алкоголя и появление соматических и психических осложнений. По данным метаанализа, в котором обобщены результаты девяти когортных исследований, включающих 62 950 участников [32], риск смерти при низком уровне потребления алкоголя (≤ 30 г чистого алкоголя в день) в течение долгого времени у мужчин аналогичен риску смерти среди трезвенников. Однако при потреблении алкоголя >30 – 59 г в день относительный риск смерти увеличивается, составляя 1.19, а для тех, кто употребляет ≥ 60 г в день, он уже достигает 1.52. В другом метаанализе при обобщении результатов 80 обсервационных исследований (с совокупным числом обследованных 853 722 человек) выявлено, что среди мужчин, имеющих соматическую и/или психическую патологию, связанную с употреблением алкоголя, относительный риск смерти составил 3.38, среди женщин — 4.57 (по сравнению с теми, кто не имел таких расстройств). Риск смерти заметно выше среди лиц в возрасте ≤ 40 лет (в 9 раз у

² DALY (disability adjusted life year) — обобщающий показатель здоровья населения, который включает годы жизни, потерянные в результате преждевременной смерти, и годы жизни, прожитые с инвалидностью (психическим и/или физическим страданием, обусловленным болезнью).

мужчин, в 13 раз у женщин) [33]. Следует отметить, что согласно информации, представленной на сайте International Center for Alcohol Policies (<http://www.icap.org/PolicyIssues/DrinkingGuidelines/StandardDrinks/tabid/126/Default.aspx>), в разных исследованиях понятие “1 drink”, используемое для расчёта количества потребляемого алкоголя, определяют по-разному, и количественно оно может обозначать от 6 до 28 г алкоголя. Естественно, этот факт весьма затрудняет сопоставление результатов.

В докладе ВОЗ “Равенство, социальные детерминанты и программы общественного здоровья” (“Equity, social determinants and public health programmes”) [34], авторы которого анализировали ряд международных исследований, отмечается отсутствие прямой связи между смертностью и употреблением алкоголя. Вредное воздействие алкоголя зависит не только от его качества и потребляемого количества, но и от той социальной среды, в которой алкоголь потребляется, и степени маргинализации его потребителей [3, 4, 33]. Как свидетельствуют некоторые исследования, наибольшее негативное влияние оказывает сочетание потребления алкоголя и дополнительных “вмешивающихся” факторов — экономических и политических кризисов, низкого социально-экономического статуса, пищевых и поведенческих привычек, доступности (географическая, финансовая) и качества медицинской помощи, наличия барьеров при её получении, обусловленных алкогольной стигматизацией. Высокий социально-экономический статус и семейное положение, напротив, имеют выраженный протективный эффект.

Факторы, связанные с оказанием медицинской помощи. Несмотря на одинаковую распространённость в Европе факторов риска на индивидуальном уровне, в странах Западной Европы, особенно среди мужчин, фиксируется значительно более высокая продолжительность жизни по сравнению со странами Восточной Европы. Учёные связывают этот факт с наличием лучше организованной и более эффективной системы здравоохранения и успешной политикой в области охраны здоровья (меры по борьбе с курением, дорожно-транспортными авариями и т.д.), которые характерны для западноевропейских государств [35].

Не требует доказательств то, что спасение жизни при жизнеугрожающих ситуациях почти полностью зависит от организации медицинской помощи, уровня развития медицинских технологий, квалификации медицинских работников. Вместе с тем оценить воздействие системы здравоохранения на показатели смертности очень сложно. Согласно докладу ВОЗ о состоянии систем здравоохранения в мире [3], вклад медицины в показатели смертности мало предсказуем: внедряемые программы по борьбе с болезнями и снижению смертности часто оказываются недо-

статочно эффективными. Программы борются между собой за скудные ресурсы, а структурные проблемы систем здравоохранения (финансирование, оплата труда и людские ресурсы) при этом практически не решаются, и люди, которые имеют несчастье не подходить ни под один из текущих программных приоритетов, остаются без внимания.

Огромное число публикаций в медицинских журналах свидетельствует о снижении смертности в группах пациентов с определёнными заболеваниями в результате внедрения новых медицинских технологий. Но одновременно некоторые из них вызывают феномен так называемой отсроченной смертности. Так, хотя новорождённых с тяжёлыми врождёнными пороками развития, наследственными заболеваниями, родовыми травмами удаётся спасти благодаря новейшим методам лечения, продолжительность их жизни оказывается меньше, чем у здоровых новорождённых.

Ещё один негативный эффект современных технологических возможностей в области медицины — то, что эксперты называют “парадоксом внедрения новых медицинских технологий”. Например, показано, что этим фактором (в числе прочих) обусловлены различия в смертности и продолжительности жизни в Великобритании и США (не в пользу последних): в США до 7.5 млн. вмешательств выполняется без достаточных на то оснований, тогда как любая операция может приводить к развитию осложнения и смерти [28].

Определённый вклад вносят и медицинские ошибки: согласно результатам анализа Вашингтонского института медицины, в конце XX в. врачебными ошибками можно было объяснить от 44 до 98 тыс. смертей ежегодно, а согласно последним оценкам, число предотвращённых смертей, связанных с нанесением вреда пациенту медицинским вмешательством в госпиталях США, достигает 200—400 тыс. Косвенно на существование аналогичных взаимосвязей указывают результаты обзора семи исследований, проводившихся в США, Испании, Израиле и посвящённых влиянию забастовок врачей на уровень смертности [36]. Во всех исследованиях отмечалось, что смертность за период забастовок либо не изменялась, либо снижалась, ни в одном случае не было выявлено роста смертности. Парадоксальные данные в статье [36] объясняются тем, что, во-первых, во время забастовок больницы зачастую концентрируют и усиливают службы неотложной помощи, а во-вторых, ни одна из попавших в фокус рассмотрения забастовок не продолжалась настолько долго, чтобы можно было оценить последствия долгосрочного ограничения доступа к медицинской помощи. В качестве третьей причины называют фактор невыполнения во время забастовок плановых операций, в том числе тех, которые назначаются без достаточных оснований.

Таким образом, тесное переплетение позитивных и негативных эффектов в процессе организации и обеспечения медицинской помощи затрудняет оценку воздействия медицинских факторов и выделение вклада отдельных медицинских вмешательств и технологий на популяционное здоровье и смертность населения. Кроме того, необходимо учитывать, что результаты одних и тех же мероприятий, реализуемых в рамках системы здравоохранения, будут различаться в разных группах населения, а также в зависимости от системы организации и финансирования медицинской помощи, готовности пациентов или лиц с риском развития того или иного заболевания к сотрудничеству, степени выполнения врачебных рекомендаций. Исследования не выявили убедительных популяционных данных, на основании которых можно было бы дать прямую оценку вклада медицинской помощи в увеличение общей продолжительности жизни. Данные, положенные в основу существующих оценок, являются неполными, что делает сами оценки приблизительными. Тем не менее можно предположить, что медицина оказывает гораздо большее влияние на предотвращение ухудшения качества жизни, обусловленное развитием хронических болезней (облегчение боли, дискомфорта, инвалидизирующих соматических осложнений и психотравм), чем на снижение смертности.

Проблема оценки вклада отдельных факторов и групп факторов, влияющих на смертность. Большинство исследований по оценке факторов, оказывающих влияние на динамику показателей смертности в популяции, носит характер теоретических и аналитических исследований, особо стоит отметить экологические исследования. Последние основаны на выявлении корреляционных связей и не дают основания для утверждения о наличии причинно-следственной зависимости. Некоторые отечественные специалисты связывают более высокие показатели смертности в России по сравнению с экономически развитыми европейскими странами, США, Канадой, Японией с такими трудноформализуемыми (и, следовательно, недоказуемыми с помощью статистики) показателями, как недостаточная модернизация социальных, политических и экономических институтов, неизжитые архаизмы в массовом сознании и поведении, наличие серьёзных кризисных процессов в обществе. Есть исследования, оценивающие комбинированные, разработанные на основании экспертных мнений показатели, например, индекс глобального миролюбия (Global peace index). Этот индекс, предложенный социологами и экономистами Института мира совместно с Сиднейским университетом, учитывает как внутренние факторы, например, уровень насилия в стране и преступность, так и внешние — положение страны в системе международных отношений, расходы на военные нужды и другие параметры. В 2015 г. были опубликованы результаты

анализа взаимосвязи между продолжительностью жизни и индексом глобального миролюбия [37]. В исследование были включены данные о продолжительности жизни в 158 странах за период с 2007 по 2012 г. Учёные обнаружили, что глобальный индекс миролюбия имеет статистически значимую отрицательную взаимосвязь с продолжительностью жизни, которая сохраняется после учёта таких факторов, как индекс образования и валовый национальный доход. Согласно регрессионной модели 61% различий в продолжительности жизни между странами может быть объяснён тремя названными факторами, что, по мнению авторов, свидетельствует о необходимости направлять как можно больше усилий на разрешение конфликтов мирным путём, расширение контактов и взаимодействия между государствами.

Несмотря на многочисленные исследования по проблеме комплексной оценки факторов, влияющих на показатели смертности, доказать вклад каждого из них с помощью методов статистики на уровне популяции очень сложно. Результат (показатели смертности) зависит от баланса и взаимодействия всех рассмотренных выше факторов, которые часто оказывают противоположное воздействие на продолжительность жизни. Например, распространённость факторов риска, выявленное в Российском исследовании “Эссе” (низкий уровень потребления овощей и фруктов 43% участников и чрезмерное употребление алкоголя — 6.4%) почти в 2.5 раза ниже, чем в аналогичном исследовании, проведённом в Германии (German Health Interview and Examination Survey for Adults, высокий уровень потребления алкоголя отмечен у 17.9% опрошенных, а низкий уровень потребления овощей — у 90%). Однако смертность от всех причин и, в частности, от сердечно-сосудистых заболеваний в Германии, по данным ВОЗ (<http://www.euro.who.int/ru/data-and-evidence/database>), составила 195 человек на 100 тыс. по сравнению с 512, фиксируемыми для нашей страны. Таким образом, не исключая влияния использования несколько различающихся критериев и возрастных различий выборки, можно заключить, что распространённость факторов риска в Германии нивелируется, вероятно, более высоким уровнем экономического развития, в том числе превосходящим российское качеством медицинской помощи.

Вместе с тем многие исследователи указывают, что даже в экономически благополучных странах нарастают различия в доступности к профилактическим мероприятиям и медицинской помощи для пациентов из разных социально-экономических слоёв общества, что приводит к значительной дифференциации состояния здоровья и уровня смертности. Предпринимаемые в рамках системы здравоохранения меры, считают эксперты, эффективны только в комплексе с социально-экономическими изменениями в обще-

стве. Недавно в журнале “Circulation” было представлено согласованное мнение специалистов, которые делают вывод: «Несмотря на снижение смертности от сердечно-сосудистых болезней в течение последних нескольких десятилетий, они остаются ведущей причиной смерти в США. Заболеваемость и смертность от сердечно-сосудистых болезней существенно выше в “неблагополучных” (в социально-экономическом отношении) группах населения. Проведённый нами анализ свидетельствует о значительном влиянии социальных факторов на заболеваемость, доступность и результаты лечения сердечно-сосудистых болезней. Традиционно считается, что факторами риска развития и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний являются поведенческие, биологические, психологические, генетические факторы, однако мы утверждаем, что особое внимание должно быть обращено на социальные детерминанты здоровья. Неспособность учитывать значимость этого фактора приведёт к росту бремени сердечно-сосудистых заболеваний, особенно среди “неблагополучных” групп населения» [38, р. 888]. Об этом же говорится в статье онкологов из США: “Из-за высоких затрат на сооплату лечения от 10 до 20% онкологических пациентов не получают необходимого лечения или идут на компромисс, принимая препараты реже, чем это требуется в соответствии со схемами лечения, что ухудшает выживаемость” [39, р. 997].

В подавляющем большинстве работ оценивается ограниченное число факторов. Причина в том, что при проведении статистического анализа и построении статистических моделей с оценкой роли каждого фактора возможно учитывать лишь весьма ограниченное их число. При этом степень влияния факторов относится только к изучаемой выборке и в другой выборке может существенно образом отличаться. Проблемой является также то, что для оценки влияния отдельных (например, поведенческих) факторов на показатели смертности/продолжительности жизни необходимы исследования, проводящиеся в течение длительного времени. Однако и здесь возникают трудности, поскольку в рамках пролонгированного периода может отмечаться отрицательное влияние других, неучтённых факторов (экономические кризисы, загрязнение окружающей среды и т.д.), и при оценке результатов будет сложно различить эффекты оцениваемых и вмешивающихся факторов, влияющих на смертность.

* * *

Анализ данных разнообразных исследований, касающихся условий формирования уровня смертности, свидетельствует, что взаимосвязь, с одной стороны, показателей смертности и, с другой — социально-экономических условий, ресурсного обеспечения системы здравоохранения, поведенческих, генетических и прочих факторов

на уровне линейных зависимостей, положенных в основу большинства статистических методов анализа, часто оказывается слабой или вообще отсутствует. Поскольку для анализа выбираются различные влияющие на смертность и продолжительность жизни факторы, используются различные методологические подходы к организации исследований, количественный вклад в соответствующие показатели каждого из изучаемых факторов остаётся до сих пор неизвестным. Кроме того, многие факторы не только взаимосвязаны, но и влияют одновременно на здоровье, развитие заболеваний и смертность — состояния далеко не идентичные, внося разный вклад в их динамику. Вместе с тем, учитывая многофакторную обусловленность показателей смертности, необходимо признать ведущую роль социально-экономических условий, от которых во многом зависит влияние в отдельности и действующей системы здравоохранения, и окружающей среды, и поведенческих привычек. Поэтому, вопреки широко цитируемому утверждению о том, что “состояние здоровья зависит на 50% от образа жизни, на 20% от среды обитания, на 20% от наследственности и на 10% от качества медико-санитарной помощи” [40, с. 11; см. также 41, раздел 2.1.5.1; 42, с. 3], вклад каждого из факторов ещё только предстоит определить. Что касается приведённого утверждения, то, поскольку подкрепляющего его исследования найти так и не удалось, а также учитывая всё вышесказанное, его можно рассматривать в качестве не более чем экспертного мнения, ставшего общественным мифом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишневский А.Г., Андреев Е.М., Трейвиш А.И. Перспективы развития России: роль демографического фактора // Научные труды Института экономики переходного периода № 53Р. М.: ИЭПП, 2003.
2. Бойцов С.А., Самородская И.В. Половозрастные коэффициенты смертности и потерянные в результате преждевременной смертности годы жизни в РФ // Менеджер здравоохранения. 2014. № 5. С. 26–35.
3. Final Report of the Commission on Social Determinants of Health. World Health Organization, 2008. URL: http://www.who.int/social_determinants/the-commission/finalreport/en/index.html (дата обращения 18.12.2015).
4. Обзор социальных детерминант и разрыва по показателям здоровья в Европейском регионе. ВОЗ. Заключительный доклад. 2014 г. URL: <http://www.euro.who.int/ru/health-topics/health-policy/health-2020-the-european-policy-for-health-and-well-being/publications/2013/review-of-social-determinants-and-the-health-divide-in-the-who-european-region.-final-report> (дата обращения 10.04.2016).
5. Крутько В.Н., Смирнова Т.М. Анализ динамики и причин смертности россиян в конце 20-го века // Общественное здоровье и профилактика заболеваний. 2005. № 3. С. 24–28.
6. Стародубов В.И., Ступаков И.Н., Самородская И.В. Факторы, влияющие на показатели и оценку со-

- стояния общественного здоровья и здравоохранения // Менеджер здравоохранения. 2005. № 11–12. С. 37–46.
7. *Biggs B., King L., Basu S., Stuckler D.* Is wealthier always healthier? The impact of national income level, inequality, and poverty on public health in Latin America // *Soc. Sci. Med.* 2010. V. 71. P. 266–273.
 8. *Apouey B.H.* Health policies and the relationships between socioeconomic status, access to health care, and health // *Isr. J. Health. Policy Res.* 2013. V. 2. P. 50.
 9. *Suadicania P., Heina H.O., Gyntelberga F.* Socioeconomic status and ischaemic heart disease mortality in middle-aged men: importance of the duration of follow-up. The Copenhagen Male Study // *International Journal of Epidemiology*. 2001. V. 30. P. 248–255.
 10. *Galea S., Tracy M., Hoggatt K.J. et al.* Estimated Deaths Attributable to Social Factors in the United States // *American Journal of Public Health*. 2011. V. 101. P. 1456–1465.
 11. *Kawachi I., Colditz G.A., Ascherio A. et al.* Willett WCA prospective study of social networks in relation to total mortality and cardiovascular disease in men in the USA // *J. Epidemiol. Community Health*. 1996. V. 50. P. 245–251.
 12. *Phua K.-L., Hue J.-W.* The Impact of Prolonged Economic Downturns and Economic Crises on the Nursing // *Profession. Nurs. Econ.* 2015. V. 33. P. 227–232.
 13. *Bohk C., Rau R.* Impact of Economic Conditions and Crises on Mortality and its Predictability // *Kolner. Z. Soz. Sozpsychol.* 2015. V. 67(Suppl. 1). P. 71–294.
 14. *Mackenbach J.P., Cavelaars A.E., Kunst A.E., Groenhof F.* Socioeconomic inequalities in cardiovascular disease mortality: an international study // *Eur. Heart. J.* 2000. V. 21. P. 1141–1151.
 15. *Jemal A., Ward E., Anderson R.N. et al.* Widening of socioeconomic inequalities in U.S. death rates, 1993–2001 // *PLoS One*. 2008. V. 3(5):e2181.
 16. *Ross C.E., Masters R.K., Hummer R.A.* Education and the Gender Gaps in Health and Mortality // *Demography*. 2012. V. 49. P. 1157–1183.
 17. *Shkolnikov V.M., Andreev E.M., Jasilionis D. et al.* The changing relation between education and life expectancy in Central and Eastern Europe in the 1990s // *J. Epidemiol. Community Health*. 2006. V. 60. P. 875–881.
 18. *Boeckmann M., Rohn I.* Is planned adaptation to heat reducing heat-related mortality and illness? A systematic review // *BMC Public Health*. 2014. V. 14. P. 1112.
 19. *Revich B.A., Shaposhnikov D.A.* The Effects of Particulate and Ozone Pollution on Mortality in Moscow // *Air Qual Atmos Health*. 2010. V. 3. P. 117–123.
 20. *Ревич Б.А., Шапошников Д.А.* Изменения климата, волны жары и холода как факторы риска повышенной смертности населения в некоторых регионах России // *Проблемы прогнозирования*. 2012. № 2. С. 122–139.
 21. *Herbst J., Mason K., Byard R.W. et al.* Heat-related deaths in Adelaide, South Australia: review of the literature and case findings – an Australian perspective // *J. Forensic. Leg. Med.* 2014. V. 22. P. 73–78.
 22. *Bobb J.F., Peng R.D., Bell M.L., Dominici F.* Heat-related mortality and adaptation to heat in the United States // *Environ. Health Perspect.* 2014. V. 122. P. 811–816.
 23. *Малыгина Н.А.* О генетических аспектах старения, возрастной патологии и долголетия // *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2011. № 6. С. 71–75.
 24. *Capri M., Santoro A., Garagnani P. et al.* Genes of human longevity: an endless quest? // *Curr. Vasc. Pharmacol.* 2014. V. 12. P. 707–717.
 25. *Sebastiani P., Perls T.T.* The Genetics of Extreme Longevity: Lessons from the New England Centenarian // *Study. Front. Genet.* 2012. V. 3. P. 277.
 26. *Belsky D.W., Caspi A., Houts R. et al.* Quantification of biological aging in young adults // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2015. V. 112. E4104–10.
 27. *Members of the US Burden of Disease Collaborators.* The State of US Health, 1990–2010 Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors // *JAMA*. 2013. V. 310. P. 591–608.
 28. *Bunker J.P.* The role of medical care in contributing to health improvements within societies // *Int. J. Epidemiol.* 2001. V. 30. P. 1260–1263.
 29. *Немцов А.В., Терехин А.Т.* Связанная с алкоголем сердечно-сосудистая смертность в России // *Профилактическая медицина*. 2008. № 2. С. 23–31.
 30. *Zaridze D., Lewington S., Boroda A. et al.* Alcohol and mortality in Russia: prospective observational study of 151,000 adults // *Lancet*. 2014. V. 383. P. 1465–1473.
 31. *Wedegaertner F., Geyer S., Arnhold-Kerri S. et al.* Alcohol use disorder-related sick leave and mortality: a cohort study // *Addict. Sci. Clin. Pract.* 2013. V. 30. P. 1–9.
 32. *Jayasekara H., English D.R., Room R., MacInnis R.J.* Alcohol consumption over time and risk of death: a systematic review and meta-analysis // *Am. J. Epidemiol.* 2014. V. 179. P. 1049–1059.
 33. *Roerecke M., Rehm J.* Alcohol use disorders and mortality: a systematic review and meta-analysis // *Addiction*. 2013. V. 108. P. 1562–1578.
 34. *Equity, social determinants and public health programmes* / Ed. by E. Blas and A. Sivasankara Kurup. Geneva: World Health Organization, 2010. URL: <http://apps.who.int/iris/handle/10665/44289#sthash.oMdAuYgM.dpuf> (дата обращения 24.04.2016).
 35. *Mackenbach J.P., Karanikolos M., McKee M.* The unequal health of Europeans: successes and failures of policies // *Lancet*. 2013. V. 381. P. 1125–1134.
 36. *Cunningham S.A., Mitchell K., Narayan K.M., Yusuf S.* Doctors' strikes and mortality: a review // *Soc. Sci. Med.* 2008. V. 67. P. 1784–1788.
 37. *Yazdi Feyzabadi V., Haghdooost A., Mehroolhassani M.H., Aminian Z.* The Association between Peace and Life Expectancy: An Empirical Study of the World Countries // *Iran J. Public Health*. 2015. V. 44. P. 341–351.
 38. *Havranek E.P., Mujahid M.S., Barr D.A. et al.* Social Determinants of Risk and Outcomes for Cardiovascular Disease. A Scientific Statement From the American Heart Association // *Circulation*. 2015. V. 132. P. 873–898.
 39. *In Support of a Patient-Driven Initiative and Petition to Lower the High Price of Cancer Drugs* // *Mayo Clin. Proc.* 2015. V. 90. P. 996–1000.
 40. *Медик В.А., Юрьев В.К.* Общественное здоровье и здравоохранение: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Проффессионал, 2012.
 41. *Лисицын Ю.П.* Общественное здоровье и здравоохранение: учебник. 2-е изд. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010.
 42. *Онищенко Г.Г.* Городская среда и здоровье человека // *Гигиена и санитария*. 2007. № 5. С. 3–4.

РОССИЯ–ИНДИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕКРЁСТНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ

© 2016 г. А.Г. Володин

Институт мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН, Москва, Россия

e-mail: andreivolodine@gmail.com

Поступила в редакцию 14.04.2016 г.

Автор обращается к проблеме перекрёстных инвестиций как несущей конструкции российско-индийских отношений. Взаимные инвестиции рассматриваются в качестве стратегического (долгосрочного) фактора, активизирующего воздействие на все подсистемы двусторонних отношений, в том числе внешнеэкономические связи, координацию внешнеполитических курсов, культурную дипломатию и т.д. Особое внимание уделяется роли крупных совместных транспортных проектов, которые позволяют интенсифицировать встречные инвестиционные потоки и расширить географию внешнеэкономических связей. Выявлены скрытые резервы российско-индийских торгово-экономических и научно-технических (коммерциализация интеллектуальной деятельности) обменов. В качестве главного мультипликатора двусторонних внешнеэкономических связей рассматриваются российско-индийские инвестиционные отношения в формате регион–регион. Акцентируется пассионарная функция восточных регионов России в стимулировании российско-индийских кооперационных связей, предлагается предварительная оценка инвестиционного потенциала российских регионов, включая Севастополь и Крым. Политическая история обеих стран трактуется как необходимый элемент сопряжения перекрёстных инвестиций и совместной реализации Россией и Индией “повестки развития”.

Ключевые слова: Россия, Индия, перекрёстные инвестиции, инвестиционный потенциал России и Индии, синергетический эффект, российские регионы, крупные индийские компании-инвесторы, Тюменская область, Челябинская область, “повестка развития”, коммерциализация интеллектуальной деятельности, Севастополь, Крым, формат отношений регион–регион.

DOI: 10.7868/S0869587316120136

Премьер-министр Индии в 2004–2014 гг. Манмохан Сингх неоднократно подчёркивал: экономика — это главная политика и геополитика. Слова видного экономиста-практика точно отражают тенденции, характеризующие поведение мировой системы в целом и межгосударственных отношений в частности. Объём и качество внешнеэкономических связей сегодня опре-

деляют в том числе уровень отношений между государствами, делают их стратегически значимыми. Отношения России и Индии всецело подчинены этой зависимости.

ТОЧКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СОПРЯЖЕНИЯ

России стоило немалых усилий восстановить пережившие глубокий кризис в 1990-е годы двусторонние отношения до уровня стратегического партнёрства. В Индии хорошо помнят пренебрежительное отношение к их стране со стороны авторов “либеральных реформ”, выдвинувших не известную до той поры ни науке, ни практике концепцию “экономной внешней политики”. Начало третьего тысячелетия прошло в активных поисках новой парадигмы российско-индийских отношений. Были реанимированы связи в сфере военно-технического сотрудничества, энергетики (включая атомную), медленно, но верно начинают развиваться кооперационные связи в раз-



ВОЛОДИН Андрей Геннадьевич — доктор исторических наук, главный научный сотрудник ИМЭМО РАН.

личных отраслях промышленности. Однако обмен товарами, технологиями и услугами за пределами пространства деятельности государственных предприятий продолжает стагнировать.

Начиная с 2000 г. обе стороны предпринимали энергичные усилия с целью преодолеть застойные тенденции, апеллируя к бизнес-сообществам двух стран, однако пока общая картина внешнеэкономических связей кардинально не меняется. Уровень наших отношений с Индией значительно уступает интенсивности внешнеэкономической деятельности “крупнейшей демократии мира”, как называют Индию, на американском и китайском направлениях. Возникает традиционный вопрос: что делать?

В самом общем виде ответ ясен: нужно активно развивать кооперационные связи не только между государственными компаниями и предприятиями (они работают совместно давно и достаточно эффективно), но и между частнокорпоративными секторами двух стран. Подобное сотрудничество — единственно возможный путь преодоления застойных тенденций в российско-индийских внешнеэкономических связях. Общемировой опыт свидетельствует, что в современных условиях “уплотняющегося” мирового пространства одной из наиболее действенных форм межгосударственного экономического взаимодействия стала модель регион–регион. Но в отношениях России и Индии примеры подобной деятельности пока единичны, хотя и дают надежду на формирование работоспособной модели сотрудничества.

Среди успешных двусторонних проектов часто называют Волжский абразивный завод, который был спроектирован как крупнейшее предприятие мира своего профиля. В 1993 г. завод стал Акционерным обществом открытого типа. С 2007 г. ОАО “Волжский абразивный завод” является частью CUMI International Ltd — дочерней фирмы Carborundum Universal Ltd (CUMI), которая входит в промышленный конгломерат Murugappa Group, созданный в начале XX в. В сферу деятельности Murugappa входит производство промышленного оборудования, абразивных материалов, сантехники, удобрений и биологической продукции, а также операции на Бомбейской и Национальной фондовых биржах. Производственные мощности компании расположены в Индии, Австралии, Канаде, Китае, странах Ближнего Востока, Европе и США. В 2007 г. был создан филиал ОАО “Волжский абразивный завод” в Москве, ориентированный на внедрение и развитие международного маркетинга, что позволит предприятию не только усилить свою позицию на традиционных рынках, но и выйти на новые географические и товарные рынки. Есть примеры кооперационных связей между российским “Си-

буром” и уже давно проявляющей активность на рынке РФ группой компаний Reliance Group. Но, к сожалению, синергетического эффекта взаимодействия бизнес-сообществ двух стран пока не происходит.

Как индийская сторона объясняет фактическую стагнацию двустороннего экономического сотрудничества, несмотря на наличие многочисленных политических деклараций о необходимости активизировать прямые связи между деловыми кругами двух стран?

Во-первых, реального поворота на восток во внешнеэкономических связях России пока не наблюдается. Инерция западоцентричного мышления по-прежнему владеет умами регионального чиновничества и местных бизнес-элит, они стремятся развивать бизнес на западном направлении, даже если это не имеет под собой реальной долгосрочной перспективы.

Во-вторых, Индия и Россия не имеют общей границы, а значит, кооперационные связи двух стран неизбежно приобретают многоходовый характер, требуют коммерческого риска, выдержки и терпения. Политический кругозор и экономическая культура российского бизнеса как социального формирования, полагают в Индии, пока не позволяют запустить долгосрочные и масштабные проекты на двусторонней основе. Согласно такого рода логике, Китай, имеющий протяжённую общую границу с Россией, обладает по сравнению с Индией значительными стартовыми преимуществами.

В-третьих, российские предприятия, интересующие индийский бизнес на предмет создания совместных предприятий, после финансового кризиса 2008 г. остаются без необходимых оборотных средств. (Очень часто индийские эксперты в качестве примеров ссылаются на интересующие их предприятия в Магнитогорске и Златоусте.)

В-четвёртых, индийский частный бизнес пока не осознал возможностей таких крупных геоэкономических и геополитических проектов, как международный транспортный коридор (МТК) “Север–Юг” с участием России, Индии и Ирана, а также ряда других заинтересованных государств. Пока и в Индии, и в России не сформирована чёткая концепция отношений между институтами государства и частным бизнесом в ходе развития и эксплуатации МТК, интерес в индийском бизнес-сообществе к данному проекту будет носить лишь теоретико-познавательный характер.

В-пятых, в Индии фиксируют сознательно недоброжелательное отношение российских СМИ по отношению к продукции индийской промышленности, прежде всего фармацевтической. Среди индийских промышленников бытует мнение,

что эта целенаправленная кампания финансируется некоторыми западными фармацевтическими гигантами, пытающимися выдавить Индию с выгодного российского рынка.

Со своей стороны российские деловые круги имеют серьёзные вопросы и к индийскому бизнесу, и к национальному законодательству, регулиющему экономическую активность иностранных компаний в Индии. Так, эпизод с прекращением деятельности российской телекоммуникационной компании МТС в Индии вызвал в Москве и других городах страны неоднозначную реакцию бизнес-сообщества. Российские деловые круги относятся к контактам с индийскими коллегами в свете “истории с МТС” настороженно, ожидая жестов доброй воли и со стороны официальных индийских властей, и со стороны национального делового сообщества. Во время визита премьер-министра Н. Моди в Москву (декабрь 2015 г.) встреча бизнесменов двух стран под неофициальным патронажем руководителей России и Индии наконец состоялась. В Москве ожидают положительных сигналов от индийской стороны.

Российский бизнес, вынужденный в условиях экономического кризиса активнее искать рынки, освоение которых требует и специальных знаний, и терпения, и настойчивости, начинает прицельно интересоваться потенциальными индийскими партнёрами, а равно и перспективными формами двустороннего сотрудничества. Особую роль начинает играть точная информация об инвестиционных возможностях друг друга, предполагающая объективное знание об экономическом потенциале регионов Индии и России, о структуре производительных сил, особенностях их размещения и т.д. Надо признать: серьёзная работа по этим направлениям пока не проводилась, что связано с объективными обстоятельствами.

Во-первых, российско-индийские экономические отношения сохранили советскую инерцию развития, тогда как в 1990-е и 2000-е годы политические декларации выражали скорее идеальные намерения сторон, чем конкретные пути и алгоритмы движения в будущее.

Во-вторых, до сих пор на динамике наших взаимоотношений сказывается влияние геополитических факторов — недооценка высшей российской властью значения Индии в иерархии внешнеполитических приоритетов новой России. Подобный негативизм отражается на поведении такого важного института формирования общественного мнения, как “большая” (то есть ведущие англоязычные газеты) печать Индии: политике России отводится значительно меньше внимания, чем деятельности стран Запада, преобладает негативный информационный фон в освещении политики и экономики нашей страны, что влияет на поведение бизнес-сообщества, заставляет его действовать на российском направлении осторожно.

В-третьих, отдельные попытки российских предпринимателей (порой успешные) выхода на индийский рынок, не подкреплённые долгосрочной внешнеэкономической стратегией (экономической дипломатией) РФ на Востоке, не могут обеспечить нового качества отношений между деловыми кругами (включая кооперационные связи регион—регион), которые оказывали бы положительное влияние на двусторонние отношения в целом.

В-четвёртых, свою отрицательную роль сыграло фактическое отсутствие у российских деловых кругов опыта международной деятельности за пределами сегментов экономики, входящих в топливно-энергетический комплекс. В отличие от российских коллег, индийские предприниматели располагают опытом длительной работы на внешних рынках. При этом индийские промышленные дома первоначально активно осваивали свой внутренний рынок. Пионерами инвестиционной экспансии в начале 1960-х годов выступали крупнейшие группы частного корпоративного сектора Индии — Бирла и Тата. Позже к ним присоединились такие промышленные дома, как Тхапар, Дж.К. Сингхания, Мафатлал и Годредж [1, с. 4, 5]. Международная конкурентная среда немало способствовала модернизации производственных процессов, диверсификации продукции и её специализации, а также повышению производительности труда и улучшению качества выпускаемых товаров. Помимо названных выше финансово-промышленных групп лидерами в области зарубежных инвестиций выступают также индийские компании, как Кирлоскар, Махиндра, Т.В. Сундарам, Баджадж, Вальчанд и др. [1, с. 42].

ОСОБЕННОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ СОВРЕМЕННОЙ ИНДИИ

Индийское государство в последние 10—15 лет оказывает институциональную и политическую поддержку крупным национальным компаниям в проникновении на рынки зарубежных стран, включая промышленно развитые, видя в деятельности крупного капитала эффективное средство освоения передовых методов производства, рациональной организации промышленности, овладения передовыми методами управления предприятиями. Помимо этого, инвестиционная деятельность крупных индийских компаний за рубежом позволяет сокращать технико-технологическую дистанцию с развитым миром и экономно расходовать относительно ограниченные средства на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки в стране.

Исследователи-экономисты, порой неосознанно, критикуют государственный курс Индии как “антипредпринимательский” и “антикапита-

листический”. Однако сама логика избранного в 1947 г. пути развития оказывала стимулирующее влияние на рост наиболее крупных компаний, которые впоследствии занялись активной инвестиционной деятельностью за рубежом¹. Разумеется, свою роль в возвышении крупных промышленных домов играла их тесная связь со старейшей партией страны – Индийским национальным конгрессом ещё в период борьбы за суверенитет, то есть с конца 1920-х – начала 1930-х годов. В настоящее время сменяющие друг друга в Дели правительства принципиально не отклоняются от генеральной линии, попеременно используя идеологию типа “рост плюс развитие”, “повестка развития” и т.п.

Власти в Дели учитывают, что процессы глобализации и регионализации в мировой экономике заставляют Индию, становящуюся самостоятельным центром мировой политики, овладевать НТР-технологиями (важными в том числе для оборонно-промышленного комплекса), новыми знаниями, потребными для развития новых производств. При этом индийские инвестиции за рубежом выступают действенным инструментом получения стратегически ценной для страны информации, позволяющей вывести экономику страны на более высокий уровень равновесия.

Режим доступа иностранного капитала в Индию был либерализован уже в первые годы планирования экономики, и инвестиции начали поступать из США, Швеции, Дании, Западной Германии и Японии. При этом премьер-министр страны Дж. Неру подчёркивал, что национальные интересы на данном направлении будут в конечном счёте определять государство [2, с. 30, 31].

Индийские компании длительное время действовали на поле, хорошо защищённом государством. В настоящее время набирает ход процесс, соединяющий в себе два противоречивых начала: усиление активности крупных индийских промышленных домов на внешних рынках, с одной стороны, и сохраняющееся их стремление использовать институты государственной поддержки в далекой не всегда благоприятной “иноземной” среде – с другой. Заимствование передового зарубежного опыта никак не отменяет необходимости активизировать собственные НИОКР, в том числе для повышения научно-технической эффективности оборонных отраслей индийской промышленности. Инвестиционный прорыв на рынки промышленно развитых стран невозможен без международного признания качества индийской продукции, как это имело место в отношении товаров и технологий таких государств поздней модернизации, как Япония и Германия [3, с. 29]. Проникновение на рынки развитых

стран, включая рынок инвестиций, предполагает разработку совместными усилиями государства и бизнес-сообщества долгосрочного плана-стратегии с целью качественного повышения эффективности ведущих индийских компаний, включая расширение их геоэкономического и геополитического кругозора [3, с. 31]. Подлежит решению и актуальная проблема преодоления технологического барьера, всё ещё разделяющего экономики переходных обществ и народно-хозяйственные комплексы промышленно развитых стран.

При оценке возможностей внешней среды, её готовности к приёму индийских инвестиций целесообразно учитывать возможные риски, которые возникли в мировой экономике в ходе пока не завершившегося системного кризиса: сохранение протекционизма в конечном счёте связано с желанием принимающей стороны пользоваться иностранными инвестициями, однако исключительно на *своих* условиях. С другой стороны, в Индии нередко (причём не только в среде левых) можно слышать критику в адрес крупных компаний, которые, активно реализуя внешнеэкономическую стратегию, лишают страну столь необходимых ей инвестиций, подрывают основы её промышленной и модернизационной политики, в том числе расширения занятости. Глобализация, отмечает нобелевский лауреат Дж. Стиглиц, не стала всеобщим благом, “не превратилась в волну, поднимающую все лодки: положение некоторых народов и стран только ухудшилось. Однако корень проблемы не в самой глобализации, но в средствах, которыми глобализация управляется” [3, с. 319].

Замечание известного экономиста в полной мере характеризует умонастроения правящих кругов Индии, опасаящихся оттока из страны дефицитных национальных инвестиционных ресурсов.

ГЕОПОЛИТИЧЕСКИЕ ИМПЕРАТИВЫ И ПОТЕНЦИАЛ СОТРУДНИЧЕСТВА

Возникает естественный вопрос: насколько частнокорпоративный сектор Индии заинтересован во вложениях в российскую экономику? Ответ предполагает оценку факторов, влияющих как на поведение индийского бизнес-сообщества в международной среде, так и на выбор предпринимателями той или иной ситуационной модели адаптации к жизненным условиям.

Первое. Индийские промышленные дома вынуждены сопрягать свои действия с объявленной правительством Н. Моды “повесткой развития”. Иначе говоря, внешнеэкономическая активность (включая инвестиционную деятельность за рубежом) вынужденно подчинена задаче модернизации национального хозяйства.

Второе. На внешних рынках индийский бизнес сталкивается не только с протекционизмом

¹ Логика “индийского пути” развития убедительно описана в работах отечественных и индийских экономистов – О.В. Малярова, Г.К. Широкова, С.К. Гойяла, Р. Кураны и других авторов.

традиционных лидеров мировой экономики, но и с растущей агрессивностью китайских компаний, систематически отвоевывающих жизненное пространство у индийских соперников.

Третье. Пока не оправдываются надежды индийской стороны на активное освоение ёмкого китайского рынка, в том числе инвестиционного.

Как представляется, в силу действия этих и ряда других факторов заинтересованность индийских компаний в проникновении в Россию и в инвестиционной деятельности в нашей стране объективно усиливается.

Постоянным геополитическим фактором, побуждающим Дели к углублению сотрудничества с Россией, остаётся активная деятельность Китая в Азиатско-Тихоокеанском регионе, а также в Южной Азии, что делает внешнеэкономические связи наших стран несущей конструкцией двусторонних отношений.

Мировой опыт сотрудничества стран в сфере перекрёстных инвестиций показывает, что выходу на инвестиционные рынки должна предшествовать своего рода домашняя работа: сбор информации о стране предполагаемой экспансии, её регионах, размещении и качестве производительных сил, инвестиционной привлекательности территорий и структуре их хозяйства, развитии инфраструктуры, об отношении основных социально-политических сил к потенциальным зарубежным инвестициям и их носителям, расположенности руководителей местных институтов власти к сотрудничеству с иностранными инвесторами и т.д. Словом, в распоряжении потенциальных инвесторов должна находиться квинтэссенция экономической географии данной территории и всего целевого региона. Поэтому инвестиционная деятельность должна опираться на прочный фундамент знаний, которые призваны обеспечить наука и экспертная деятельность. Что же мы знаем об экономической географии Индии и каков уровень представлений индийцев о возможностях нашей страны в сфере двусторонней инвестиционной деятельности?

Индия в её экономико-географической ипостаси в нашей стране исследована достаточно подробно. Основы советской школы экономической географии Индии закладывались в 1950-е годы, а своего расцвета данное направление индологии достигло в 1970-х годах, главным образом благодаря работам Г.В. Сдасюк [4]. В настоящее время идеи этой школы творчески развиваются [5]. Какие же практические идеи о потенциале развития “крупнейшей демократии мира” отечественные деловые круги могут почерпнуть из академических публикаций?

Во-первых, сформулированы идеи *неравномерности* развития индийских штатов; несбалансированность экономического роста административно-территориальных образований сохраняется и даже имеет тенденцию к углублению. С некоторой долей условности можно предполо-

жить, что потенциальной инвестиционной привлекательностью обладают такие индийские штаты, как Карнатака, Западная Бенгалия, Андхра Прадеш, Харьяна, Пенджаб, Тамилнаду, Керала, Гуджарат, Махараштра.

Во-вторых, российские инвестиции в индийскую экономику могут значительно облегчить создаваемые и совершенствуемые в настоящее время в стране *национальные коридоры роста*: Дели — Мумбаи (Бомбей), Дели — Колката (Калькутта), Бангалор — Мумбаи и Бангалор — Ченнаи (Мадрас). Не меньшее значение для пространственной интеграции индийской экономики имеют коридоры Ченнаи — Колката и Мумбаи — Колката. Начинается строительство нового коридора: Дели — Агра — Бангалор. Коридоры роста, как предполагается, будут стимулировать развитие кластеров не только индустриального, но и научно-технического производства. Извечная для Индии проблема качества и масштабов современной инфраструктуры начинает решаться, повышая шансы страны в качестве удобной инвестиционной площадки.

В-третьих, иностранные инвесторы нередко пеняют на “автаркичность” хозяйственного развития Индии как на препятствие доступу иностранного капитала в страну. (Подобные претензии со стороны американского транснационального бизнеса породили в последние годы пребывания у власти “либерального” правительства Манмохана Сингха критику со стороны официального Вашингтона, обвинявшего индийское законодательство в отсутствии гибкости, а индийскую политическую элиту — в сознательном сдерживании притока иностранных инвестиций.) Действительно, индийский рынок трудно назвать открытым и либеральным. Однако сложившееся положение — результат политического консенсуса власти и бизнеса, имеющего целью защитить национальное предпринимательство от более сильных иностранных конкурентов, порой прибегающих к неэтичным приёмам проникновения на рынки других стран. Инвестиционное сотрудничество России с Индией возможно на основе взаимности и обоюдной выгоды для бизнес-сообществ наших стран. Отечественные бизнесмены должны ясно понимать: упования на бесконфликтное ведение дел на территории западных стран — сладкоголосая утопия, которая странным образом владеет мыслями и чувствами некоторых из них уже более двух десятилетий.

В-четвёртых, важно помнить, что экономическая история Индии предопределила относительно низкую стоимость и сравнительно высокое качество местной рабочей силы, включая инженерно-технический персонал, по большей части состоящий из выпускников национальных университетов и технологических институтов (последние активно используются для пополнения интеллектуальных ресурсов экономики США и других ведущих стран Запада).

В-пятых, Индия, как и Россия, поставлена в безальтернативную ситуацию, требующую реализации “повестки развития” (development agenda), которая предполагает: энергичный экономический рост (7%+ в годовом исчислении); максимально возможную занятость; уменьшение социально-экономических диспаритетов (growth with equity). “Повестка развития” — это, помимо прочего, сознательное превращение внешнеэкономических связей регионов в фактор их *внутренне-*го роста. Регионы, особенно в России, являются мощным ресурсом стимулирования национальной экономики и неанклавной модернизации. Совместная реализация нашими странами “повестки развития” предполагает совмещение стратегий регионального развития Индии и России, которое способно обеспечить *эффект мультипликатора* в трансформации народно-хозяйственных комплексов двух государств.

Сегодня становится всё труднее отделить традиционную дипломатию от внешнеэкономической деятельности, поскольку геоэкономика практически срослась с геополитикой [6]. Одним из конкретных формопроявлений спрессованности различных видов внешнеполитической деятельности стала “свободная геометрия” мировой политики: на смену идеологическим связям приходят отношения на основе взаимности экономических и политических интересов [7]. Например, среди иранских стратегических элит всё более популярной становится идея треугольника Москва–Тегеран–Дели. Его институциональной платформой может и должен стать МТК “Север–Юг”, который сообщит дополнительный импульс развитию российско-индийских внешнеэкономических связей и процессу перекрёстных инвестиций. Решение о создании китайско-пакистанского экономического коридора значительно сблизило позиции Индии, Ирана и России по вопросу о важности трёхстороннего сотрудничества. Модели подобных многосторонних отношений имеют давнюю историю, в своё время они успешно разрабатывались в недрах Министерства внешней торговли СССР с целью минимизации использования мировых резервных валют. Принцип безналичных расчётов снижает инфляционные риски и стимулирует желанный для России, Индии и Ирана (а также многих других стран) процесс долларизации мировой экономики.

Для Индии МТК “Север–Юг” — это удобный выход на Урал, в Зауралье и Сибирь, индийские предприниматели заинтересованы в инвестиционном освоении данного пространства, тем более что здесь находятся предприятия, активно участвующие в военно-техническом сотрудничестве России и Индии. Для нас подобное сотрудничество есть инструмент укрепления связей с influentialными группами индийского бизнес-сообщества, включая верхний слой частнокорпоративного сектора, оказывающий значительное влияние на внешнеэкономическую политику государства.

Инвестиционная деятельность крупного индийского капитала в России может оказаться результативной ещё и потому, что западные партнёры пока не готовы к передаче индийцам “чувствительных технологий”. Движение индийских предпринимателей на Урал и в восточные районы России может оказаться успешным и в силу сложившихся на инвестиционном рынке РФ условий: сейчас в Европейской части нашей страны трудно найти свободную нишу ввиду сильной конкуренции со стороны как российских, так и западных компаний.

Индийским предпринимателям предстоит преодолеть естественное интеллектуальное препятствие на пути в Россию: в Индии внутри школы советских и постсоветских исследований не оформилось самостоятельное направление экономической географии СССР/России. Поэтому в настоящее время сохраняется своеобразная асимметрия знаний в России об Индии, с одной стороны, и в Индии о России — с другой.

РЕГИОНЫ КАК ДВИЖУЩАЯ СИЛА ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЦЕССА

В российских регионах медленно, но верно набирает обороты процесс установления экономических связей с индийскими коллегами на долгосрочной основе. 12 января 2016 г. состоялось рабочее совещание по созданию Совета регионов государств — участников БРИКС. Инициатором создания этого совета стал Ханты-Мансийский автономный округ, в инициативную группу вошли восемь субъектов, в числе которых Тюменская область и Ямало-Ненецкий автономный округ. Готовность участвовать в проекте подтвердил также Санкт-Петербург.

Расширяется взаимодействие Тюменской области с Индией. В этом регионе компанией “Фармсинтез” (с участием индийского капитала) реализуется проект по организации фармацевтического производства с объёмом инвестиций более 3 млрд. руб. Кроме того, здесь индийским партнёрам предлагается участие в инвестиционных проектах по строительству международного экспоцентра, заводов по производству нефтегазового оборудования, биоэтанола, лимонной кислоты, предприятия по глубокой переработке картофеля, судостроительного производства, развитию проекта высокотехнологичной медицинской помощи “Медицинский город” и др. [8].

В связи с введением в 2014 г. Европейским союзом и США санкций в отношении Российской Федерации правительство Тюменской области приняло ряд мер, ориентированных на форсированное импортозамещение. В качестве приоритетных отраслей определены машиностроение (включая оборудование для нефтегазовой отрасли), судостроение, станкостроение, фармацевтика, агропромышленный комплекс, мебельная промышленность [9]. Привлекательными для

совместной деятельности могут стать инвестиционные проекты в области фармацевтики, агропромышленного комплекса и мебельной промышленности, то есть в тех отраслях хозяйства, где индийскими компаниями накоплен солидный производственный опыт. Перспективными представляются также усилия российского и индийского бизнес-сообществ по дедолларизации совместной деятельности, покрытие валютного дисбаланса во взаимных расчётах товарной массой.

В последнее время интерес к инвестиционному сотрудничеству с Индией проявляет Челябинская область. Интенсивность диверсификации российско-индийских внешнеэкономических связей в этом регионе может стать значимым ориентиром для других регионов России, осознавших стратегическую важность отношений с Востоком. Согласно имеющимся данным, руководство Челябинской области готово рассмотреть предложения индийских инвесторов по совместной деятельности в агропромышленном комплексе. Располагая плодородными чернозёмными почвами, область уже сейчас не только обеспечивает себя продуктами земледелия и животноводства, но и помогает решать продовольственную проблему регионам-соседям. Индийский рынок может оказаться перспективным на фоне продолжающегося сокращения посевных площадей и угодий для занятий растениеводством во многих штатах Индии².

Наконец, важное место в двусторонних экономических связях может занять инвестиционное сотрудничество в Крыму и Севастополе. В декабре 2014 г. глава Республики Крым С.В. Аксёнов подписал меморандум о сотрудничестве с руководством организации “Индийско-крымское партнёрство”. Предусматривается участие индийского бизнеса в развитии агропромышленного комплекса Крыма и туризма, речь также идёт о финансировании инфраструктурных проектов [10]. Впрочем, в зарубежной литературе понятие “туризм” постепенно уступает место дефиниции “индустрия гостеприимства”, содержательно более ёмкой. Индустрия гостеприимства (hospitality industry), помимо традиционного приёма и обслуживания отдыхающих, включает в себя строительство и эксплуатацию гостиниц и гостевых домов различной классности, познавательный/историко-культурный туризм, парки наземных и водных транспортных средств, развитую сеть предприятий общественного питания и т.д. Функционируя как система, индустрия гостеприимства стала одной из наиболее доходных отраслей мировой экономики.

Среди индийских компаний, работающих в индустрии гостеприимства, следует обратить

внимание на группу Oberoi. Основанная в 1934 г., в настоящее время она владеет отелями и курортными зонами в Индии, Индонезии, на Маврикии, в Египте, Саудовской Аравии и Объединённых Арабских Эмиратах. Компания тесно сотрудничает с Reliance Industries Investment and Holding Pvt Ltd. Мукеша Амбани, активного участника внешнеэкономических связей с Россией.

Российско-индийские внешнеэкономические связи должны иметь как минимум два транспортных коридора: Северный морской путь и МТК “Север—Юг”. Оба коридора имеют, наряду с очевидными преимуществами, проблемную геополитическую составляющую: дорога в Индию по Северному морскому пути предполагает движение через Южно-Китайское и Восточно-Китайское моря, вокруг которых продолжается территориальный спор между несколькими странами; свобода движения по МТК “Север—Юг” напрямую зависит от позиции правительства Ирана, стремящегося к максимальной реализации геополитического потенциала своей страны. В последнем случае необходимо сознательное формирование геоэкономической оси Дели — Тегеран — Москва при условии равноправия всех участников.

СФЕРЫ ПРИЛОЖЕНИЯ ПЕРЕКРЁСТНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ

Несформированность в России (признаваемая самой властью) стратегии развития страны и, как следствие, отсутствие долгосрочной концепции внешнеэкономических связей предопределяют необходимость точечных действий в двусторонних отношениях с Индией, особенно в тех областях, где наша страна сохраняет конкурентные преимущества. Кооперация в атомной энергетике, освоении космического пространства, энергетическом машиностроении, создании перспективных (футуристических) видов вооружений уже вносит вклад в повышение конкурентоспособности России как значимого субъекта в мировом экономическом пространстве. Однако подобная деятельность осуществляется государственными институтами двух стран.

Оживлению инвестиционной деятельности бизнес-сообществ и в России, и в Индии могла бы способствовать реализация пилотных проектов в таких отраслях промышленности, как фармацевтика (особенно в условиях удешевления рубля), гражданское авиастроение и агропроизводство³.

Индия умеет коммерциализировать технологические разработки, поэтому целесообразно привлекать индийские инвестиции к созданию на основе отечественных НИОКР новых материа-

² Авторство гипотезы об Индии как о потенциальном и выгодном рынке для продукции российского агропромышленного комплекса принадлежит А.В. Акимову (Институт востоковедения РАН).

³ Важно подчеркнуть: Индия располагает высокотехнологичной сельскохозяйственной наукой, результаты исследований которой могут быть успешно коммерциализированы в совместной практической деятельности.

лов, которые необходимы в модернизируемых сегментах экономики, включая наземные и воздушные транспортные системы. Индия готова принять участие в коммерциализации некоторых технологических разработок, созданных в отечественных естественных, точных и технических науках. Логичным предварительным условием совместной инвестиционной деятельности компаний двух стран должна стать инвентаризация НИОКР с обязательной их идентификацией по регионам России, которые будут формировать свою, индивидуальную модель инвестиционного и экономического сотрудничества с Индией.

Перекрыстные инвестиции — это важная часть большого геоэкономического и геополитического целого. Совместная с Индией реализация подобного долгосрочного проекта будет иметь следствием укрепление народно-хозяйственных комплексов двух стран, придаст дополнительный стимул поддержанию обоими государствами своей стратегической автономии в мировом пространстве (так в Индии называют теперь независимую внешнюю политику). Наши страны объединяет определённая общность исторической эволюции, повышающая шансы на совместную реализацию значительного потенциала их внутреннего развития.

Историческое развитие России (первоначально Российская империя, а затем Советский Союз) происходило по неклассической имперской траектории. Иначе говоря, в отличие от империй классических (концептуальным примером которых была Англия), у нас периферия развивалась за счёт центра, а не наоборот. Россию иногда называют *геополитической империей*, подчёркивая историческую безальтернативность создания пояса буферных территорий, прикрывавших страну от неприятеля с запада и юга. Неизбежной платой за подобную модель развития выступали массивные инвестиции/субвенции в экономику периферийных территорий (Прибалтику, Украину, Среднюю Азию и т.д.). Неизбежным результатом такого рода “имперскости” стала недоразвитость территорий ядра системы. Поэтому сегодня главным источником и движущей силой развития России становятся её регионы, тогда как инвестиционная деятельность превращается в локомотив и экономического роста, и социального прогресса.

В Индии задачи интеграции национального хозяйственного комплекса после завоевания суверенитета на некоторое время отложили конкретизацию государственного курса. К концу 1980-х — началу 1990-х годов императив развития регионов стал условием сохранения единства и территориальной целостности страны и получил политическое разрешение в экономической реформе 1991 г. (реформа Манмохана Сингха) [11]. Регионы, хотя дифференциация в уровне их развития сохраняется, определённо способствовали активизации общеиндийского экономического роста.

Поиск инвестиций стал для нынешнего правительства альфой и омегой государственного курса.

Для России привлечение зарубежных (и внутренних) инвестиций является интегральным элементом геополитического проекта возвращения в мировую политику в качестве одного из её основных субъектов. Поэтому объединение усилий двух сверхкрупных государств на поле инвестиционной деятельности поможет Индии и России успешно реализовать “повестку развития” и укрепить социально-экономические основания политических систем.

“Поворот на Восток” — это публицистическая метафора. Однако она позволяет глубже прочувствовать необходимость диверсификации внешней политики страны и её внешнеэкономических связей, что характерно для стран-континентов⁴. Активизация перекрыстных инвестиций, надо полагать, станет одной из несущих конструкций российско-индийских отношений и общей стратегической линии двух наших стран.

Статья подготовлена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14_28_00097) “Оптимизация российских внешних инвестиционных связей в условиях ухудшения отношений с ЕС”.

ЛИТЕРАТУРА

1. The Rise of Indian Multinationals. Perspectives on Indian Outward Foreign Direct Investment. N.Y.: Palgrave Macmillan, 2010.
2. Panagariya A. India: the Emerging Giant. New Delhi: Oxford University Press, 2013.
3. The Rise of Transnational Corporations from Emerging Markets. Threat or Opportunity? Cheltenham: Edward Elgar, 2008.
4. Сдасюк Г.В. Индия: география хозяйства. М.: Мысль, 1975.
5. Дмитриев Р.В. Опорный каркас расселения и хозяйства современной Индии. М.: МАКС Пресс, 2014.
6. Попов В.И. Современная дипломатия: теория и практика. Дипломатия — наука и искусство. Курс лекций. 2-е изд., доп. М.: Международные отношения, 2010.
7. Володин А.Г. Россия в “свободной геометрии” мировой политики // Геополитический журнал. 2015. № 4 (11). С. 6–14.
8. t-i.ru/news/new/3323 (Дата обращения 20.03.2016).
9. admtyumen.eu/ogv_ru/finance/foreign_economic_activity.htm
10. rg.ru/2015/11/03/india.html (Дата обращения 25.03.2016).
11. Володин А.Г. “Рост плюс развитие”, или Индийский опыт экономических реформ // МЭиМО. 2010. № 10. С. 91–98.

⁴ Хорошо известно: Соединённые Штаты Америки активно вошли в глобальную политику после Первой мировой войны сразу на двух направлениях — североатлантическом и азиатско-тихоокеанском. И по сей день эти направления остаются главными во внешнеполитической стратегии США.

НЕИЗВЕСТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ГРАНИТИЗАЦИИ БАЗАЛЬТОВ

© 2016 г. С.Л. Шварцев

*Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Томск, Россия
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*

e-mail: tomsk@ipgg.sbras.ru; gige_ignd@mail.ru

Поступила в редакцию 05.02.2016 г.

Ещё в конце XVIII в. известный французский представитель непутизма Ж.-Б. Ламарк полагал, что граниты имеют водное происхождение, но в то время он не мог привести убедительных данных для обоснования своей точки зрения, и победила точка зрения плутонистов: граниты имеют магматический генезис. Со вторым подходом не соглашался и В.И. Вернадский, который считал граниты “следами былых биосфер”. Однако геологическая наука и сегодня следует взглядам плутонистов, хотя на этом пути имеются непреодолимые барьеры. Автор статьи обосновывает принципиально новый, ранее неизвестный механизм образования гранитов за счёт преобразования базальтов водой. Он показывает, что в системе вода–базальты всегда существует неравновесное состояние, которое обеспечивает непрерывность растворения последних и образование новых минералов и целых массивов горных пород, состав которых определяется временем эволюции системы вода–порода. Гранитизация базальтов — последний этап эволюции в неживой материи.

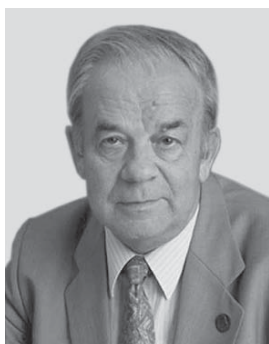
Ключевые слова: базальты, граниты, термодинамическое равновесие, система вода–порода, эволюция в неживой материи, этапы взаимодействия воды с базальтами, время взаимодействия, гидрогеохимия.

DOI: 10.7868/S0869587316120100

Гранитизация — процесс преобразования химического и минералогического состава любых горных пород или их расплавов в направлении образования гранитов — кислых магматических алюмосиликатов. Хотя гранитизация изучается уже не первое столетие, она остаётся одним из наиболее неясных, сложных и вызывающих споры процессов [1]. В конце XVIII — начале XIX в. граниты считали образованиями водного происхождения. Затем эта точка зрения, сторонников которой — А.Г. Вернера, Ж.-Б. Ламарка и других — называют непутистами, уступила место другой,

лучше обоснованной и господствующей до сих пор концепции магматического генезиса гранитов, которую отстаивали плутонисты (Дж. Геттон, Дж. Пфейфер и другие). Однако постепенно накапливались факты, трудно объяснимые с позиций внедрения больших объёмов гранитной магмы в другие типы горных пород земной коры. Поэтому возникли представления о гранитизации горных пород в процессе их переплавления, метаморфизма или метасоматоза под воздействием восходящих трансмагматических растворов, имеющих подкоровую природу.

Было предложено много вариантов механизма гранитизации, но все они базируются на идеях эндогенного образования этих пород и представлении процессов гранитизации как протекающих под влиянием продуктов дегазации мантии [2]. Многие вопросы при этом не получают должных ответов. Почему, например, граниты отсутствуют в океанической коре? Казалось бы, маломощная океаническая кора должна лучше способствовать массовому образованию гранитов на океаническом дне. В действительности же граниты, напротив, развиты на континентах, прежде всего в пределах древних щитов (Балтийского, Канадского,



ШВАРЦЕВ Степан Львович — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Томского филиала ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, профессор ТПУ.

Либерийского, Анабарского и т.д.). Под гранитами обычно развиты породы основного состава, но в них не наблюдается никаких каналов с низкой (“гранитной”) плотностью, которые можно было бы интерпретировать как подводящие структуры гранитной магмы. Значит, гранитный расплав не внедрялся из глубинных зон анатексиса. Это вторая проблема, не имеющая решения с позиций гипотезы магматического образования гранитов. Поражает исследователей и то, что среди вулканических пород резко преобладают базальты (90%), а среди plutonic — гранитоиды, хотя всё должно быть наоборот. Список фактов, не согласующихся с магматической теорией генезиса гранитов, можно продолжать и дальше. Их обилие заставляет исследователей искать новые подходы к проблеме образования этих горных пород. Мне представляется, что ответы на перечисленные и ряд других вопросов следует искать не только в эндогенных, но и в экзогенных процессах, в частности, в геологической эволюции системы вода—порода [3], представляющей предмет нового научного направления [4]. Ниже даётся обоснование применения этого нового подхода к проблеме образования гранитов.

МЕХАНИЗМЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМЫ ВОДА—БАЗАЛЬТЫ

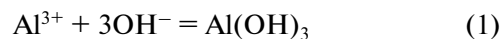
В одной из последних работ мной было показано, что основным противоречием, определившим начало глобальной эволюции на Земле, является термодинамическая неравновесность природных вод с базальтами, которые изначально образовали нашу планету [4]. Принципиальная невозможность установления равновесия с этими горными породами явилась причиной появления внутренних механизмов геологической эволюции системы вода—базальты, которые не зависят ни от каких внешних факторов и заключаются в непрерывном, геологически вечном растворении базальтов. Существенно, что базальты растворяются по механизму гидролиза: в водный раствор переходят, хотя и с разной скоростью, все без исключения химические элементы из всех растворяемых водой минералов. При этом в реакции гидролиза непосредственно принимают участие и молекулы самой воды. Разлагаясь, они формируют ионы H^+ , OH^- , молекулы H_2 , O_2 , электроны, многие радикалы и т.д. [5] и создают тем самым своеобразную геохимическую среду. Химические элементы, поступающие в раствор из базальтов, по мере концентрирования в нём взаимодействуют между собой и компонентами раствора, образуя вторичные минералы, состав которых меняется со временем в зависимости от изменений раствора.

Важно, что образование новых минералов происходит строго по законам термодинамики, а

именно: первыми выпадают из раствора наиболее трудно растворимые соединения, прежде всего оксиды и гидроксиды Fe и Al. За ними следуют более растворимые образования, среди которых при обычных температурах и давлениях преобладают различные глинистые минералы: каолинит, монтмориллонит, иллит, вермикулит и многие другие. Далее осаждаются ещё более растворимые соединения, в первую очередь кальцит, магнезит, доломит, сидерит и т.д. Этот процесс продолжается до тех пор, пока вода не покинет горную породу.

Растворение базальтов, изменение состава воды и образование разнообразных вторичных минералов происходит без изменения каких-либо внешних условий, включая температуру, давление и др. Это происходит потому, что система вода—порода является равновесно-неравновесной, то есть внутренне противоречивой, способной к самопроизвольному, непрерывному, геологически длительному развитию с образованием принципиально новых вторичных минералов и геохимических типов воды или разных гидрогенно-минеральных комплексов [6].

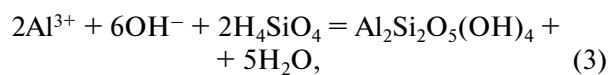
Не менее важно, что образование вторичных минералов резко меняет соотношение элементов в растворе. Например, кларк Si в базальтах равен 24%, а Al — 8.76%. Примерно в таких же пропорциях эти элементы переходят в раствор. Но в соответствии с законами термодинамики первым вторичным минералом образуется гиббсит, поскольку при $pH = 5$ насыщение водного раствора этим минералом в соответствии с реакцией



и константой при 25°C

$$K = 1/[Al^{3+}][OH^-]^3 = 10^{33.2} \quad (2)$$

происходит уже при активности $[Al^{3+}]$, равной $10^{-6.2}$ моль/л. Такое значение активности достигается достаточно быстро при времени взаимодействия, равном T_1 (рис. 1). С этого момента начинается образование гиббсита, а значит, меняется и соотношение алюминия и кремния в растворе. Но поскольку взаимодействие воды с эндогенными породами продолжается, а содержание Si в базальтах в 2.74 раза выше, чем Al, то, в отличие от алюминия, кремний продолжает концентрироваться в растворе, что в итоге приводит к равновесию с каолинитом по реакции (2)



константа которой при 25°C равна

$$K = 1/[Al^{3+}]^2[OH^-]^6[H_4SiO_4]^2 = 10^{7.94}. \quad (4)$$

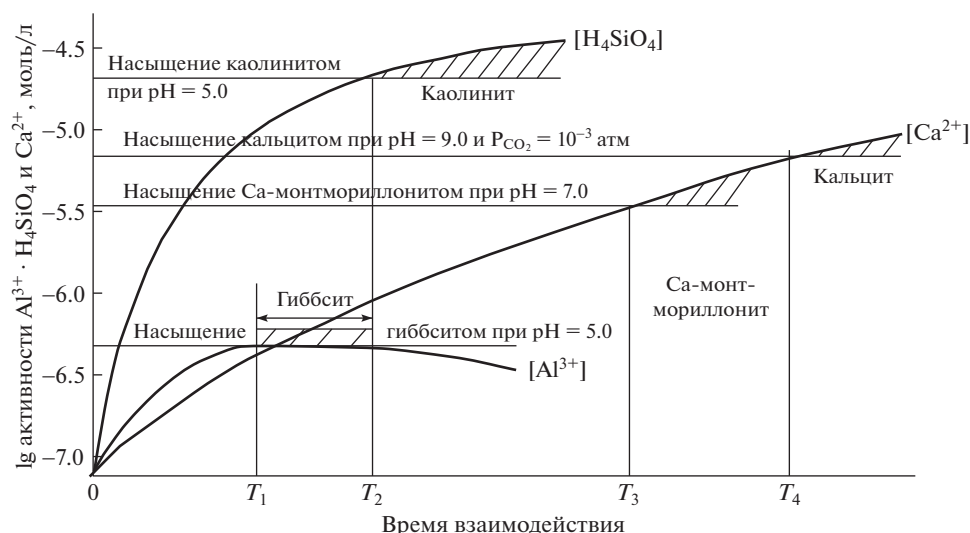


Рис. 1. Схематическое изображение смены состава вторичных минералов в зависимости от времени взаимодействия подземных вод с базальтами

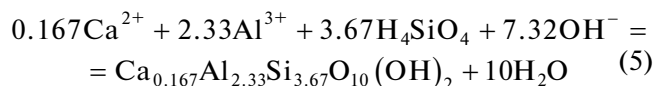
Такое равновесие при $\text{pH} = 5.0$ наступает только при активности H_4SiO_4 , равной $10^{-4.7}$ моль/л. Но поскольку каолинит связывает Si и Al в равных количествах, а в раствор поступает Si в 2.74 раза больше, то этот элемент, в отличие от Al, продолжает накапливаться в растворе, что опять же ведёт к изменению их соотношения в воде.

При образовании каолинита дефицитным элементом оказывается не Si, а Al, то есть масштабы образования каолинита определяются количеством поступающего в раствор Al, а не Si, количество которого избыточно. Поэтому каолинит при своём образовании связывает почти весь поступающий в раствор Al, но не весь Si, а только его часть, требуемую для построения кристаллической решётки. Следовательно, каолинит формируется позже гиббсита в результате более длительного взаимодействия воды с эндогенными минералами, которое обозначим T_2 (см. рис. 1). Поскольку каолинит связывает не весь переходящий в раствор кремний, последний продолжает концентрироваться в воде и после начала его образования. Если это так, то в соответствии с константой реакции (2) при одном и том же значении pH активность Al^{3+} не только не может расти, но должна падать, что нарушает равновесие с гиббситом, который в этих условиях более не формируется и уступает место каолиниту.

Из сказанного понятно, что гиббсит и каолинит — *конкурирующие минералы*: они «борются» за право владеть Al, поступающим в раствор из эндогенной породы. На первом этапе это удаётся гиббситу, на втором — каолиниту, который подавляет саму возможность образования гиббсита.

Система вода–базальт остаётся неравновесной и после насыщения каолинитом, что гаран-

тирует продолжение её эволюции. Следующим образующимся минералом после каолинита является Са-монтмориллонит — продукт более высоких содержаний в растворе Ca, Si и иона OH^- , который образуется по реакции (3)



с константой, при 25°C равной

$$K = 1/[\text{Ca}^{2+}]^{0.167}[\text{Al}^{3+}]^{2.33}[\text{H}_4\text{SiO}_4]^{3.67}[\text{OH}^-]^{7.32} = 10^{89.3}. \quad (6)$$

Для образования монтмориллонита по сравнению с каолинитом требуется дополнительное время (см. рис. 1), необходимое для накопления в растворе более высоких содержаний Ca^{2+} , Si^{4+} и OH^- . Поэтому монтмориллонит образуется позже гиббсита, каолинита, некоторых минералов Fe (которые мы здесь не рассматриваем, поскольку этот процесс детально описан в работе [7]). Естественно, что образование монтмориллонита обеспечивает ещё большее изменение соотношения элементов в растворе. В частности, это касается и тех элементов, которые до сих пор свободно накапливались в растворе (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). Монтмориллониты бывают разными по составу и связывают частично не только Ca, но и другие элементы, хотя и в небольших количествах. Последнее подтверждается в том числе отношением Si/Ca: в базальтах оно равно 3.6, а в монтмориллоните достигает 22. Из этого следует, что монтмориллонит связывает только 16% поступающего в раствор Ca. Остальные 84% продолжают накапливаться в растворе и в конечном счёте служат источником образования карбона-

тов, в первую очередь кальцита (см. рис. 1), который формируется несколько позже монтмориллонита. Хотя Са-монтмориллонит и выступает конкурентом для кальцита, эта конкуренция не является такой жёсткой, как у каолинита с гиббситом, и не препятствует более позднему образованию кальцита. Последний, в свою очередь, также не может предотвратить формирование Са-монтмориллонита, поскольку в растворе всегда накапливается H_4SiO_4 , рост которого рано или поздно обеспечит образование этого минерала.

Таким образом, в начале взаимодействия чистой воды с эндогенными алюмосиликатами при $T_x < T_1$ никакие вторичные минералы не образуются. При $T_1 > T_x < T_2$ формируется гиббсит, при $T_2 > T_x < T_3$ — каолинит, при $T_x > T_3$ — Са-монтмориллонит, при $T_x > T_4$ — кальцит и т.д. Описанный процесс подтверждает, что отличное от растворяемой породы соотношение химических элементов во вновь формируемых минералах является важным *механизмом глубокой дифференциации* (перераспределения) *химических элементов* в водном растворе, и это служит основной причиной смены парагенетической ассоциации формирующихся вторичных минералов в эволюционном развитии системы вода—базальт.

Итак, вода, непрерывно растворяя базальтовые породы и накапливая в растворе разные элементы, обеспечивает последовательное их осаждение в виде серии новых минералов, что ведёт к непрерывному изменению состава раствора, а значит, и состава вторичных образований. При этом каждый минерал образуется из водного раствора строго определённого химического состава, который, меняясь во времени, обеспечивает смену одного гидрогенно-минерального комплекса другим. Тем самым мы приходим к пониманию ведущей роли *фактора времени*, который обеспечивает эволюцию системы вода—базальт: с течением времени состав воды и образуемый ею минеральный комплекс непрерывно меняются, хотя исходная порода остаётся прежней. И всё это обусловлено постоянным неравновесием воды с базальтами, а неравновесность, как известно, обеспечивает переход от хаоса к порядку [8], который в данном случае протекает в форме двух эволюций: одна — в водном растворе, другая — в составе вторичных твёрдых фаз. Первая является плавной и неразрывной, вторая — дискретной [6].

НЕПРЕРЫВНОСТЬ, СТРОГАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ И ЭТАПНОСТЬ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМЫ ВОДА—БАЗАЛЬТЫ

Результатом геологической эволюции системы вода—базальты, как и в целом системы вода—порода—газ, являются *разнообразный вторичный минеральный продукт, соответствующий геохими-*

ческий тип воды и определённая геохимическая среда. Между всеми этими компонентами существует глубокая генетическая связь. Каждый вторичный минерал формируется, повторим, только в таком водном растворе, который содержит необходимое количество химических элементов, входящих в кристаллическую решётку вторичного минерала, а также обладает соответствующими параметрами геохимической среды (рН, Eh, солёность и др.) и термодинамической обстановки. Все вторичные продукты формируются в полной гармонии со средой, законами термодинамики и законами их внутренней структуры, образуя генетически единый комплекс, который ранее было предложено называть гидрогенно-минеральным [6, 7]. Гидрогенно-минеральный комплекс — генетически связанная ассоциация минеральных, органических и растворённых в воде химических соединений, равновесных с породившей их средой, которые сформированы в результате эволюционного развития системы вода—порода в условиях строго определённого водообмена с последующим включением биологических процессов. Именно гидрогенно-минеральный комплекс является результатом гидролиза алюмосиликатов, который развивается повсеместно и постоянно при температуре до 400°C в нелинейной области термодинамической ветви, в условиях, далёких от равновесия и определяющих принципиально новые возможности эволюции этой системы как прогрессивно самоорганизующейся диссипативной структуры [8, 9].

Яркий пример гидрогенно-минеральных комплексов — коры выветривания, имеющие достаточно разнообразный характер и ассоциирующиеся с разными геохимическими типами вод [10–12]. В процессе выветривания или, точнее, гидролиза алюмосиликатов формируются в основном латеритные, каолиновые, монтмориллонитовые, гидрослюдистые, карбонатные и редко другие, более экзотические коры. Поэтому долгое время думали, что гидролиз алюмосиликатов протекает только в самой верхней части горных пород — зоне гипергенеза, мощность которой редко превышает несколько первых сот метров. Глубже этой зоны якобы наступает равновесие подземных вод с горными породами, которые поэтому не растворяются. Растворение возможно в редких случаях, при появлении несвойственных для какой-то части геологического разреза химических типов вод или резком изменении геохимической среды, появлении геохимических барьеров и т.д. [13]. Но оказалось, что это не так: горные породы и ниже зоны гипергенеза практически повсеместно подвержены значительным минералогическим и геохимическим изменениям. Речь идёт о многочисленных гидротермально-изменённых горных породах, разнообразных околорудных изменениях, региональных диа-, ката- и мезогене-

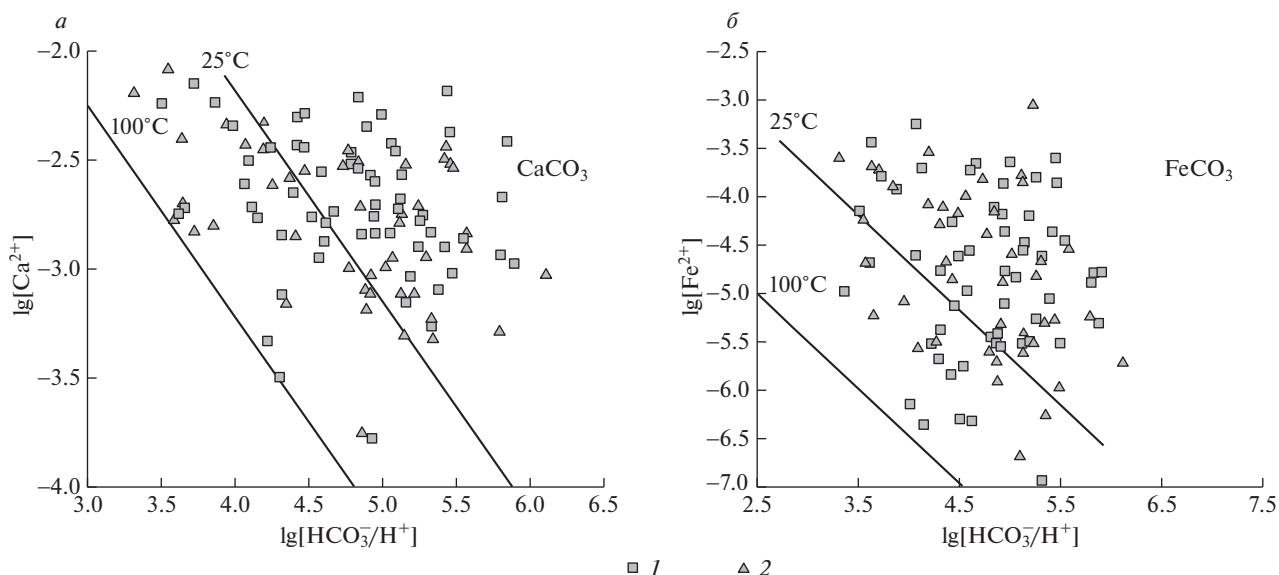


Рис. 2. Степень насыщения подземных вод верхнеюрского (1) и нижнесреднеюрского (2) водоносных комплексов Нюрольской впадины кальцитом (а) и сидеритом (б) при температуре 100°C и 25°C

тических преобразованиях пород в осадочных бассейнах, на океаническом дне и т.д. [14–16]. Приведу только одно авторитетное мнение ведущего отечественного литолога О.В. Япаскурта: “В течение всего времени развития структуры бассейна осадочного породообразования внутри него реализуются дискретные, многограновые механизмы дифференциации вещества, приводящие к формированию постседиментационных минерально-структурных парагенезов... Малейшие нарушения баланса компонентов в такой ор-гано-минерально-флюидной системе, обусловливаемые перестройкой тектонической структуры бассейна, стимулируют аутигенный минералогенез и (или) деструкцию компонентного состава осадочных пород — корродирование карбонатов, кварца, каркасных и цепочечных силикатов, трансформацию кристаллических решёток глинистых и других минералов” [16, с. 214].

Образование вторичного гидрогенно-минерального комплекса представляет собой зарождение качественно новой системы, состоящей из дополнительных структурных элементов. Они наиболее упорядочены, приспособлены к условиям среды и поэтому, постепенно расширяясь из локальной области (точки зарождения или нуклеации), отвоёвывают новое геологическое пространство. Таковыми, например, являются латериты, оккупировавшие тропические области зоны гипергенеза, глинистые продукты выветривания, широко развитые в условиях умеренного климата, железисто-марганцевые конкреции, захватившие центральные части дна океанов, карбонатные калькреты, развитые в степных ландшафтах, красноцветные формации, мощные зоны хло-

ритизации, гидрослюдизации, альбитизации и т.д. в осадочных бассейнах.

Зарождение и распространение вторичной минеральной фазы — типичный пример нуклеации как начального этапа формирования диссипативных структур [8]. Усложняется не только твёрдая фаза, но и состав воды, а значит, и её структура. Последнее особенно важно. Непрерывный рост солёности воды, неравномерное концентрирование химических элементов, усложнение комплексных соединений, ионных пар, увеличение числа минералов, с которыми раствор равен, — всё это элементы усложнения и развития, расширения многообразия структурных связей [9]. Но самое главное, что с изменением солёности и состава воды меняется и характер вторичных минеральных образований [6]. Для доказательства этого рассмотрим два примера. Первый касается Нюрольской впадины (Томская область), расположенной в пределах Западно-Сибирского артезианского бассейна. Подземные воды этого региона были описаны ранее [17], поэтому только отмечу, что они залегают здесь на глубинах 2.5–3.0 км в нефтегазоносных отложениях юрского возраста. Температура этих вод составляет 70–110°C, солёность — 20–60 г/л, $pH = 6.0–8.2$, по составу они относятся к хлоридно-натриевым и гидрокарбонатно-хлоридно-натриевым. По среднему значению Cl/Bg коэффициента, который изменяется в пределах 160–300, эти воды относятся к седиментационным (среднее 238), то есть здесь мы имеем дело с древними морскими водами, солёность которых изначально была ниже океанической воды и составляла, по палео-гидрогеологическим реконструкциям, 18–23 г/л. Эти воды захоронены в процессе геологического

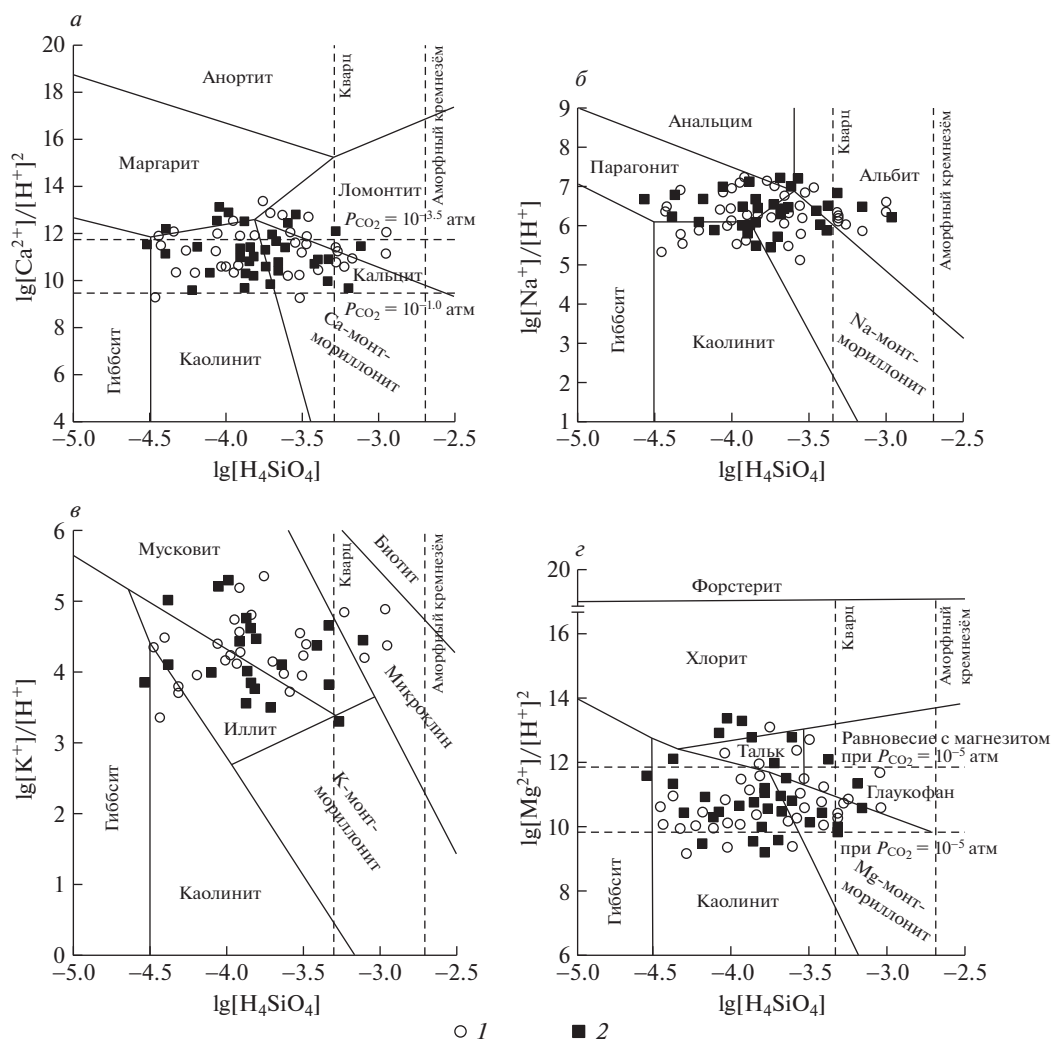


Рис. 3. Системы $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--CaO--CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ (а); $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O--CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ (б); $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--K}_2\text{O--CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ (в); $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--MgO--CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ (г) при 100°C с нанесением данных по составу подземных вод нефтегазоносных отложений верхнеюрского (1) и нижнесреднеюрского (2) водоносных комплексов Нюрольской впадины

круговорота, но состав их значительно изменён, поскольку они взаимодействуют с осадочными горными породами, органическим веществом и газами в течение почти 200 млн. лет.

Переходя к оценке характера равновесия седиментационных вод с ведущими минералами вмещающих пород, прежде всего отметим, что все они равновесны с кальцитом и сидеритом (рис. 2), а подавляющая часть — также с магнезитом и доломитом. Среди вторичных алюмосиликатов равновесными с водой являются каолинит, монтмориллонит и иллит, которые приносились с водосборной части морского бассейна, то есть они были сформированы ещё в процессе выветривания и затем механически перенесены в море. Кроме того, значительная часть этих минералов по генезису относится к аутигенным — сформирована на дне моря путём гидролиза терригенной

части осадка. При захоронении последнего и изменении состава воды равновесие смещалось в область более поздних аутигенных минералов. Но и в этом случае оно сохраняется с перечисленными выше минералами или теми, которые располагаются ниже (рис. 3).

Необходимо подчеркнуть, что среди равновесных с водой минералов, наряду с каолинитом, монтмориллонитом, иллитом, кальцитом, появляются новые, не характерные для условий зоны гипергенеза [11], — сидерит, магнезит, доломит, ломонтит, маргарит, парагонит, мусковит, биотит, глаукофан, хлорит и даже альбит и микроклин. Следовательно, по сравнению с типичными для зоны гипергенеза минералами кор выветривания здесь обнаруживается другая ассоциация вторичных продуктов, которая отражает наличие более поздней стадии эволюции системы вода—

Таблица 1. Средний состав ведущих химических типов азотных терм Забайкалья, мг/л

№ типа	Количество анализов	Химический тип вод	T , °C	M^*	pH	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	SiO_2	F^-
1	23	HCO_3-Na	46.2	425	9.1	102	3.5	5.6	2.9	163	14	28	19	78	17
2	4	HCO_3-F-Na	51.6	401	9.3	112	4.1	1.8	0.9	77	30	29	14	91	32
3	10	HCO_3-SO_4-Na	43.8	356	9.1	99.1	2.4	3.0	0.5	80	22	74	17	70	11
4	23	SO_4-HCO_3-Na	49.0	420	8.6	114	3.6	7.7	0.8	90	12	129	18	51	10
5	30	SO_4-Na	48.5	795	8.0	205	7.6	28.6	1.1	66	4	374	48	50	9
Всего	90	Среднее	47.4	538	8.6	139	4.8	13.3	1.4	99	12	174	31	61	13

* M — общая минерализация.

базальты, характеризующейся образованием новых гидрогенно-минеральных комплексов. Среди последних в осадочных бассейнах наиболее развиты такие, которые появляются в результате процессов гидрослюжидизации, хлоритизации, цеолитизации, окремнения, карбонатизации, альбитизации и т.д. [14–16]. Эти данные свидетельствуют о том, что своеобразное выветривание горных пород продолжается в условиях диагенеза, катагенеза и метагенеза, но на более поздней стадии, которая не может реализоваться в зоне гипергенеза, поскольку для этого не хватает времени: вода покидает горную породу раньше, чем могут быть достигнуты стадии гидрослюжидизации, хлоритизации, альбитизации и т.д. [6, 11].

В ходе литогенеза изменению подвергаются все типы горных пород (терригенные, глинистые, карбонатные, вулканогенные и т.д.), органического вещества и воды [16], что создаёт достаточно пёструю картину. Но главным процессом является растворение неравновесных с водой минералов и образование вторичных минералов, необязательно идентичных корам выветривания. Неравновесные с водой минералы прежде всего сосредоточены в терригенной части осадка. Это полевые шпаты, оливин, гранаты, эпидот, турмалин, кардиерит, пироксены, амфиболы, нефелин, рутил и др., которые медленно, но непрерывно растворяются с образованием вторичных минералов указанного выше комплекса. Значительный вклад в данный процесс вносят также глинистые и карбонатные минералы, образованные на более ранних этапах эволюции системы вода–порода, но переходящие в состояние неравновесия с водным раствором в более глубоких горизонтах и новых геохимических средах и поэтому снова растворяются. Всё это говорит о том, что система вода–порода и в этом случае остаётся равновесно-неравновесной, поскольку со многими минералами, и в первую очередь с минералами базальтов, она всегда неравновесна и растворяет их [4].

Таким образом, как показывает приведённый пример, и тогда, когда подземные воды имеют

возможность находиться в горных породах геологически длительное время (сотни миллионов лет), вследствие непрерывного, но избирательного накопления в них химических элементов и образования различных вторичных минералов процесс взаимодействия воды с алюмосиликатами, прежде всего с минералами базальтов, непрерывно продолжается [6].

Второй пример касается термальных вод инфильтрационного генезиса Байкальского региона России, геохимия которых достаточно детально изучена [18, 19]. Гидротермы в этом регионе широко распространены не только в пределах Байкальской рифтовой зоны, но и в прилегающих регионах. Отмечу также, что изучались только родники этих вод, поскольку вскрывающих их глубоких скважин в регионе нет.

Подробные данные по температуре, pH, солёности и химическому составу терм региона представлены в упомянутых выше публикациях. Поэтому приведу только обобщающие данные: из таблицы 1 видно, что все термы отличаются чрезвычайно низкой общей минерализацией, которая за редким исключением не превышает 1 г/л, а чаще составляет <0.5 г/л. Но применительно к азотным термам это не экзотика, а правило: солёность их во всём мире всегда невысокая — менее 1 г/л, за вычетом только тех типов, которые смешиваются с более солёными водами, например морскими [20].

По химическому составу термы делятся на два типа — HCO_3-Na (содовый) и SO_4-Na , между которыми имеются промежуточные подтипы. Воды первого типа отличаются наиболее низкой минерализацией (0.3–0.5 г/л), воды второго — чуть более высокой (0.4–1.0 г/л). Не укладывается в эту схему Питателевский родник: за счёт сульфатов (974 мг/л SO_4) его солёность достигает 1.8 г/л.

Вторая важная особенность азотных терм заключается в том, что все они являются щелочными (pH составляет от 7.9 до 10.1, среднее значение — 8.6). Зависимость между pH и солёностью достаточно сложная, но общая тенденция состо-

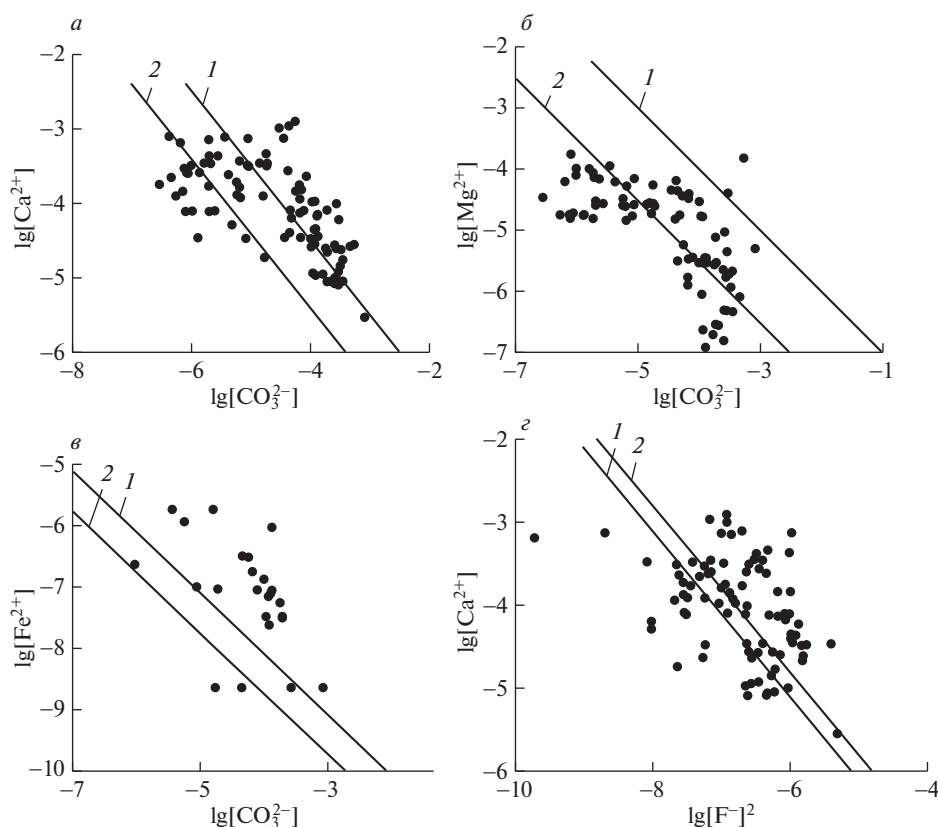


Рис. 4. Равновесие азотных терм с кальцитом (а), магнезитом (б), сидеритом (в) и флюоритом (з) при 25°C (1) и 100°C (2)

ит в том, что с ростом солёности значения рН несколько уменьшаются, то есть наблюдается зависимость, не типичная для подавляющей части пресных и солёных вод [11, 12]. Проведённый нами более детальный анализ поведения отдельных ионов в термах показал, что при их формировании имеют место два разнонаправленных процесса: один из них (гидролиз) ведёт к увеличению рН, другой (окисление серы) — к уменьшению этого показателя. Реальное значение рН определяется соотношением масштабов этих двух процессов, отсюда и сложная зависимость между солёностью и рН терм.

Ещё одна особенность изучаемых вод состоит в необычном соотношении катионов, среди которых резко доминирует Na^+ , содержания же Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ во всех их типах низки, а также в необычно высоком содержании фтора, концентрация которого составляет от 3 до 48 мг/л (среднее — 13,0). Температура изученных вод относительно невысокая и колеблется в пределах от 20 до 84°C, чаще всего составляя 40–60°C. Но это на выходе терм на дневную поверхность. Необходимо учитывать, что при подъёме горячих вод к местам разгрузки значительная их часть в той или иной мере смешивается с холодными грунтовыми

водами. Поэтому мы полагаем, что на глубине их температура значительно выше, косвенные признаки позволяют оценить её не менее чем в 80–100°C. Следовательно, глубина проникновения инфильтрационной воды в недра достигает 2–3 км, а возраст — нескольких миллионов лет [8].

Несмотря на низкую солёность азотных терм, подавляющая их часть насыщена широко распространёнными карбонатными минералами — кальцитом, магнезитом и сидеритом (рис. 4). Ненасыщенность некоторой части терм этими минералами объясняется смешением их с более пресными и холодными грунтовыми водами в области разгрузки. Поскольку растворимость карбонатов с повышением температуры уменьшается, степень равновесия азотных терм с глубиной растёт. Исходя из этого, было сделано предположение, что на некоторой, даже небольшой, глубине все азотные термы являются равновесными с карбонатными минералами. Данная гипотеза косвенно подтверждается обратной зависимостью содержания ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} от содержания ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} [19].

Ещё одним минералом, с которым наблюдается насыщение уже при умеренных параметрах терм, оказывается флюорит (см. рис. 4, з). Подав-

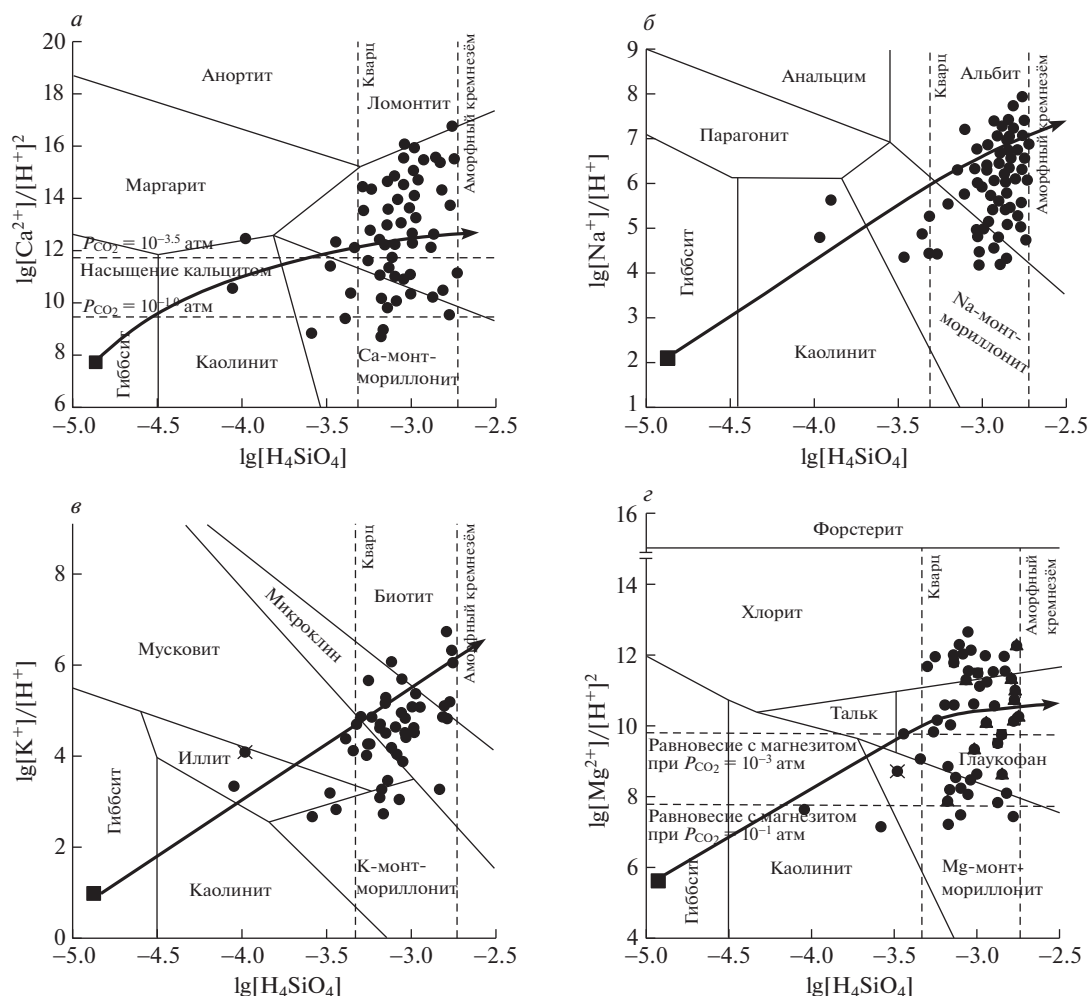


Рис. 5. Системы $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--CaO--CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ (а), $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O--CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ (б), $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--K}_2\text{O--CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ (в) и $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--MgO--CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ (г) при 100°C с нанесением данных по составу азотных терм Забайкалья

ляющая часть терм равновесна с этим минералом, как и с карбонатами. Хотя в отличие от карбонатов растворимость флюорита с ростом температуры увеличивается, даже при 100°C более 50% проб попадают в поле равновесия с флюоритом, а при наблюдаемой температуре их доля составляет 70%. Насыщение терм флюоритом, как и кальцитом, происходит уже при очень низкой их солёности (0.2–0.3 г/л, если pH воды > 8.2).

Несколько сложнее выглядит картина равновесия, характерная для алюмосиликатов (рис. 5). Чрезвычайно низкая солёность терм не препятствует установлению равновесности не только с каолинитом, монтмориллонитом и иллитом, но и с ломонтитом, микроклином, хлоритом, глаукофаном, мусковитом, биотитом, тальком, альбитом, то есть практически с тем же набором минералов, что и солёные воды Нюрольской впадины (см. рис. 3). Более того, в случае азотных терм количество проб, равновесных с перечисленными

минералами, значительно больше, чем в случае с седиментационными водами (сравните рис. 3 и 5). В чём причина данного явления?

Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим более подробно суть реакций гидролиза алюмосиликатов. Как известно, одна из особенностей таких реакций состоит в образовании гидроксильной группы OH^- , уравнивающей в растворе заряд подвижных катионов. Естественно, что чем больше катионов переходит при гидролизе в раствор, тем больше концентрация OH^- и тем выше значение pH этого раствора [4]. В реальных природных условиях гидролиз всегда протекает при участии CO_2 , который пользуется практически повсеместным распространением в земной коре в силу его различного генезиса — атмосферного, биохимического, метаморфического, вулканогенного и магматического. Поэтому часть образующейся при гидролизе щёлочности ней-

Таблица 2. Сравнительные значения ведущих параметров состава седиментационных вод Нюрольской впадины и азотных терм Забайкалья

Параметр	Седиментационные воды		Азотные термы		Отношение K_1/K_2
	пределы значений	среднее (K_1)	пределы значений	среднее (K_2)	
Температура, °C	70–116	89.8	29.2–76.7	47.7	1.88
pH	5.8–8.2	7.0	8.2–10.2	8.6	0.81*
Солёность, г/л	10.2–67	26.8	0.24–1.84	0.54	49.6
Na, г/л	3.0–26.3	9.3	0.06–0.47	0.14	66.4
K, г/л	0.1–0.7	0.25	$(2-8) \times 10^{-3}$	5×10^{-3}	50
SiO ₂ , мг/л	6.0–84	26.5	30–105	61.2	0.43
P_{CO_2} , атм	$10^{-2.0} - 10^{-3.8}$	$10^{-3.1}$	$10^{-4.8} - 10^{-6.4}$	$10^{-5.8}$	845

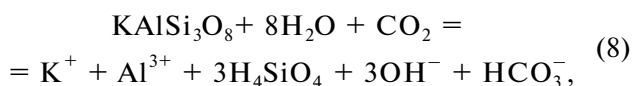
* Рост содержаний H^+ в 77.8 раза.

трализуется углекислым газом или другими кислотами, если они имеются в системе, по реакции



с образованием гидрокарбонат-иона, что и подтверждается фактическими данными по составу любой воды. Так обеспечивается непрерывная нейтрализация одного из продуктов реакции гидролиза и формирование подземных вод гидрокарбонатного типа значительно более кислых, чем это было бы в отсутствие CO_2 [11].

Приведу конкретный пример: углекислотный гидролиз микроклина протекает по реакции



константа которой при 100°C равна

$$K = [K^+] \cdot [Al^{3+}] \cdot [H_4SiO_4]^3 [OH^-]^3 [HCO_3^-] / P_{CO_2} = 10^{-48.8}. \quad (9)$$

Как видно из уравнения (9), квотант реакции, а значит, и состояние равновесия подземных вод с микроклином в основном определяются активностью в растворе кремнезёма и значением pH воды, которые в этом уравнении стоят в 3-й степени, а также значением P_{CO_2} , которое может колебаться в широких пределах, что подтверждают сравнительные данные, представленные в таблице 2.

Высокие значения pH и содержания SiO₂, но низкие P_{CO_2} в азотных термах резко увеличивают квотант реакции (8), что ведёт к более раннему насыщению раствора микроклином. Однако, поскольку реакции гидролиза алюмосиликатов однопотипны, а их константы близки (табл. 3), то вы-

вод о более раннем насыщении азотных терм микроклином по сравнению с седиментационными водами относится и к другим алюмосиликатам, включая минералы гранитов (альбит, биотит, мусковит, ортоклаз, кварц и др.).

Из всего сказанного можно заключить, что равновесие подземных вод с минералами гранитов наступает не только в глубоких солёных водах и рассолах, но и в пресных водах с солёностью <1 г/л, если они являются щелочными и не содержат высоких концентраций CO_2 или других кислот. Такие воды, естественно, остаются неравновесными с минералами базальтов и продолжают их активно растворять. Но их солёность в этом случае растёт незначительно по той простой причине, что подавляющая часть переходящих в раствор элементов связывается вторичными минералами: Ca — кальцитом, цеолитами и другими алюмосиликатами, Mg — глаукофаном, тальком, хлоритом, цеолитами, Na — альбитом, анальцитом, парагонитом, цеолитами, K — иллитом, мусковитом, микроклином, биотитом, флогопитом и др., Fe — сидеритом и Fe-алюмосиликатами, F — флюоритом, частично слюдами. Тем самым в системе устанавливается не только химическое, но и динамическое равновесие, обеспечивающее равенство поступающих в раствор и выпадающих из него элементов. Следствием этого баланса и является низкая минерализация терм, которая со временем или не растёт, или растёт незначительно.

Среди вторичных минералов особенно привлекает внимание альбит, поскольку он широко распространён в разных геологических условиях на относительно небольшой глубине. Поэтому рассмотрим процесс альбитизации как пример вторичного минералообразования более подробно.

Таблица 3. Константы реакций гидролиза некоторых алюмосиликатов и силикатов с H_2O и с $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ при 100°C

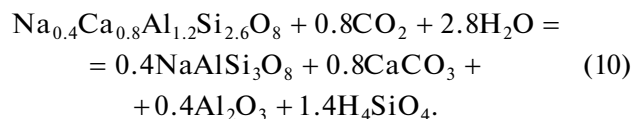
Минерал	Реакция растворения	Константы реакций только с H_2O		Константы реакций с H_2O и CO_2	
		lg K	lg Y	lg K	lg Y
Мусковит	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 10\text{H}_2\text{O} = \text{K}^+ + 3\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_4\text{SiO}_4 + 10\text{OH}^-$	-120.90	-7.11	-117.40	-6.53
Маргарит	$\text{CaAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 10\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 4\text{Al}^{3+} + 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + 14\text{OH}^-$	-148.20	-7.06	-141.60	-6.15
Парагонит	$\text{NaAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{11} \cdot \text{H}_2\text{O} + 10\text{H}_2\text{O} = \text{Na}^+ + 3\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_4\text{SiO}_4 + 10\text{OH}^-$	-118.60	-6.98	-115.30	-6.41
Ломонтит	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_8(\text{OH})_8 + 8\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2\text{Al}^{3+} + 4\text{H}_4\text{SiO}_4 + 8\text{OH}^-$	-90.53	-6.30	-83.95	-4.94
Микроклин	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 8\text{H}_2\text{O} = \text{K}^+ + \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_4\text{SiO}_4 + 4\text{OH}^-$	-52.11	-5.79	-48.80	-4.07
Анальцим	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O} + 5\text{H}_2\text{O} = \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+} + 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + 4\text{OH}^-$	-46.00	-5.75	-42.68	-4.74
Биотит	$\text{KFe}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 10\text{H}_2\text{O} = \text{K}^+ + 3\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_4\text{SiO}_4 + 10\text{OH}^-$	-102.70	-5.70	-99.33	-5.23
Альбит	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 8\text{H}_2\text{O} = \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_4\text{SiO}_4 + 4\text{OH}^-$	-50.00	-5.55	-46.71	-4.67
Глаукофан	$\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{SiO}_{22}(\text{OH})_2 + 22\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}^+ + 3\text{Mg}^{2+} + 2\text{Al}^{3+} + 8\text{H}_4\text{SiO}_4 + 14\text{OH}^-$	-151.90	-5.24	-145.30	-4.69
Хлорит	$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 + 10\text{H}_2\text{O} = 6\text{Mg}^{2+} + 4\text{H}_4\text{SiO}_4 + 12\text{OH}^-$	-101.90	-4.63	-95.29	-3.97
Тальк	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 10\text{H}_2\text{O} = 3\text{Mg}^{2+} + 4\text{H}_4\text{SiO}_4 + 6\text{OH}^-$	-58.30	-4.49	-51.75	-3.45
Кварц	$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_4\text{SiO}_4$	-3.29	-3.29	—	—
Халцедон	$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_4\text{SiO}_4$	-2.68	-2.68	—	—

Примечание. Y — условная константа, отнесённая к числу компонентов реакции в растворе [7].

АЛЬБИТИЗАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД — ОДНА ИЗ СТАДИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДЫ С ЭНДОГЕННЫМИ АЛЮМОСИЛИКАТАМИ

Итак, уже на небольшой глубине (1–3 км) в зависимости от геохимической среды и состава подземных вод, но независимо от их генезиса происходит насыщение водных растворов альбитом и другими вторичными алюмосиликатами, а значит, создаются благоприятные условия для развития, в частности, процессов альбитизации тех пород (минералов), с которыми подземные воды равновесны. Применительно к базальтам возникает проблема источников Na, необходимого для образования альбита, поскольку основные минералы в этих породах содержат Ca, Mg и Fe, натрий же находится преимущественно в рассеянной (изоморфной) форме. Поэтому примем условно, что в базальтах натрий концентрируется в плагиоклазах. Известно, что они образуют непрерывный ряд уменьшения содержаний Ca с увеличением Na от анортита к альбиту. Учитывая значения кларка Ca и Na в базальтах, равные 6.72

и 1.94% соответственно, формулу усреднённого плагиоклаза в базальтах, имея в виду только соотношения Ca и Na, можно записать как $\text{Na}_{0.4}\text{Ca}_{0.8}\text{Al}_{1.2}\text{Si}_{2.6}\text{O}_8$. Отношение Ca/Na в таком плагиоклазе равно 3.91, в базальтах оно составляет очень близкое значение — 3.46. Можно также сравнить отношение Si/Al, которое в нашем условном плагиоклазе равняется 2.24, а в базальтах — 2.74, что даёт удовлетворительную сходимость. В этом случае реакция образования альбита из плагиоклаза (упрощённый вариант) будет иметь следующий вид:



Конечно, эта реакция представляет собой лишь часть процесса альбитизации, поскольку базальты содержат и другие минералы, а в процессе гидролиза образуется не только альбит. Но она показывает в принципе, что при связывании альбитом всего Na базальтов другие элемен-

ты (Ca, Si, Al) оказываются избыточными и участвуют в образовании иных вторичных минералов, которые в реакции (10) невозможно показать.

Из сказанного можно сделать вывод, что гидролиз базальтов при достаточно длительном их взаимодействии с водой обязательно приводит к образованию альбита. При этом альбит, подобно другим вторичным минералам, может формироваться как далеко от источников Na, Si, Al, так и непосредственно на месте растворяемого исходного минерала, заполняя пространство, которое ранее занимал другой минерал, повторяя его морфологию. Подобным образом формируются псевдоморфозы одного минерала по другому, например, альбита по анортиту или широко развитые в природе метасоматические вторичные образования. Метасоматоз протекает всегда в условиях ограниченного пространства в результате заполнения освобождаемого пространства при растворении одного минерала другим, который в этих условиях осаждается [21].

Альбитизация горных пород различного состава широко распространена в земной коре. Масштабы её резко возрастают с глубиной и повышением температуры, потому что такие условия более благоприятны для развития данного явления. Одним из первых на это обратил внимание А.В. Копелиович [22], который, изучая эпигенез древних отложений Русской платформы, показал, что процессы альбитизации носят региональный характер. С тех пор были опубликованы сотни работ по данной проблеме, специфицированной по разным регионам мира. Если обратиться к некоторым из этих работ [15, 23–28], можно обнаружить не только исключительную распространённость процессов альбитизации, но и глубину различий в их трактовке разными учёными. Что касается механизма альбитизации, большинство исследователей считают, что он определяется процессами растворения одних минералов и образования других. Это так называемая гипотеза растворения–осаждения, которая, по сути, совпадает с развиваемой мной и моими коллегами идеей равновесно-неравновесного состояния системы вода–порода.

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГРАНИТИЗАЦИИ БАЗАЛЬТОВ

Из изложенного в предыдущих разделах становится понятным: в земной коре на относительно небольшой глубине и даже при невысокой температуре (< 100°C) устанавливается термодинамическое равновесие подземных вод с большой группой вторичных алюмосиликатов, включая и все минералы гранитов (микроклин, мусковит, биотит, альбит, кварц и др.), которые потому и формируются в этих условиях. Любопытно, что

эти минералы образуются почти одновременно, поскольку находятся в очень близких геохимических и термодинамических средах, а константы реакций их гидролиза характеризуются близкими значениями, особенно если расчёт вести на одну растворённую молекулу (см. табл. 3). В этом случае константы гидролиза альбита, микроклина, биотита и кварца – ведущих минералов гранитов – практически совпадают. Поэтому малейшее изменение в растворе содержаний Si, K и Na, а также значений pH и P_{CO_2} приводит к изменению формируемого минерала. Попутно отметим, что все образующиеся в этих условиях алюмосиликаты, за исключением альбита и микроклина, являются водными, что косвенно свидетельствует об их образовании в процессе гидролиза. Следовательно, на строго определённом этапе эволюции системы вода–порода гидролиз минералов базальтов реализуется с образованием комплекса вторичных минералов, который соответствует составу гранитов. С этого момента начинается длительный процесс гранитизации базальтов, поскольку возникает особая равновесно-неравновесная система, представленная не отдельными минералами, а целыми массивами разных горных пород (основного и кислого состава), которые, однако, активно взаимодействуют друг с другом через водный раствор, обеспечивающий трансформацию базальтов в граниты.

Возникшая система базальт–вода–гранит может развиваться бесконечно долго даже в геологических масштабах времени. При этом граница базальтов с гранитами постепенно углубляется, так как мощность зоны формируемых гранитов растёт за счёт растворения базальтов. Последнее возможно в условиях развития тектонически стабильных геологических структур, таких как щиты. Вот почему наиболее мощная гранитная кора наблюдается не в океанической коре, а на щитах, которые в течение первых сотен миллионов, а иногда и миллиардов лет развивались в условиях относительно стабильного тектонического режима. Гидродинамический и гидрогеохимический режимы в таких структурах также стабильны.

С увеличением глубины зоны гранитизации и ростом температуры вероятность этого процесса возрастает, и он становится региональным. При этом равновесие с минералами гранитов сохраняется даже в водах с высоким содержанием CO_2 (2–4 г/л). По данным итальянских учёных [29], изучавших равновесие высокотермальных ($T = 200–250^\circ C$) хлоридно-натриевых вод с солёностью 2–22 г/л с минералами вмещающих пород в районе гидротермальных полей Амиата и Латера (Италия), несмотря на наличие CO_2 , снижающего pH высокотемпературных вод, все они равновесны с мусковитом, альбитом и K-полевым шпатом (рис. 6), то есть система вода–порода остаётся

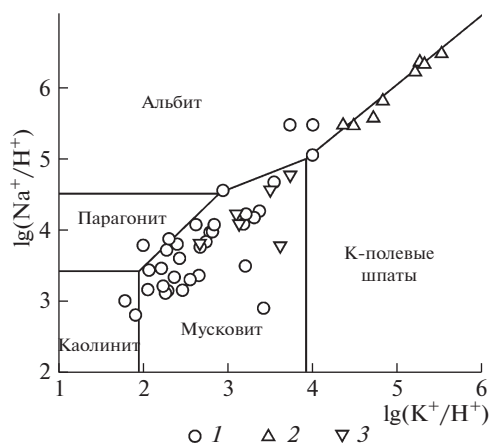


Рис. 6. Система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-SiO}_2$ при 300°C и давлении 86 бар с нанесением данных по термальным (1) и высокотермальным водам районов Амьата (2) и Латера (3), Италия

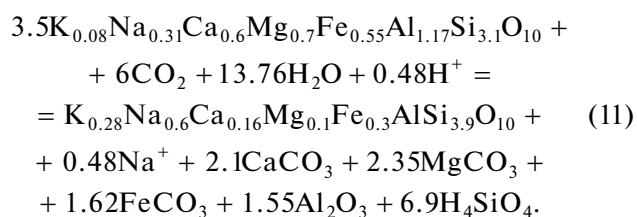
равновесно-неравновесной: равновесной с минералами гранитов, но неравновесной с минералами базальтов.

Итак, гранитизация базальтов — это геологически длительный процесс, который протекает в достаточно широком диапазоне температур, давлений и разных геохимических сред. Причина данного явления кроется в том, что в таких условиях состав подземных вод практически не меняется и система вода–порода работает на образование одних и тех же вторичных алюмосиликатов в течение геологически длительного времени. В этом случае граниты — главный результат эво-

люционного развития системы вода–базальты. Этап гранитизации может продолжаться, по крайней мере, до критической температуры воды, которая в реальных природных условиях достигает 400°C . В переводе на глубины это составляет от 3 до 20 км. На таких глубинах гранитизация — естественный процесс, он не может не развиваться, поскольку обусловлен внутренним состоянием системы вода–базальты, без которого существование системы невозможно [30].

Естественно, что в процессе гранитизации та часть химических элементов, которая не участвует в образовании гранитов, может выноситься из системы, но необязательно в другие геологические структуры. Эти элементы могут концентрироваться здесь же в форме жил или иных морфологических образований. Разумеется, часть элементов, если тому благоприятствуют гидродинамические условия, может выноситься из системы и на большие расстояния. Тогда формируются, например, долгоживущие гидротермальные системы, в которых создаются иные гидрогеохимические условия и образуется другой комплекс вторичных минералов. Часть элементов может оказаться участником осадочного или метаморфического процессов и т.д.

Для того чтобы хотя бы в общем виде представить соотношение элементов, концентрируемых гранитами и выносимых за пределы этой системы, рассмотрим их баланс. Сделать это можно, записав в усреднённом виде реакцию гранитизации базальтов по тому же принципу, который заложен в реакции (10). Взяв формулы двух условных минералов, соответствующих по составу базальтам и гранитам, точнее, кларковому их содержанию в основных и кислых породах, получим следующее уравнение:



Естественно, мы полагаем, что при гранитизации никакого дополнительного привноса вещества, кроме H_2O и CO_2 , в систему не происходит, включая и калий, который относительно других элементов в максимальной степени накапливается в гранитах. Как видно из таблицы 4, граниты при своём образовании наиболее активно по сравнению с базальтами концентрируют калий, хлор, углерод, фтор, но в меньшей степени — кремний и натрий. В то же время в максимальной степени выносятся магний и кальций, несколько в меньшей — марганец, железо, фосфор, частично алюминий и стронций.

Таблица 4. Соотношение кларковых содержаний ведущих элементов в базальтах и гранитах

Элемент	Кларковое содержание, %		Отношение 2 к 1
	базальты (1)	граниты (2)	
K	0.83	3.34	4.02
Cl	0.005	0.002	4.00
C	0.01	0.03	3.00
F	0.04	0.08	2.00
Na	1.94	2.77	1.43
Si	24.0	32.3	1.35
S	0.03	0.04	1.12
Al	8.76	7.70	0.88
Sr	0.04	0.03	0.75
P	0.14	0.07	0.50
Fe	8.56	2.70	0.32
Mn	0.20	0.06	0.30
Ca	6.72	1.58	0.23
Mg	4.50	0.56	0.12

Если выравнять реакцию (11) по наиболее дефицитному элементу — калию, то выяснится, что для образования одной тонны гранитов требуется 3.5 т базальтов. В этом случае из базальтов будет вынесено за пределы рассматриваемой системы Mg — 96%, Ca — 92%, Fe — 84%, Al — 75%, Si — 73%, Na — 42% и т.д. Всего граниты свяжут примерно 30% всех элементов, и, соответственно, 70% в граниты не попадут. Конечно, приведённые цифры носят ориентировочный характер и показывают только направленность процесса гранитизации и принципиальную возможность его реализации.

Освобождаемые при гранитизации базальтов элементы могут участвовать в образовании других минералов: Ca, Mg и значительная доля Fe — в формировании карбонатов, ещё одна часть Fe — в формировании оксидов, гидроксидов, сульфидов, вторичных алюмосиликатов. Последние свяжут подавляющую долю Si и Al, не вошедших в состав гранитов, которые включают в свой состав также только треть Na и пятую часть Fe. Значительная доля Mg и Ca, наоборот, будет вынесена из системы и окажется, например, в осадочной оболочке.

В этой связи любопытно напомнить, что при определении баланса химических элементов в земной коре возникла проблема с балансом кальция и, в меньшей степени, магния именно в осадочной оболочке. Реальный средний состав этих элементов в стратисфере оказался намного выше расчётного. Вот что по этому поводу писал академик А.Б. Ронов: “Нашла подтверждение и другая важная особенность состава осадочных пород стратисферы — высокое содержание в них кальция, что до сих пор остаётся самой загадочной чертой геохимии поверхностных оболочек (курсив мой. — С.Ш.). Несколько завышено в стратисфере и содержание MgO. Весьма характерны также пониженные содержания натрия и калия и слегка сдвинутое в пользу калия отношение Na/K” [31, с. 69]. Конечно, А.Б. Ронов исходил из совершенно другой концепции. Он считал, что гранитно-метаморфические породы континентальной коры выступают главным источником всех химических элементов осадочного слоя планеты, который обогащён водой, диоксидом углерода, органическим углеродом, серой, хлором, фтором, бором и некоторыми другими за счёт дополнительного поступления их из мантии в результате проявления процессов дегазации. Естественно, что А.Б. Ронов не мог учитывать неизвестный никому масштабный процесс гранитизации базальтов. Поэтому слишком большое содержание в стратисфере и гидросфере Ca и Mg для него оказалось загадкой. Представляется, что этот факт является дополнительным убедительным свидетельством образования гранитов путём трансформации базальтов и даёт простое объяснение

“самой загадочной черты геохимии поверхностных оболочек” [31, с. 69].

* * *

В.И. Вернадский, опираясь на идеи Ж.-Б. Ламарка о водном образовании гранитов из осадочных пород, богатых органическим веществом, полагал, что “гранитная оболочка Земли есть область былых биосфер”, в процессе метаморфизма осадочные породы, “теряя всякие следы жизни, превращаются в гранитную оболочку, выходят из биосферы” [32, с. 355]. Другими словами, по В.И. Вернадскому, граниты — это не магматические, а метаморфические образования, сформированные из осадочных горных пород путём их нагревания и минералогического преобразования.

Взгляды В.И. Вернадского и Ж.-Б. Ламарка на происхождение гранитов, хотя и являются разными, совпадают в признании немагматического генезиса этих образований. В наше время дискуссия по данному вопросу продолжается. Например, В.Л. Хомичев, не отвергая магматический генезис гранитов, тем не менее считает, что “первичной гранитной магмы нет” [2, с. 95]. Конечно, ни Ж.-Б. Ламарк, ни В.И. Вернадский не могли знать механизмы взаимодействия подземных вод с алюмосиликатными магматическими породами, открытые лишь сравнительно недавно. Суть этого открытия в том, что вода, как оказалось, всюду растворяет базальты, но состав образуемых гидрогенно-минеральных комплексов меняется в зависимости от времени её взаимодействия с алюмосиликатами. Тем не менее среди вторичных образований основное место занимают граниты. В этом — суть эволюции неживой материи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В., Витязев А.В. Происхождение и эволюция Земли: современный взгляд // Вестник РАН. 2007. № 5. С. 396–402.
2. Хомичев В.Л. Плутоны — дайки — оруденения // Отечественная геология. 2012. № 2. С. 90–96.
3. Шварцев С.Л. Почему нет гранитного слоя в океанической коре? // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы Всероссийской конференции с участием иностранных учёных. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. С. 49–55.
4. Shvartsev S.L. The basic contradiction that predetermined the mechanisms and vector of global evolution // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2015. V. 85. №. 4. P. 342–351; Шварцев С.Л. Основное противоречие, определившее механизмы и направленность глобальной эволюции // Вестник РАН. 2015. № 7. С. 632–642.
5. Рассадкин Ю.П. Вода обыкновенная и необыкновенная. М.: Галерея СТО, 2008.

6. Шварцев С.Л. Фундаментальные механизмы взаимодействия в системе вода–горная порода и её внутренняя геологическая эволюция // Литосфера. 2008. № 6. С. 3–24.
7. Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А. и др. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т. 2. Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза / Отв. ред. Б.Н. Рыженко. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.
8. Prigogin I., Stengers I. Order out of chaos. Mains new dialogue with nature. London: Heineman, 1984.
9. Shvartsev S.L. Self-organizing abiogenic dissipative structures in the geologic history of the Earth // Earth Sci. Frontiers. 2009. V. 16. P. 257–275.
10. Оллиер К. Выветривание. М.: Недра, 1987.
11. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Недра, 1998.
12. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the earth // Geochem. Intern. 2008. V. 46. P. 1285–1398.
13. Перельман А.И. Геохимия. Изд. 2-е, доп. М.: Высшая школа, 1989.
14. Махнач А.А. Катагенез и подземные воды. Минск: Наука и техника, 1989.
15. Холодов В.Н. Геохимия осадочного процесса. М.: ГЕОС, 2006.
16. Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция / Под ред. Ю.Г. Леонова, Ю.А. Воложа. М.: Научный мир, 2004.
17. Shvartsev S.L., Silkina T.N., Zhukovskaya E.A., Trushkin V.V. Underground waters of petroliferous deposits of the Nyurol'ka sedimentary basin (Tomsk region) // Rus. Geol. and Geoph. 2003. V. 44. P. 451–464; Шварцев С.Л., Силкина Т.Н., Жуковская Е.А., Трушкин В.В. Подземные воды нефтегазоносных отложений Нюрольского осадочного бассейна (Томская область) // Геология и геофизика. 2003. № 5. С. 451–464.
18. Plyusnin A.M., Zamana L.V., Shvartsev S.L. et al. Hydrogeochemical peculiarities of the composition of nitric thermal waters in the Baikal rift zone // Rus. Geol. and Geoph. 2013. № 5. P. 495–508; Плюснин А.М., Замана Л.В., Шварцев С.Л. и др. Гидрогеохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. 2013. № 5. С. 647–664.
19. Shvartsev S.L., Zamana L.V., Plyusnin A.M., Tokarenko O.G. Equilibrium of nitrogen rich spring waters of the Baikal rift zone with host rock minerals as a basis for determining mechanisms of their formation // Geochemistry Intern. 2015. № 8. P. 713–725; Шварцев С.Л., Замана Л.В., Плюснин А.М., Токаренко О.Г. Равновесие азотных терм байкальской рифтовой зоны с минералами водовмещающих пород как основа для выявления механизмов их формирования // Геохимия. 2015. № 8. С. 720–733.
20. Басков Е.А., Суриков С.Н. Гидротермы земли. Л.: Недра, 1989.
21. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. Изд. 2-е. М.: Наука, 1982.
22. Конелиович А.В. Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы. М.: Наука, 1965.
23. Boles J.R. Active albitization of plagioclase in Gulf Coast tertiary // Amer. J. of Sci. 1982. V. 282. P. 165–180.
24. Wolker T.R. Diagenetic albitization of potassium feldspar in arkosic sandstones // J. Sedim. Petrol. 1984. № 1. P. 3–16.
25. Ben Baccar M., Fritz B., Madé B. Diagenetic albitization of K-feldspar and plagioclase in sandstone reservoirs: thermodynamic and kinetic modeling // J. of Sedim. Petrol. 1993. № 6. P. 1100–1109.
26. Putnis A., Austrheim H. Fluid induced processes: metasomatism and metamorphism // Geofluids. 2010. V. 10. P. 254–269.
27. Harlov D.E., Wirth R., Hetherington C.J. Fluid-mediated partial alteration in monazite: the role of coupled dissolution – reprecipitation in element redistribution and mass transfer // Contrib. to Mineral. and Petrol. 2011. V. 162. P. 329–348.
28. Upadhyay D. Alteration of plagioclase to nepheline in the Khariar alkaline complex, SE India: Constraints on metasomatic replacement reaction mechanisms // Lithos. 2012. V. 155. P. 19–29.
29. Minissale A., Magro G., Tassi F., Verrucchi C. Origin and circulation patterns of deep and shallow hydrothermal fluids in the Mt. Amiata geothermal region (central Italy) // Proc. of the 8th Int. Symp. on Water-Rock Inter. Rotterdam: Balkema, 1995. P. 523–528.
30. Shvartsev S.L. The internal evolution of the water-rock geological system // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2012. V. 82. P. 134–142; Шварцев С.Л. Внутренняя эволюция геологической системы вода–порода // Вестник РАН. 2012. № 3. С. 242–251.
31. Ронов А.Б. Стратисфера, или осадочная оболочка Земли (количественное исследование). М.: Наука, 1993.
32. Вернадский В.И. Собрание сочинений: в 24-х томах. Т. 9. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 2013.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЦЕНТРЫ В СИСТЕМЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ГОСУДАРСТВЕННОМ УРОВНЕ

© 2016 г. А.С. Крымская

Санкт-Петербургский государственный институт культуры, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: krymskayaalbina@gmail.com

Поступила в редакцию 23.01.2016 г.

В статье анализируются причины создания в структуре Академии наук СССР институтов, выполнявших функции информационно-аналитических центров, и их роль в формировании внешней, в том числе внешнеэкономической, политики страны. Автор опирается на воспоминания тех, кто организовал процесс экспертной поддержки решений, принимавшихся на самом высоком государственном уровне, учреждениями АН СССР, а затем Российской академии наук.

Ключевые слова: информационно-аналитический центр, мозговой центр, АН СССР, Российская академия наук, ИМЭМО, Институт США и Канады РАН, ВИНТИ, ИНИОН.

DOI: 10.7868/S0869587316120070

Конец XX — начало XXI в. ознаменовались ростом количества информационно-аналитических центров, что в значительной степени объясняется тремя взаимосвязанными причинами: увеличением информационного потока, возросшим числом международных социально-экономических кризисов и конфликтов и усложняющимися задачами обеспечения руководства стран информационной продукцией, необходимой для принятия адекватных и своевременных решений. В настоящее время в мире действует свыше 6.5 тыс. информационно-аналитических, либо, как их ещё называют, мозговых, или просто аналитических центров (ещё одно синонимичное наименование — “фабрики мысли”). Почти треть из них находится в США, где в начале XX столетия появились первые такие институции: в 1910 г. — Фонд Карнеги за международный мир, в 1916 г. —

Институт государственных исследований, преемником которого в 1927 г. стал Институт Брукинса, в 1919 г. — Гуверовский институт при Стэнфордском университете. В настоящей статье внимание будет сосредоточено на истории возникновения и особенностях центров, созданных в середине XX в. в структуре Академии наук СССР, в то время как зарубежные и российские негосударственные информационно-аналитические центры останутся за рамками рассмотрения.

Прежде всего необходимо определить само понятие информационно-аналитического центра, а также синонимичные ему понятия, перечисленные выше: это учреждение, осуществляющее “оперативное и стратегическое исследование острых политических, экономических и социальных проблем, а также общественных потребностей и запросов” и производящее “интеллектуальный продукт, который оказывает влияние на формирование общественного мнения, включая бизнес и государственных деятелей, принимающих значимые для общества управленческие решения” [1, с. 124].

Отечественные аналитические организации, созданные в советский период, обычно классифицируются следующим образом: “1) партийные аналитические центры — Академия общественных наук при ЦК КПСС и экспертные структуры при ЦК; 2) оборонные, секретные, связанные со службами безопасности и разведывательными службами; 3) академические — учреждения Ака-



КРЫМСКАЯ Альбина Самуиловна — кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры документоведения и информационной аналитики, заместитель декана библиотечно-информационного факультета СПбГИК.

демии наук; 4) университетские — кафедральные программы; 5) ведомственные — внутри министерств; 6) технологические производственные” [2, с. 46].

Предлагается классификация информационно-аналитических служб, в которой институты и учреждения РАН могут называться аналитическими центрами лишь в силу того, что в их структуре имеются такие службы [3], то есть не институт в целом, а лишь его подразделение выполняет аналитические функции. Если же проанализировать деятельность научно-исследовательских институтов, их функции в полной мере соответствуют типовым задачам, которые определены для региональных информационно-аналитических центров:

“1. Информационный мониторинг экономической, социально-политической, экологической ситуации в регионе (городе, районе) и подготовка на его основе аналитических материалов для заказчика (обзоры, ситуационные справки, прогнозы).

2. Экспертиза готовящихся нормативных документов, важнейших управленческих решений, наиболее значимых для региона проектов.

3. Анализ работы территориальных органов управления, разработка рекомендаций по оптимизации организационной структуры управления регионом.

4. Информационно-аналитический мониторинг социально-политической ситуации в регионе, обеспечение взаимодействия руководителей территориальных органов власти с местными отделениями политических партий, лидерами общественных организаций, национальных движений и союзов, религиозных конфессий и т.д.

5. Отслеживание и анализ публикаций в центральной и местной прессе о ситуации в регионе и работе органов исполнительной власти.

6. Подготовка аналитических и обзорных материалов о социально-экономической ситуации в других регионах России.

7. Оценка управляющих решений органов исполнительной власти, обобщение опыта территориального управления в стране и за рубежом, участие в создании и актуализации баз и банков данных региональной информации.

8. Подготовка информационно-аналитических материалов об экономической и политической ситуации в регионе” [3, с. 6].

Применительно к научно-исследовательским институтам Академии наук перечисленные типовые задачи отличаются лишь масштабом: следует говорить не о регионе, а о стране в целом. Продемонстрируем это на примерах.

Член-корреспондент РАН Р.Ш. Ганелин в своём докладе “РАН и государственная власть”

справедливо отмечал, что система гуманитарных институтов в системе Академии наук формировалась с целью “предоставлять Кремлю экспертно-исследовательские материалы вневедомственного происхождения для сопоставления с ними позиций как правительственных государственных учреждений, так и отраслевых отделов ЦК КПСС” [4]. Одно из первых подобных учреждений возникло в 1925 г. при Коммунистической академии, а после её ликвидации в 1936 г. было передано в состав Академии наук СССР. Это был Институт мирового хозяйства и мировой политики (ИМХМП), который стал центром по разработке научно обоснованных подходов к внешнеполитическим и внешнеэкономическим вопросам для принятия решений на государственном уровне.

В 1927–1947 гг. ИМХМП руководил академик Е.С. Варга, знакомый со Сталиным по совместной работе в Коминтерне, а позднее в 1929 г. заслуживший доверие вождя сбывшимся прогнозом обвала на нью-йоркской бирже как начала самого глубокого в истории капитализма экономического кризиса [5, с. 26]. По решению ЦК ВКП(б) институт обеспечивался иностранной специальной литературой, статистическими изданиями и периодикой. Деятельность ИМХМП осуществлялась по двум каналам — открытому и закрытому. Открытый канал — это выпуск монографий, брошюр, статистических обзоров, ежемесячного журнала “Мировое хозяйство и мировая политика” и “Ежегодника мирового хозяйства и мировой политики” [там же, с. 28]. Материалы закрытого (“служебного” и “секретного”) характера предназначались исключительно для органов государственной власти.

Значение ИМХМП для формирования политической повестки дня демонстрирует такой пример: «Под руководством Е.С. Варги ИМХМП приобретал растущий авторитет не только в СССР, но и за рубежом. Экономические разработки ИМХМП выгодно отличались от примитивно-пропагандистских оценок, дававшихся на страницах подавляющего большинства советских партийных изданий. К ним проявляли интерес и в деловых кругах западных стран. “Мы внимательно следим за статьями Варги — в них содержится более компетентный анализ экономической конъюнктуры западных стран, чем тот, с которым выступают наши экономисты”, — говорили американские бизнесмены А.А. Манукяну, работавшему в 30-е годы в США в Амторге» [там же, с. 29].

В октябре 1947 г. ИМХМП был объединён с Институтом экономики в Институт экономики АН СССР (причины этого достаточно подробно изложены в книге отечественного историка П.П. Черкасова [там же, с. 43–76]), а в апреле

1956 г. Президиум АН СССР инициировал создание Института мировой экономики и международных отношений (ИМЭМО). По словам Р.Ш. Ганелина, идея организации института возникла в Отделе ЦК по связям с иностранными компартиями, который возглавлял Б.Н. Пономарёв. В его записке от 11 августа 1955 г. отмечалось, что “изучение экономики и политики зарубежных стран поставлено в настоящее время неудовлетворительно” [4]. В частности, указывалось: “Существующие институты Академии наук СССР — Институт экономики, Институт истории и другие — слабо справляются с этим делом и не удовлетворяют потребностей партийных и государственных органов в получении объективной, научно проверенной информации о процессах, происходящих в экономике и политике зарубежных стран. ...Создание самостоятельного Института мировой экономики и международных отношений могло бы разрешить значительную часть задач, находящихся в настоящее время в запущенном состоянии. Основными задачами института могло бы быть всестороннее и глубокое изучение таких стран, как США, стран Западной Европы и Латинской Америки...” [там же].

Первый директор института академик А.А. Арзуманян (1956–1965), который вследствие родства и дружбы с А.И. Микояном был вхож в верхние эшелоны власти, сумел доказать руководству страны, что наука нужна не только для изготовления ядерного оружия и ракет, но и для формирования политики [6, с. 44]. ИМЭМО очень быстро приобрёл репутацию авторитетного центра комплексных фундаментальных и прикладных социально-экономических, политических и стратегических исследований, призванного определять тенденции мирового развития. В институте существовал информационный отдел из 120 экспертов, которые готовили огромное количество рефератов, сводок и справок [7, с. 73]. В ЦК регулярно направлялись аналитические записки, которые готовились в том числе лично вторым директором института Н.Н. Иноземцевым в 1966–1982 гг. [8, с. 59].

Похожим образом был создан другой аналитический центр — Институт США и Канады. В 1959 г. А.Н. Яковлев, будущий член и секретарь ЦК КПСС, а в то время аспирант Академии общественных наук при ЦК КПСС, вернувшись из США, направил в ЦК КПСС записку об итогах стажировки в Колумбийском университете. В ней он указал на форсированное создание русских институтов и славянских факультетов в США после запуска Советским Союзом в октябре 1957 г. первого искусственного спутника Земли. “Срочная подготовка научных и пропагандистских кадров в США, — писал А.Н. Яковлев, — нуждается во внимании и требует, на мой взгляд, необходимых ответных мер. Первой из них может явиться

сосредоточение научно-исследовательской работы в одном, возможно, новом учреждении. Расширение и введение новых курсов в институтах и университетах, усиление изданий работ по США и другие меры также нуждаются в рассмотрении, учитывая длительную предстоящую идеологическую борьбу, к которой в Соединённых Штатах ведётся активная и ускоренная подготовка” [9].

Отметим, что исследовательские центры, специализировавшиеся на изучении СССР, возникли в ведущих университетах США ещё в 1940-е годы. К первым из них относятся Русский (ныне — Гарримановский) институт при Колумбийском университете (1946) и Русский исследовательский центр в Гарварде (1948) [10]. В последующие годы в результате принятия в 1958 г. Закона об образовании ради национальной безопасности (National defense education act)¹ стали открываться центры в Индианском университете (1958), Университете Мичигана (1959), Университете Иллинойса в Урбана-Шампейне (1959), Джорджтаунском университете (1959) и др. Теоретические знания о нашей стране, полученные в этих центрах, дополнялись исследовательской работой в Советском Союзе по программам научных обменов. Некоторые выпускники впоследствии оказывались на правительственной службе, становились экспертами и советниками американского правительства по вопросам отношений с СССР, а затем Россией². Более того, по мнению некоторых историков, неучастие в программах обменов негативно отразилось на карьере ряда американских политиков, в частности, бывшего министра обороны США Р. Гейтса и бывшего государственного секретаря США К. Райса [11]. Вначале сокращение, а затем и прекращение государственного финансирования русистики в США привело к снижению уровня экспертизы и проблеме разрыва поколений.

Институт США и Канады был создан в 1967 г. и уже в апреле 1968 г. была подготовлена первая аналитическая записка о прогнозе последствий президентских выборов в США для советско-американских отношений. Новое учреждение возглавил Г.А. Арбатов, выпускник факультета международных отношений МГИМО, в 1963–1964 гг. заведовавший сектором ИМЭМО, в 1964–1967 гг. работавший консультантом, а затем руководителем группы консультантов отдела ЦК КПСС. Он описывает мотивы создания института следующим образом: «Замысел при организации института (инициатива принадлежала МИД СССР и Академии наук; я даже не знал о том, что

¹ Американский историк, специалист по России Г. Фриз обратил внимание на геополитические мотивы, отражённые в названии закона [11, с. 242].

² По данным экспертов, в США в настоящее время 32 университета предлагают магистерские программы по изучению России и стран Восточной Европы [12].

они обратились к руководству с таким предложением) состоял в том, чтобы создать центр, занимающийся фундаментальными исследованиями, который бы не ограничивался публикациями академических книг и статей, а доводил результаты этих исследований до практических выводов и рекомендаций, прежде всего в сфере советско-американских отношений. Предполагалось, что исследования будут вестись на междисциплинарной основе — экономистами, политологами, историками, социологами, специалистами по военным проблемам и т.д. Думаю, в какой-то мере сама идея создания института была подсказана публикациями (подчас рекламными) о работе американских “Рэнд корпорейшн”, Гудзоновского института, тогда ещё возглавлявшегося знаменитым Германом Каном, и других подобных исследовательских центров» [13, с. 134]. По воспоминаниям Г.А. Арбатова, с первых лет работы института его сотрудников отличала смелость и отчаянность в высказывании решительных суждений [там же].

Свою карьеру Г.А. Арбатов начинал в Издательстве иностранной литературы, где “прирабатывал рецензиями на книги, рефератами и переводами”, а затем по рекомендации работников издательства был принят на работу в Институт США и Канады АН СССР. «Главной моей обязанностью, — пишет Г.А. Арбатов об этом периоде своей жизни, — было читать американскую, английскую и немецкую политическую, экономическую и философскую литературу, чтобы отобрать наиболее интересное для перевода и реферирования в “закрытых” (предназначенных для руководства) изданиях. За всю свою остальную жизнь я не прочёл столько политических книг, сколько за эти четыре года» [там же, с. 46]. Впечатления Г.А. Арбатова позволяют судить о том, на каком основании строились экспертные оценки для правительства: чтение и реферирование зарубежной литературы с последующим изданием и распространением сборников рефератов под грифом “для служебного пользования”. Отчасти с этой же целью создавались институты научной информации. В 1952 г. в Академии наук СССР был создан Институт научной информации, впоследствии переименованный во Всесоюзный институт научной и технической информации (ВИНИТИ)³, призванный анализировать

мировой поток научно-технической литературы с последующим информационным обеспечением специалистов. За десятилетия своего существования ВИНИТИ превратился в крупнейший информационно-аналитический центр.

Другое специализированное учреждение научной информации, но уже в области общественных наук — Институт научной информации по общественным наукам (ИНИОН) — было организовано на базе Фундаментальной библиотеки по общественным наукам в 1969 г. Уже в течение первого десятилетия существования института была сформирована уникальная трёхступенчатая (библиографическая — реферативная — аналитическая информация) система информационных изданий по общественным наукам, объединяющая центры научной информации не только Советского Союза, но и социалистических стран. Этого удалось достичь за счёт многоцелевого анализа содержания издаваемой по всем областям общественных наук отечественной и зарубежной литературы (в том числе иностранных журналов), которую ИНИОН получал из 115 стран мира.

Популярность информационных изданий ИНИОНа в 1970–1980-е годы во многом объяснялась тем, что институт был единственным в СССР научным учреждением, освобождённым от контроля Главного управления по делам литературы и издательств (Главлит). Поэтому при знакомстве с зарубежной литературой читатели могли делать самостоятельные выводы. Известный философ А.И. Ракитов в воспоминаниях, помещённых в сборнике “ФБОН–ИНИОН”, упоминает два журнала — “Общественные науки в СССР” и “Общественные науки за рубежом”, которые готовились в ИНИОНе и играли существенную роль в знакомстве советского человека с отечественной и мировой литературой: «Так как даже советскую литературу не все могли прочитать, то эти журналы как бы подавали на “блюдечке с голубой каёмочкой” всю наиболее ценную информацию. Образно выражаясь, они освобождали читателя от “раскалывания скорлупы ореха” и давали прямо “ядрышко” (как у Пушкина “ядра — чистый изумруд”). А журнал “Общественные науки за рубежом” был интересен в особенности потому, что огромного количества имён зарубежных авторов просто никто не знал. В интеллектуальном плане это было хотя и не “окно”, но всё же “форточка” в Европу и в Америку» [15, с. 120].

Свидетельством роста авторитета ИНИОНа как аналитического центра служит выступление Р.А. Сергеева, руководителя группы советников министра иностранных дел СССР А.А. Громыко, в прениях по докладу директора ИНИОНа В.А. Виноградова на заседании Президиума АН СССР в октябре 1974 г. В частности, Р.А. Сергеев в своём выступлении отметил, что ИНИОН “на-

³ В 1960 г., когда Ю. Гарфилд переименовывал свою компанию “Eugene Garfield Association”, он выбрал название “Institute for Scientific Information”, находясь под впечатлением от работы Института научной информации в СССР. Финансовая поддержка, которую институт Гарфилда получил при издании Указателя научных ссылок, повлёкшем за собой создание в Национальном научном фонде США отдела научно-технической информации, была обусловлена теми же процессами, о которых сообщал в ЦК КПСС А.Н. Яковлев после своей стажировки в Колумбийском университете [14, с. 19, 32].

ходится в ряду тех академических институтов, которые помогают в работе Министерства иностранных дел... Полезными оказались подготовленные институтом материалы по ФРГ, США и Японии, которые были получены МИДом накануне переговоров с Брандом, Танакой и Никсоном, что придало им особую ценность. Было бы хорошо добавить к задачам института ориентацию не только на центральный аппарат министерства, но и на посольства. Нам известно, что ряд советских посольств заинтересован в получении изданий института» [16, с. 29].

Ещё один академический институт, завоевавший себе репутацию аналитического центра, — Институт востоковедения АН СССР, в 1977–1985 гг. возглавлявшийся Е.М. Примаковым, по инициативе которого стали проводиться так называемые ситуационные анализы (ситанализы). Эту практику переняли у научно-исследовательского института “RAND Corporation”, работавшего с Пентагоном и Государственным департаментом США⁴. В СССР методика ситанализа впервые была предложена в 1961 г. в ИМЭМО. Она вобрала в себя многие элементы зарубежных методик аналогичного предназначения (мозговой атаки, Дельфи, работы с экспертами в Институте Брукингса и др.) и, по словам Е.М. Примакова, исходила из представления о международно-политических ситуациях как целостных динамических подсистемах в системе международных отношений [18, с. 6]. Л.П. Делюсин, работавший в то время в Институте востоковедения, пишет, что на ситанализы собирались люди из разных областей, учёные, военные и дипломаты для обсуждения какой-то определённой темы [8, с. 67]. Предварительно составлялась программа вопросов, на которые каждый участник должен был коротко ответить. Дискуссия стенографировалась, а затем на её основе готовилась записка в ЦК, КГБ или МИД. Е.М. Примаков, мотивируя введение ситанализа, писал: «Потребность в такого типа аналитической работе сегодня очень велика. Необходимо, чтобы ситанализ влиял на выработку внешнеполитических решений. В пользу этого говорит эффективность данного метода: с его помощью эксперты за 10 месяцев “предсказали” ирано-иракскую войну, за 3 месяца — бомбардировки Камбоджи, разворот А. Садата в сторону США. Но даже если реальное развитие событий не соответствует выводам ситанализа, его проведение, а затем и ознакомление с его результатами тех, кто принимает решения, способствует лучшему пониманию ситуации. Его не заменят в этом случае ни аналитические записки, ни информационные доклады» [18, с. 6]. В 1991 г. с приходом Е.М. Примакова в Службу внешней раз-

ведки ситуационные анализы стали активно практиковаться и там.

В числе организованных с конца 1950-х годов академических гуманитарных институтов, выполняющих информационно-аналитические функции, были Институт Африки (создан в 1959 г.), Институт Латинской Америки (1961), Институт Дальнего Востока (1966), Институт экономики мировой социалистической системы (1969, с 1991 г. носит название Институт международных экономических и политических исследований), Институт Европы (1987). Ещё ранее, в 1947 г., был создан Институт славяноведения, также оказывавший экспертную поддержку государственным ведомствам и партийным инстанциям.

Со второй половины XX в. и по сей день аналитическая работа ведётся в академических институтах внутри как исследовательских, так и специально созданных отделов. В обоих случаях все её результаты аккумулируются на уровне руководства учреждения. Например, в Институте Европы РАН параллельно с исследовательскими центрами и отделами функционируют аналитико-информационные подразделения: группа страноведческой информации, группа подготовки информационно-аналитической документации [19, с. 35]. Большая часть аналитической работы осуществляется в междисциплинарных проблемных группах, действующих на долгосрочной или краткосрочной основе.

Как полагал Р.Ш. Ганелин, необходимость использования результатов исследовательской работы академических институтов структурами государственной власти была обусловлена тем, «что для завязывания отношений, получения сведений и установления личных контактов было недостаточно тех каналов, по которым традиционно действовали “мидюки” (шутливое название мидовцев) и разведслужбы. Нужны были новые, иногда тоже закрытые, для установления которых необходима была широко поставленная исследовательская работа, которая преодолела бы идеологический барьер между двумя мирами» [4]. Одним из примеров здесь может служить приложение к журналу ИМЭМО “Мировая экономика и международные отношения” — “Текущие проблемы мировой политики”. Оно содержало обзоры, которые читались не только внутри страны, но и использовались в советских посольствах за рубежом, о чём свидетельствуют письма советских дипломатов, направлявшихся директору института А.А. Арзуманяну. В них высказывались пожелания сделать обзоры международного положения не полугодовыми, как было изначально, а ежеквартальными. По мнению П.П. Черкасова, эти письма свидетельствовали “о слабой информационно-аналитической осведомлённости в области мировой политики даже тех, кто был при-

⁴ В рейтинге 2014 г. “RAND Corporation” занимает среди американских аналитических центров 7-е место [17].

зван проводить в жизнь советскую внешнюю политику” [5, с. 132]. Такой была ситуация в аппарате ЦК и правительстве. “Руководители партии и государства иностранных языков не знали, — пишет политический аналитик Л.М. Млечин, — за границу практически не ездили, о мировой политике и экономике имели весьма смутное представление. Оказавшись у власти после смерти Сталина, быстро поняли, что разбираться надо” [7, с. 60].

Среди получателей аналитической информации, предоставляемой академическими институтами, были не только первые лица государства и министерства, но и представители внешней разведки. Кроме того, в институтах подбирали перспективных сотрудников (как правило, хорошо знающих иностранные языки) для работы в зарубежных резидентурах и в центральном аппарате разведки [5, с. 29]. Также была распространена практика перехода на работу в академические институты сотрудников министерств и спецслужб, бывших военных. Это было оправданно: среди вышедших в отставку сотрудников спецслужб оказывались опытные страноведы, знающие, помимо этого, общие нормы и принципы зарубежной жизни, мало известные научным работникам советской выучки [4].

Существовал и другой путь получения новых знаний научными сотрудниками академических институтов. Так, будущий директор Института США и Канады академик С.М. Рогов в период, когда послом СССР в США был А.Ф. Добрынин, работал в посольстве в Вашингтоне в качестве представителя института — такая ставка включалась в штатное расписание. “Теперь у института, — сетует С.М. Рогов, — нет представителя в посольстве, что, я считаю, плохо и для института, да, может быть, в чём-то и для МИДа, потому что академическая школа располагает к такому длинному взгляду: не торопясь, посмотреть, порассуждать, а что будет через пять, десять лет и так далее... Работа в посольстве ведётся совершенно в ином ритме. Там зачастую события вчерашнего дня — уже древняя история, и важно то, что происходит сегодня и что случится завтра” [20, с. 60].

Смена политического строя в России привела к появлению в 1990-е годы неправительственных аналитических центров, приобретших популярность в правительственных кругах. В результате экспертные возможности академических институтов в обеспечении принятия решений на разных уровнях государственной власти стали использоваться всё реже. Об этом академик Г.А. Арбатов в одном из своих интервью 2008 г. сказал: “Российские правящие круги утратили интерес к консультациям с научным сообществом и пренебрегают мнением авторитетных специалистов. Боюсь, что нечто похожее происходит и в США. Встречи на высшем уровне превратились в шоу:

лидеры жмут друг другу руки, улыбаются перед телекамерами, но никакие серьёзные переговоры не ведутся. Создаётся впечатление, что сейчас никто ни в чём не заинтересован. Я понятия не имею, откуда правители получают информацию и где черпают свои идеи” [21].

* * *

В заключение посмотрим на мировую статистику, отражающую развитие информационно-аналитической деятельности. В марте 2015 г. Университет Пенсильвании (США) опубликовал очередной ежегодный рейтинг аналитических центров “2014 Global go to think tank index report”, согласно которому первое место в мире по числу таких центров занимает США (1830), второе — Китай (429), третье — Великобритания (287). России принадлежит восьмое место с общим числом аналитических центров, равным 122 [17].

В число ведущих аналитических центров в Центральной и Восточной Европе из российских учреждений вошли: ИМЭМО РАН (4-е место), Центр экономических и финансовых исследований и разработок (ЦЭФИР) (6-е место), Московский государственный институт международных отношений (МГИМО) (11-е место), Независимый институт социальной политики (19-е место), Институт США и Канады РАН (25-е место), Институт экономической политики им. Е.Т. Гайдара / Институт экономики переходного периода (29-е место), Экономическая экспертная группа (31-е место), Санкт-Петербургский гуманитарно-политологический центр “Стратегия” (35-е место), Аналитический центр при Правительстве РФ (46-е место), Российский совет по международным делам (55-е место). При этом лидирующее место среди российских мозговых центров занимает Московский центр Карнеги (Carnegie Moscow Center — подразделение американского “Фонда Карнеги за международный мир”, которое начало работать в России в 1994 г.). Но этот центр, на мой взгляд, лишь условно можно отнести к российским центрам в силу его географического расположения [17].

Из перечисленных одиннадцати организаций четыре (ИМЭМО РАН, МГИМО, Институт США и Канады РАН, Аналитический центр при Правительстве РФ) были созданы ещё в советский период. Из них две учреждены в структуре АН СССР, а третья — Аналитический центр при Правительстве РФ — является правопреемником Вычислительного центра Госплана СССР, основанного в 1959 г. по инициативе члена-корреспондента АН СССР И.С. Брука, который в 1956 г., выступая на сессии Академии наук, высказался о необходимости использования вычислительных машин в экономике. Ещё две органи-

зации — Независимый институт социальной политики и Российский совет по международным делам — были учреждены по инициативе или с участием Правительства РФ в 2000 и 2010 гг. соответственно. Пять организаций, в том числе Московский центр Карнеги, созданы в период с 1990 по 2000 г. и являются независимыми центрами. Лишь государственные и проправительственные организации, вошедшие в рейтинг, участвуют в процессе принятия решений на государственном уровне. Деятельность независимых центров, напротив, сама в большей степени выступает объектом наблюдения и анализа со стороны государственных властей. Аналитические центры, созданные в структуре Академии наук для предоставления экспертной поддержки государственной власти, доказали свою эффективность, которая, как показал настоящий обзор, коренится в работе компетентных специалистов и научном подходе к анализируемым проблемам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Логиновский О.В., Любицын В.Н.* Информационно-аналитические центры как инструмент развития интеллектуального ресурса современного общества // Вестник ЮУрГУ. 2012. № 23. Сер.: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. Вып. 16. С. 123–126.
2. *Коренная К.А., Логиновский О.В., Любицын В.Н.* Аналитические центры: идентификация, генезис и перспективы развития // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. 2011. № 4. С. 42–54.
3. *Егоров И.И.* Региональная сеть информационно-аналитических служб // НТИ. Сер. 1. 1995. № 12. С. 5–7.
4. *Ганелин Р.Ш.* РАН и государственная власть [Электронный ресурс]. URL: <http://www.spbiiran.nw.ru> (дата обращения: 07.12.2015).
5. *Черкасов П.П.* ИМЭМО. Портрет на фоне эпохи. М.: Весь мир, 2004.
6. *Арбатова Г.А.* Общественная наука и политика // Наука и власть: Воспоминания учёных-гуманитариев и обществоведов / Отв. ред. Г.Б. Старушенко. М.: Наука, 2001. С. 37–66.
7. *Млечин Л.М.* Примаков. М.: Молодая гвардия, 2015.
8. *Делюсин Л.П.* Свободная среда // ФБОН-ИНИОН: Воспоминания и портреты. Сборник статей. М.: ИНИОН РАН, 2011. Вып. 1. С. 55–68.
9. Записка А.Н. Яковлева в ЦК КПСС о некоторых итогах стажировки в Колумбийский университет (США) (осень 1959 г.) // Альманах “Россия. XX век” [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alexanderyakovlev.org/almanah/inside/almanah-doc/1000046> (дата обращения: 07.12.2015).
10. *Крымская А.С.* Статус и роль Индианского университета в системе подготовки американских специалистов в области “Soviet studies” в 1960–1970-е годы // Известия Смоленского гос. ун-та. 2015. № 1. С. 221–233.
11. *Фриз Г.* Американо-советские обмены в области науки и культуры: влияние на историческую науку // *Крымская А.С.* Становление и развитие института американских стажёров в Санкт-Петербурге. СПб.: Изд-во СПбГУКИ, 2014. С. 241–247.
12. Russia Direct: Best Russian Studies Programs 2015 / Ed. by E. Zabrovskaya. 2015. № 8.
13. *Арбатова Г.А.* Человек системы: Наблюдения и размышления очевидца её распада. М.: Вагриус, 2002.
14. *Маркусова В.А.* Введение. К 50-летию Science Citation Index: История и развитие наукометрии // *Акоев М.А., Маркусова В.А., Москалёва О.В., Писляков В.В.* Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии / Под. ред. М.А. Акоева. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2014. С. 14–48.
15. *Ракитов А.И.* О моей работе в ИНИОН // ФБОН-ИНИОН: Воспоминания и портреты. Сборник статей. М.: ИНИОН РАН, 2011. Вып. 1. С. 114–122.
16. *Виноградов В.А.* На посту директора Института // ФБОН-ИНИОН: Воспоминания и портреты. Сборник статей. М.: ИНИОН РАН, 2011. Вып. 1. С. 9–46.
17. *McGann J.G.* 2014 Global go to think tank index report [Электронный ресурс]. URL: http://repository.upenn.edu/think_tanks/8/ (дата обращения: 07.12.2015).
18. *Примаков Е.М.* Ситуационный анализ как аналитический жанр // *Примаков Е.М., Хрусталёв М.А.* Ситуационные анализы. Методика проведения. Очерки текущей политики. Вып. 1. М.: Научно-образовательный форум по международным отношениям, МГИМО МИД России, 2006. С. 6–9.
19. *Бетенья А.П.* Формирование современных российских исследовательских центров по изучению политики Европейского союза в отношении Российской Федерации // Веснік БДУ — Вестник Белорусского университета. 2013. Сер. 3. № 2. С. 34–39.
20. Дипломат Анатолий Добрынин: Сборник воспоминаний / Ред.-сост. В.В. Грачёв и В.Н. Казимиров. М.: Междунар. отношения, 2014.
21. *Арбатова Г.А.* Нам грозит более опасный период, чем холодная война // Россия в глобальной политике. 2008. № 1. URL: http://www.globalaffairs.ru/number/n_10278 (дата обращения: 07.12.2015).

ЭТЮДЫ
ОБ УЧЁНЫХ

ПАМЯТИ ВЫДАЮЩЕГОСЯ СОВРЕМЕННОГО

К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА В.А. ЛЕГАСОВА

© 2016 г. А.Л. Бучаченко

Научный центр РАН в Черногловке, Черногловка, Россия

e-mail: abuchach@chph.ras.ru

Поступила в редакцию 26.05.2016 г.

Благодарная память потомков — прекрасное человеческое качество. С любовью и горечью говорит академик А.Л. Бучаченко о безвременно ушедшем из жизни академике В.А. Легасове, в короткой заметке показывая масштаб и своеобразие этого замечательного человека, учёного и гражданина.

Ключевые слова: Валерий Алексеевич Легасов, авария на Чернобыльской АЭС, химия благородных металлов, синтез новых неорганических веществ, ядерно-водородная энергетика.

DOI: 10.7868/S0869587316120033

Диогена как-то спросили, какое чувство уходит из памяти первым. Он ответил: благодарность. И это — почти закон, исключения из которого очень редки. Такое впечатление, что он записан эволюцией на генетическом уровне. В самом деле, с эволюционной точки зрения, нет смысла поддерживать то, что стало неповторимым, так же, как бесполезно заботиться о старости — состоянии, не представляющем никакого интереса для эволюции. Но человечество рискует быстро одичать, если не будет противиться “закону Диогена”, постоянно обращаясь к прошлому — к событиям и именам. Цель этой статьи — напомнить о Валерии Алексеевиче Легасове, крупном учёном и яркой личности, который в 1986–1988 гг. вошёл в первую десятку самых популярных людей Земли с её на то время шестимиллиардным населением.

Мировую известность имя Легасова приобрело в связи с чернобыльской катастрофой. В своих мемуарах о солнечном утре 26 апреля 1986 г. Валерий Алексеевич писал так: “Я раздумывал, не поехать ли мне в университет, на кафедру; или уехать куда-нибудь отдохнуть; или посетить совещание, назначенное в министерстве...” [1, с. 25]. Служебный и нравственный долг, конечно же, привёл Легасова на совещание, которое состоялось в 10 часов утра, в министерском кабинете, а уже через 6 часов он вылетел из Внукова в Черно-



быть в составе правительственной комиссии. И это был тот час, когда он вступил на свою смертную тропу, оборвавшую его жизнь через два года трагическим самоубийством. Он ушёл из жизни неожиданно, и это был поступок человека сильного и мужественного. Как сказал однажды Эйнштейн, “лишь редкие, исключительно благородные души способны переступить черту в небытие, отказавшись от жизни” [2, с. 439].

БУЧАЧЕНКО Анатолий Леонидович — академик, председатель Президиума НЦЧ РАН.

Валерий Алексеевич был не просто талантливым человеком. Он был энергичным, страстно неравнодушным, всегда стремящимся к умножению добрых дел и преодолению людских невзгод. Академик Ю.Д. Третьяков очень точно сказал: “способ его жизни — горение” [3, с. 100]. Ум его был искрящимся, стремительным, прозревающим далёкие перспективы и в то же время не терявшим отчётливого представления о ближайшем — во времени и пространстве. Природа одарила его не только богатством ума, но и необыкновенными интуицией, благородством и преданностью. Он был человеком дела и действия, а не цветистых фраз и деклараций, не переносил показных заявлений и фальши. Легасов принадлежал к числу тех, кто разделяет мнение Антона Павловича Чехова: в электричестве и паре любви к человеку больше, чем в целомудрии и воздержании от мяса. Человек недалёкий усматривает в этом мнении цинизм, тогда как в действительности оно выражает парадигму цивилизации как совокупности признаков, поднимающих человечество над остальным живым миром. Первые из этих признаков — совесть и наука. Порядок отношений в этой диаде тоже определил Эйнштейн, говоря о подлинном прогрессе человечества, который зиждется не столько на изобретательности ума, сколько на совести людей. Жаль, что об этом так часто забывают.

Всех, кто знал Валерия Алексеевича, прежде всего покоряла сила его мышления. Именно оно — масштабное, стратегическое, отличавшееся необыкновенной гибкостью, соединяясь с независимым и сильным характером, позволяло Легасову быстро и точно схватывать суть любого дела и незамедлительно принимать решения. Но богатство его интеллекта не было исключительно расщепленным, Валерий Алексеевич имел музыкальное образование, прекрасно знал музыку и поэзию, писал глубокие по содержанию и звонкие по рифмам стихи. Перед своим добровольным уходом из жизни он написал пронзительные строки, обращённые к своей судьбе:

Я благодарен лишь тебе
За то, что ты была такая...

Все признавали в Легасове уникальное единение красоты внешней и внутренней. Внешне он был очень симпатичен: правильные черты лица, умные и тёплые глаза, одухотворённость, добрый нрав, дружелюбие, открытость. Его обаяние привлекало к нему умных людей, концентрировало вокруг него таланты. Началось это ещё с детских и юношеских лет: 14-летним школьником Легасов беседовал с легендарным Алексеем Маресевым, которого пионеры 56-й московской школы пригласили на встречу, и юный Валера стоял ря-

дом с ним на сцене, держа в руках знамя; в 17 лет он обсуждал свои стихи с самим Константином Симоновым, а позже его собеседницей стала Белла Ахмадулина.

Легасов располагал к себе и тем, что в нём не было ничего показного, на первом месте у него всегда стояло уважение к окружающим, чувство ответственности и долга перед людьми и перед делом, он был внимателен и заботлив, безотказен, когда кому-то требовалась помощь, умел слушать, всегда держал слово и выполнял данные обещания. Лишённый высокомерия и избыточного честолюбия, Валерий Алексеевич был открытым и искренним, но потому и уязвимым. Это заметил даже председатель Правительства СССР Н.И. Рыжков, работавший с ним в Чернобыле: “Легасов — человек талантливый и как творческая личность легко ранимый... Нелзя было не восхищаться этим умным, порядочным человеком, беззаветно преданным делу...” [4, с. 201]. Человеческая отзывчивость предопределила то, что Чернобыль стал для Легасова личной трагедией, которую он не смог пережить.

Валерий Алексеевич был превосходным учёным-химиком, положившим начало новой исследовательской области — химии благородных газов (гелий, аргон, неон, криптон, ксенон). Химию можно назвать центральной наукой, поскольку всё вокруг и внутри нас — это химия. И хотя химия не вся жизнь, но вся жизнь — это химия, и в ней всё реагирует, кроме благородных газов. Но Легасов заставил, принудил их работать, сделав из этих газов новые полезные вещества — фториды, создав технологии их синтеза и очистки путём ректификации, преодолев попутно трудности, связанные с коррозионной неустойчивостью материалов, из которых сделаны колонны для ректификации. Он разработал плазменные технологии целевого синтеза фторидов ксенона и криптона, провёл анализ термодинамики и кинетики синтеза в плазме и создал безопасные технологии их производства в больших количествах. Вместе со своими сотрудниками он определил свойства этих веществ, области их устойчивости, исследовал их многочисленные реакции и показал области применения в прикладной химии. Крупным прорывом следует признать синтез новых неорганических веществ, в которых атомы металлов (кобальт, никель, золото, палладий, серебро) находятся в таких глубоких степенях окисления, которые раньше, до Легасова, были недоступны химикам (типа $KrFAuF_6$ или $He_2F_{11}AuF_6$). И всегда Валерий Алексеевич находил яркие, нестандартные решения, изумлявшие своей гениальной простотой. Перечисленные достижения значительно раздвинули горизонты современной химии, и две премии — Го-



В.А. Легасов с академиком А.П. Александровым. 1981 г.



Ректор МГУ академик В.А. Садовничий и В.А. Легасов. 1985 г.



В научной дискуссии у доски. 1982 г.

сударственная и Ленинская — отражают вклад В.А. Легасова в мировую химическую науку.

Другой профессиональной любовью Легасова стала водородная энергетика. В Курчатовском институте — alma mater ядерной энергетики — он пришёл к идее объединённой ядерно-водородной энергетики. Концепция Легасова подразумевала синтез водорода из воды с использованием энергии реактора и выделением его с помощью мем-

бранных технологий. Эти крупномасштабные работы потребовали создания высокотемпературных (до 1000°C) электролизёров, разработки мембранных материалов, ВЧ-генераторов и плазмотронов. Наряду с проблемами, носящими универсальный или глобальный характер, решались и конкретные производственно-технические задачи. Легасов был блестящим инженером и технологом. Он чувствовал тенденцию новейшего времени и говорил: сегодня гораздо важнее не то, что надо делать, а то, как надо делать — экономично, надёжно, экологически безопасно. “Умная” технология, считал он, становится новой идеологией прогресса.

Обладея большими административными возможностями, Валерий Алексеевич всегда предпочитал авторитету власти власть авторитета. Он был, можно сказать, внутренним, генетическим демократом. Стремление людей к справедливости делает демократию возможной, стремление их к власти делает демократию необходимой, — с этой позицией Легасов был согласен. Он глубоко понимал науку, её внутренние законы: науке нужна свобода, вдохновение, всякая иерархичность, подчинённость, всевластие академических вельмож, бюрократическое насилие убивает науку. Учёные не процветают и не размножаются в неволе.

Чернобыльской катастрофе посвящена многочисленная литература. И почти в каждой статье, повести или книге есть слова о Легасове, есть признание, сделанное охотно и искренне или, напротив, вынужденное, его огромной роли в лечении этой великой раны. Высочайший профессионализм, блестящее сочетание мощи теоретического мышления с умением организовывать практику, личное мужество и самоотверженность, благородный риск собственным здоровьем и жизнью ради спасения здоровья и жизни других — это отмечают все, кто был рядом с Валерием Алексеевичем в то время. Чувство ответственности граничило у него с жертвенностью. Он принимал ответственные решения, потому что многие другие боялись брать на себя груз ответственности или просто не знали, что делать. Он решал задачи с множеством неизвестных, каждое из которых могло стать роковым. И ни одна из задач не могла быть отсрочена — решения должны были приниматься стремительно. Главная неопределённость заключалась в том, осталось ли топливо в разрушенном реакторе, а значит, опасен ли он по-прежнему? Исходили из худшей альтернативы — реактор активен и опасен. Потом, гораздо позже, выяснилось, что это было не так, и нашлись люди, не постыдившиеся упрекнуть Легасова в том, что он предотвращал худший, самый опасный и,

к счастью, нереализовавшийся сценарий [1]. Эти упреки безнравственны.

Валерий Алексеевич в чернобыльской истории был безупречен. Он заслужил полное доверие и людей, и власти: его лицо узнавали на телевизионных экранах, его имя было у всех на устах, с ним на прямой связи находился М.С. Горбачёв, желавший именно от Легасова получать всю информацию о делах в Чернобыле, его слову доверяла мировая общественность, ибо лучше его никто не знал состояния дел. Легасов был главным и, пожалуй, единственным человеком, от которого ждали спасения. И он знал, что делать. Дозы радиации он получал осознанно, как неизбежность: этого требовали обстоятельства. О своей безопасности, о своей судьбе он не размышлял, всё заслоняли рабочие задачи. Легасов покинул Чернобыль только тогда, когда всё, что нужно, было сделано. И через 20 лет, в 2006 г., имя Легасова прозвучало с огромным уважением и теплотой в словах Президента России В.В. Путина на церемонии награждения чернобыльцев.

Чернобыльская катастрофа вызвала крутой поворот в научных интересах Легасова. Зловещее зарево над Чернобылем с особой наглядностью явило миру проблему безопасности, защиты человека и биосферы от техносферы, от опасностей, которые она наряду с благами приносит цивилизации. Как я уже отмечал, тема безопасности технологий и до Чернобыля была предметом научного интереса Легасова, но после Чернобыля она стала его главной заботой. Он придал ей новый смысл и новое содержание в рамках фундаментальной науки о риске и факторах, его обуславливающих. Вопреки обывательской точке зрения, риск — вовсе не благородное дело. Это математическое понятие, число, которое можно рассчитать как вероятность некоторого (часто трагического) события. Наука о безопасности — это наука о вычислении риска, о его главных составляющих, путях его снижения. После Чернобыля Валерий Алексеевич задумал книгу с символическим названием “Дамоклов меч”. Её главная идея: человек создаёт цивилизацию, которая призвана обеспечивать комфорт и жизненные блага — всё это называется прогрессом, а затем становится заложником и даже жертвой прогресса. И это тот парадоксальный случай, когда авангард науки располагается сзади, прогресс обнаруживает своё лицемерие, а наука становится заложницей своего могущества и авторитета.

Концепция безопасности как научно обоснованная система “приемлемого” риска стала главным делом Валерия Алексеевича в последние годы его жизни [4]. Будучи человеком вдохновенного мышления, он смотрел далеко вперёд, видя



В.А. Легасов с министром обороны СССР маршалом Д.Ф. Устиновым. 1980 г.



Вдохновенное выступление. 1982 г.

контуры мира всеобщей безопасности. Мир этот включал всю иерархию человеческой деятельности, безопасность процессов и аппаратов, атомной энергетики и технологии, производства и экологии, безопасность культуры и нравственности, человечества и мира в целом, наконец, самое главное — безопасность личности [1]. Легасов многое задумал и разработал в этой области, но всего, что хотел, сделать не успел.

Апрель 1988 г. Похороны Легасова. В зале дома культуры Курчатовского института гражданская панихида. Ещё рано, зал пуст, лишь в центре — гроб. Подходит Анатолий Петрович Александров, директор и старший друг, сгорбившийся, с опустившимися плечами... Я стою за колонной, невидимый для него, и замечаю, как он сразу постарел. Анатолий Петрович долго стоит, смотрит... Лицо Валерия Алексеевича, всегда игравшее всеми красками мыслей и чувств, отражавшее всё, кроме равнодушия, теперь навсегда спокойное, отрешённое. Он завершил свой путь на Голгофу... Он был сильной личностью, а судьба таких людей, как заметил академик Л.П. Феокистов, незавидна, об этом убедительно и трепетно написано и в книге М.М. Легасовой [5].

Однажды, Валерия Алексеевича, заведовавшего одной из лучших кафедр МГУ им. М.В. Ломоносова, спросили, чего он хочет от студентов. “Хочу, чтобы они поняли, — ответил Легасов, — осознали главное — своё предназначение. Раз родился человек, которого свет ещё не знал, он должен оставить после себя то, чего до него не было, —

пусть это запятая, точка, но своё...” [1, с. 126]. Валерий Алексеевич был больше, чем учитель, и больше, чем учёный. Он был воспитателем, вдохновителем, умевшим вызвать у собеседника чувство, будто у него вырастают крылья — крылья вдохновения, источник любого творчества. Таким даром обладают лишь те люди, о которых Гёте как-то сказал: “Перед великим умом я склоняю голову, перед большим сердцем я становлюсь на колени”.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Легасов В.А.* Из сегодня — в завтра. Мысли вслух: Чернобыль и безопасность. М.: Аврора, 1996.
2. *Пайс А.* Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М.: Наука, 1989.
3. *Быков А.А.* Цена риска — экономический критерий управления безопасностью // Проблемы анализа риска. 2005. № 2. С. 100—103.
4. *Легасов В.А.* Химия. Энергетика. Безопасность. М.: Наука, 2007.
5. *Легасова М.М.* Академик Валерий Алексеевич Легасов. М.: Спектр, 2010.

СОЗДАТЕЛЬ РОССИЙСКОЙ ШКОЛЫ СТРУКТУРНОЙ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

К 125-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Н.В. БЕЛОВА

© 2016 г. Д.Ю. Пушаровский, Н.Н. Еремин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

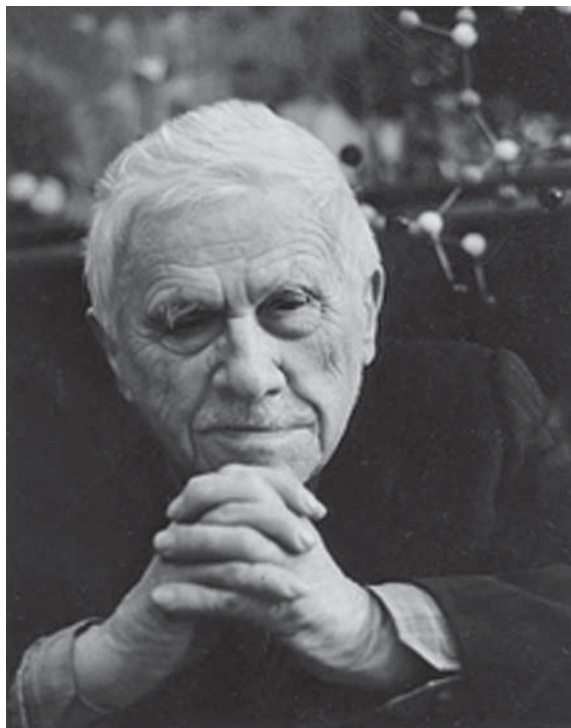
e-mail: dmitp@geol.msu.ru

Поступила в редакцию 05.05.2016 г.

Юбилейные даты побуждают к воспоминаниям. В связи с юбилеем кристаллографа академика Н.В. Белова его ученики и соратники рассказывают о крупном учёном, в значительной мере определившем развитие кристаллографии и минералогии в Советском Союзе, да и в мире. Авторы воспоминаний привлекают внимание не только к научным достижениям Н.В. Белова, но, кроме того, характеризуют стиль его работы, взаимоотношений с коллегами и учениками, преподавания.

Ключевые слова: Николай Васильевич Белов, кристаллография, минералогия, теория плотнейших упаковок атомов в кристаллах, диортогруппа, теория симметрии кристаллов.

DOI: 10.7868/S0869587316120094



Академик Николай Васильевич Белов. 1891–1982

Глава советской кристаллографии и структурной минералогии академик Николай Васильевич Белов принадлежит к числу крупнейших учёных XX столетия. Своих учеников он учил жить “под сенью парадоксов”, то есть всегда испытывать долю скептицизма по отношению к собственным результатам, к данным коллег и не забывать про узкие места в своей науке. Иными словами, следуя Б. Шоу, оставаться в некоторой степени “учеником дьявола”.

Н.В. Белов родился 14 декабря 1891 г. в г. Янове (Польша) в семье врача. В 1910 г. окончил с золотой медалью Первую мужскую гимназию в Варшаве, в 1921 г. — Петроградский политехнический институт по специальности “электрохимия”. Затем в течение 10 лет работал в химических аналитических лабораториях, всё более увлекаясь изучением химии минералов. Вероятно, с точки зрения современных представлений об основных этапах становления учёного, подобное начало на-

ПУШАРОВСКИЙ Дмитрий Юрьевич — академик РАН, декан геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. ЕРЕМИН Николай Николаевич — доктор химических наук, заведующий кафедрой кристаллографии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.



Н.В. Белов читает лекцию на геологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. 1967 г.

учной деятельности можно было бы расценить как “фальстарт”, однако в данном случае это не так. Именно в эти годы Н.В. Белов с большим вниманием следил за новыми достижениями физики, химии, минералогии и других наук.

Нередко учёный, сделавший открытие в относительно молодом возрасте, в своих дальнейших изысканиях оказывается малопродуктивным. Творческая жизнь Н.В. Белова являет собой пример другого рода. Лишь в 1933 г., когда ему было 42 года, он начал работать в созданном А.В. Шубниковым Ломоносовском институте геохимии, минералогии и петрографии АН СССР (ныне Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН – ИГЕМ). В 1934–1935 гг. по предложению А.Е. Ферсмана Николай Васильевич перевёл на русский язык монографию О. Гасселя “Кристаллохимия”, а спустя два года им были переведены “Структура силикатов” У.Л. Брэгга и “Кристаллохимия силикатов” Э. Шибольда. В этот период кристаллохимическое направление работ Н.В. Белова стало основным. Неслучайно в созданной в 1937–1938 гг. Лаборатории кристаллографии АН СССР, преобразованной в 1944 г. в Институт кристаллографии, он возглавил структурный отдел.

Н.В. Белов разработал теорию плотнейших упаковок атомов в кристаллах, положенную в основу его докторской диссертации (1943). Впоследствии результаты этой работы были обобщены в получившей мировое признание монографии “Структура ионных кристаллов и металлических фаз” (1947), известной специалистам под названием “Синяя книга”. Теория плотнейших атомных упаковок, являющихся моделями структур достаточно ёмкого класса неорганических соединений, стала эффективным методом для их изучения. Самостоятельное значение име-



На праздновании 80-летия Николая Васильевича Белова

Слева направо: президент Международной минералогической ассоциации И. Костов (Болгария), нобелевский лауреат Д. Ходжкин (Великобритания), Н.В. Белов, президент Международного союза кристаллографов А. Гинье (Франция), Е.Н. Белова

ют впервые приведённые в книге полиэдрические изображения многих структур, вошедшие в ряд монографий и учебников по кристаллохимии и структурной минералогии.

В первые послевоенные годы благодаря работам Н.В. Белова и его учеников центр мировых структурных исследований минералов переместился в Москву. Основное внимание обращалось на изучение внутреннего строения силикатов – важнейших порообразующих минералов земной коры. К этому времени относятся расшифровки структур большой группы хибинских минералов, благодаря которым стало очевидно, что классическая брэгговская “Структура силикатов” – лишь “первая глава” их кристаллохимии, за ней должна последовать “вторая”, где роль классического силикатного “кирпича” – тетраэдра $[\text{SiO}_4]$ – начинает играть диортогруппа $[\text{Si}_2\text{O}_7]$. За сравнительно короткий период число структур с диортогруппами, определённых в лабораториях под руководством Н.В. Белова, превысило 20. Структуры, вошедшие во “вторую главу” кристаллохимии силикатов, объединены его идеей о роли катионов, к которым приспосабливаются кремнекислородные тетраэдрические анионы. В структурах, где основные катионы имеют средний размер (Mg, Fe, Al), кремнекислородные мотивы строятся из классических “кирпичей” $[\text{SiO}_4]$. Если основные катионы более крупные (Ca, Na, TR), кремнекислородные радикалы формируются из диортогрупп $[\text{Si}_2\text{O}_7]$. Новая структурная концепция силикатов, базирующаяся на открытом Н.В. Беловым принципе определяющей роли катионных мотивов, получила наи-

более полное развитие в переведённой на многие языки мира монографии “Кристаллохимия силикатов с крупными катионами” (1961).

Углублению этих представлений способствовали выполненные Николаем Васильевичем и его учениками более 100 расшифровок структур большого числа минералов. Творческий анализ структурных особенностей соединений позволил учёному воссоздать геолого-геохимическую динамику их генезиса. В основу кристаллохимических моделей ряда природных процессов, в первую очередь магматической дифференциации, положены новые представления о чрезвычайно высокой подвижности “молекул” SiO_2 , благодаря которой в массиве из Si-тетраэдров могут возникать геометрически различные радикалы. Эффект, названный “силификацией”, получил экспериментальное подтверждение именно в структурных работах, выполненных под руководством Н.В. Белова. Новая концепция процесса силификации — перехода молекулы SiO_2 из одной конденсированной фазы в другую — способствовала решению таких актуальных технических проблем, как синтез молекулярных сит при “умеренных” физико-химических параметрах, разработка теории схватывания цементов, широко используемая при получении бетонов, и др. В частности, рекомендованные добавки к бетону снизили в ряде деталей расход цемента на 10–15%.

С именем учёного связаны новые направления в современной кристаллографии. Фундаментальные исследования Н.В. Белова по атомной структуре и кристаллохимии минералов заложили ос-

новы структурной минералогии. Многие его идеи, касающиеся различных аспектов данной науки, с подлинным блеском отражены в “Очерках по структурной минералогии”, публикация которых началась в 1950 г. в “Минералогическом сборнике” (к 1980 г. их число достигло 230). По своеобразию формы, глубине содержания и теоретической значимости “Очерки” не имеют аналогов в мировой научной литературе. В 1974 г. за этот цикл работ автору была присуждена Ленинская премия.

Значительный вклад в важнейший раздел структурной кристаллографии — теорию симметрии кристаллов — внесла идея Николая Васильевича о многоцветной симметрии, которая заключается в том, что четвёртой дискретной негеометрической переменной, связанной, например, с каким-либо физическим свойством, в трёхмерном пространстве присваивается не два, как в чёрно-белой симметрии А.В. Шубникова, а несколько значений. В дальнейшем Н.В. Беловым и его соавторами были разработаны точечные и плоские группы цветной симметрии.

В шутку называя себя создателем “бумажной минералогии”, Н.В. Белов в действительности тщательно анализировал лабораторные эксперименты и проводил полевые наблюдения, стремился к решению вопросов, имеющих большое значение для современной геологии. Исключительное знание отдельных этапов развития минерального мира, объективными “свидетелями” которых являются конкретные атомные структуры, позволило ему кристаллохимически обосновать последовательность кристаллизации поро-



Вручение Н.В. Белову диплома почётного доктора Вроцлавского университета. 1975 г.

дообразующих минералов в магме и распространение элементов между ними в процессе их образования. Подобные обобщения характерны для всех периодов научной деятельности Николая Васильевича. За публикациями о геохимических аккумуляторах (1947) и кристаллохимии минерализаторов (1950–1951) последовали попытки кристаллографического вмешательства в специфические вопросы минералогии и петрографии (1968), геокристаллохимию силикатов и алюмосиликатов (1970) и внутренние ресурсы эндогенных пород (1979). В последние годы жизни учёный развивал кристаллохимию сульфидов и сульфосолей, которые служат основными природными источниками цинка, свинца, никеля, меди, кобальта и играют важную роль в учении о рудных месторождениях. Им доказано, что ряд свойств (электропроводность, магнетизм и др.) сульфидных минералов обусловлен особенностями металлических связей в этих в целом “неметаллических” соединениях.

Н.В. Белов воспитал несколько поколений советских кристаллографов. Его школа объединяет представителей трёх организаций, которые он возглавлял на протяжении ряда лет: структурного отдела Института кристаллографии РАН и двух кафедр – в МГУ им. М.В. Ломоносова и Нижегородском университете. Под руководством Николая Васильевича более 100 его учеников защитили кандидатские и докторские диссертации.

Лекции о силикатах, о “кристаллохимическом сотворении мира”, строении сульфидов, закономерностях Периодической системы химических элементов Менделеева Н.В. Белов читал с удивительным подъёмом, вовлекая слушателей в сферу своих рассуждений. Известный российский минералог и кристаллограф И.И. Шафрановский, рассказывая о курсах Н.В. Белова на геологическом факультете Московского университета, писал: «Казалось бы, можно было опасаться, что этот глубочайший теоретик, создатель отечественного рентгеноструктурного анализа и основатель новой научной дисциплины – структурной минералогии – окажется в своих лекциях труднодоступным для обычного студенческого уровня... По воспоминаниям одного из его первых слушателей, Н.В. во вступительном слове озадачил студентов парадоксальным предупреждением: “Кристаллография – очень трудная наука, и вряд ли вы сможете её понять как следует. Из пареньков, может быть, кое-кто и постигнет её первоначала, но уж девицы наверняка ничего не поймут”» [1, с. 113–114]. Однако благодаря своему подлинному интересу ко всему, что связано с кристаллами, Н.В. Белов всегда достигал полного взаимопонимания с аудиторией. “Николай Васильевич не был профессиональным лектором-оратором”, – вспоминали о нём его ближайшие помощники и коллеги по кафедре [2, с. 299]. Его

лекции изобиловали отступлениями (иногда далёкими), повторениями и, скорее, походили на доверительные беседы со слушателями (даже если ими были более 200 студентов первого курса), с которыми Николай Васильевич делился своими мыслями, сомнениями, открытиями. В виде беседы проходили и экзамены, к которым Н.В. Белов тщательно готовился, всегда заново составлял экзаменационные билеты, заботясь о том, чтобы в каждом из них были отражены наиболее интересные части курса, давал подробные консультации.

На экзамене Николай Васильевич ценил не бойкий пересказ своих лекций, статей, учебника, а общую кристаллографическую (и не только кристаллографическую) культуру будущего специалиста, умение мыслить. Николай Васильевич стремился даже самого застенчивого студента вызвать на разговор на равных. Не менее ярко описываются его лекции в воспоминаниях академика Н.П. Юшкина: “Лекции Н.В. Белова нельзя забыть. Они поражали не только научной глубиной и новизной материала, но и необычной формой, стилем, языком, поведением лектора. Николай Васильевич, казалось, забывал об аудитории, о себе, он весь уходил в лекцию, творил в её процессе, находил какие-то новые решения, уходил очень далеко от основной идеи и приходил совсем к другой... Он мог не заметить сползшего галстука, расстегнувшейся рубашки, опрокинуть стакан, испачкать костюм мелом, мог даже вытереть пот меловой тряпкой” [3, с. 60].

Отличительной особенностью лекций Н.В. Белова была богатая оснащённость их прекрасными оригинальными наглядными пособиями, которые он сам изобретал, следил за их изготовлением и всё время совершенствовал, добиваясь не только наглядности, простоты, но и эстетичности.

Научный авторитет Н.В. Белова был заслуженно велик среди кристаллографов не только нашей страны, но и за рубежом. Он был избран иностранным членом Польской академии наук и почётным доктором Вроцлавского университета, минералогических обществ США, Англии, Франции. Со многими иностранными учёными Николая Васильевича связывали тёплые, дружеские отношения.

В 1958 г. произошла первая встреча с дважды лауреатом Нобелевской премии Лайнусом Полингом, приехавшим в Москву. Вновь они общались, когда Николай Васильевич посетил США по приглашению американских кристаллографов. На Фёдоровской сессии в 1958 г. в Ленинградском горном институте он познакомился с Джоном Берналом – президентом Всемирного совета мира. Научным контактам способствовала деятельность Международного союза кристаллографов, куда СССР вступил ко времени III конгресса, состоявшегося в 1954 г. в Париже. Н.В. Бе-

лова сразу же избрали в исполком, уже через три года на следующем конгрессе в Монреале он стал вице-президентом союза, а в 1966 г. на конгрессе в Москве был избран президентом Международного союза кристаллографов. Профессор Чикагского университета Пауль Брайен Моор писал о Николае Васильевиче: «Он был одним из немногих, для кого наука и искусство были неразделимы. Он вёл себя как художник, поэт и гуманист... Для описания структур он использовал необычные, порой экзотические слова, которые по-английски звучат как китайские фонарики, армированные стенки, кольчуги, посадочные площадки... Я впервые встретил его в 1970 г. в Лондоне на праздновании 80-летия сэра У.Л. Брэгга в Королевском институте. У него был пленарный доклад в актовом зале (“логове льва”), где до него выступали химик сэр Г. Дэви, физик М. Фарадей, У.Г. Брэгг... Образец благородства, преданности, ясности и гибкости ума — его место за почётным столом науки вместе с другими бессмертными» [4, p. 992].

Научная и общественная деятельность Н.В. Белова получила высокую государственную оценку. В 1969 г. ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда, он награждён многими орденами нашей страны. Академия наук удостоила его высшей награды — Большой золотой медали им. М.В. Ломоносова.

В чём секрет признания и уважения Николая Васильевича всеми, кому когда-либо довелось с ним встречаться? Пожалуй, прежде всего в его доброте, мудром спокойствии, умении находить “удивительное рядом”. Эрудиция и работоспособность Н.В. Белова остаются примером для всех его учеников. Каждому научному сотруднику хорошо знакомо нетерпение, с которым ждёшь оценки переданной для ознакомления только что законченной работы. Н.В. Белов всегда делал это в кратчайший срок. В дискуссионной, но чрезвы-

чайно интересной статье А.С. Поваренных подчёркивается, что у подавляющего большинства известных учёных всех специальностей в процессе научной деятельности отмечается два пика творческой активности, сопровождающиеся обычно выдающимися научными достижениями: 35–39 и 50–54 года [5]. Н.В. Белов, подобно В.А. Обручеву и В.И. Вернадскому, сумел не только в эти сроки создать свои крупные научные труды, но и в дальнейшем сохранить огромную работоспособность, позволившую ему исключительно плодотворно трудиться в науке. Именно этим можно объяснить, что он ежегодно публиковал десятки научных работ, а общее их количество достигло 1300. В эти знаменательные для всех кристаллографов и минералогов дни, когда отмечается 125-летие со дня рождения Н.В. Белова, многие современные исследования в области структурной минералогии по-прежнему основаны на его представлениях и идеях, а их авторы сохраняют светлую память о своём учителе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шафрановский И.И.* Кристаллография в СССР. 1917–1991. СПб.: Наука, 1996.
2. *Победимская Е.А., Литвинская Г.П., Загальская Ю.Г.* Н.В. Белов — руководитель кафедры кристаллографии и кристаллохимии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова // Кристаллография и кристаллохимия. М.: Наука, 1986.
3. *Юшкин Н.П.* Очерки об учёных. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013.
4. *Moore P.B.* Memorial of Nikolai Vasil'evich Belov // *American Mineralogist*. 1984. Vol. 69. № 9/10. P. 989–992.
5. *Поваренных А.С.* Теоретические проблемы, структура геологической науки и эффективность научных исследований // *Геологический журнал*. 1977. № 1. С. 3–19.

ЭТЮДЫ
ОБ УЧЁНЫХ

ВСПОМИНАЯ НИКОЛАЯ ВАСИЛЬЕВИЧА БЕЛОВА

К 125-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Н.В. БЕЛОВА

© 2016 г. В.В. Бакакин, С.В. Борисов

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

e-mail: v_bakakin@mail.ru; borisov@niic.nsc.ru

Поступила в редакцию 05.05.2016 г.

DOI: 10.7868/S0869587316120021

О необычном пути в большую кристаллографию Николая Васильевича можно судить по отрывкам из его воспоминаний в сборнике “Fifty years of X-ray diffraction”, вышедшем в 1962 г. Полагаем, что изъяны обратного перевода с английского на русский не помешают читателю оценить своеобразие этих строк и получить удовольствие от рассказа Н.В. Белова о себе.

«Как бывший питомец тогда знаменитого Санкт-Петербургского политехнического института я испытал благотворное влияние самых лучших русских профессоров первых пятнадцати лет этого столетия, среди них, в частности, А.Ф. Иоффе ... Я стал работать простым химиком-аналитиком на одной ленинградской фабрике. Хорошо известный геохимик и минералог А.Е. Ферсман выбрал меня, сделав одним из главных сотрудников его журнала “Природа”. Я был для него человеком, который мог написать что-нибудь по любому вопросу в любой из областей чистой науки. Это были времена могучего вторжения В.М. Гольдшмидта в минералогические науки с ионными радиусами, координационными числами и т.д. В России ещё не было никого, кто бы постиг основы геохимии и кристаллохимии Гольдшмидта, и поэтому Ферсман решил, что эта работа для меня. Первым результатом был перевод “Кристаллохимии” Гасселя: русский текст перевода был по размеру вдвое больше оригинала и содержал в 10 раз больше рисунков. После этого я сделал сборник “Основные идеи геохимии” с переводами статей таких авторов, как Брэгг, Шибольд, Махачки, Тэйлор (полевые

шпаты). Я стал авторитетом в объяснении геологам внутреннего механизма их минералов.

После некоторых рискованных предприятий по технологии минералов я попал совершенно случайно в новую лабораторию (несколько лет спустя она превратилась в институт) кристаллографии, созданную Шубниковым. И здесь я вскоре стал руководителем рентгеновского отделения, не имея ни достаточных знаний, ни практики в области рентгеновских лучей (по принципу “лучше ты, чем кто-то другой не из нашего клана”). Мне тогда было 45 лет. Соревнование с ветеранами рентгенографии было в то время не слишком трудным, потому что это была эра Паттерсоновских синтезов, новых методов Фурье (штрипсы Биверса и Липсона) и т.д., и было легко опередить классических рентгенистов типа Глокера. В России большинство из них были металлофизиками, и они были убеждены, что кристаллография — только маленькая частичка металлофизики.

Также совершенно случайно я стал профессором кристаллографии и рентгеновского анализа на физическом факультете Горьковского университета. Docendo discibam (уча, я сам учился) и овладел знаниями, которых мне ещё не хватало, поскольку я был сначала химиком и минералогом...» [1, p. 520, 521].

Жаль нарушать цитирование, но вот как, оказывается, “не слишком трудно” и “совершенно случайно” алмазный самородок самоогранился до уникального бриллианта!

Когда в конце 1950-х годов член-корреспондент АН СССР Г.Б. Бокий организовал Кристаллохимический центр в только что созданном Сибирском отделении АН СССР, группу кристаллографов-структурщиков составили выпускники разных лет Горьковского и Московского университетов. Узкую специализацию и учёные степени они получали под руководством академика

БАКАКИН Владимир Васильевич — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ИНХ им. А.В. Николаева СО РАН. БОРИСОВ Станислав Васильевич — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ИНХ им. А.В. Николаева СО РАН.

Н.В. Белова. Впоследствии, характеризуя в одном из интервью развитие кристаллоструктурных исследований в Сибири, он писал: “Я сам послал туда много хорошего народа”.

В Новосибирске Николай Васильевич был трижды. Впервые — летом 1965 г. с рабочей поездкой. Тогда здесь была, наконец, определена кристаллическая структура минерала нептунита — сложного титаносиликата Mn , Fe и Li . К тому времени нептунит интересовал Н.В. Белова уже 10 лет. В структуре впервые был обнаружен “двойной” кремнекислородный ажурный каркас. Совместная доработка и интерпретация заняли несколько дней, и вскоре очень оперативно были опубликованы две статьи, кстати, всего на полгода опередившие аналогичную работу итальянских авторов.

Второй раз Николай Васильевич был здесь в сентябре 1978 г. как участник XI съезда Международной минералогической ассоциации. Запомнились в основном “гостевые” контакты с ним и одна продолжительная деловая встреча по поводу запланированной тогда книги Н.В. Белова, А.А. Годовикова и В.В. Бакакина “Очерки по теоретической минералогии”. Она вышла в 1982 г., но, к сожалению, Николай Васильевич не успел её увидеть. Любопытно, что позже монография была издана в Пекине на китайском языке. Издание это было “пиратское”, без ведома авторов. Можно только догадываться, как бы комментировал он появление данного экзотического экземпляра в его коллекции.

Третья поездка Н.В. Белова в Новосибирск связана с первым и единственным в своём роде семинаром по неорганической кристаллохимии (21–23 марта 1979 г.), который был организован лабораторией кристаллохимии Института неорганической химии СО АН СССР и проходил в стенах этого института. Семинар собрал представителей всех групп и школ Советского Союза, многие впервые посетили Академгородок. Николай Васильевич выступил с лекцией “Специфика кристаллохимии кальциевых силикатов”.

Один из многих талантов Николая Васильевича — изумительное чувство языка. Чтение его научных работ неизменно доставляет эстетическое удовольствие от формы, стиля изложения. Отблеск этого таланта ложился и на все тексты, которые он редактировал, в частности, сотни работ его дипломников и аспирантов. Несомненно, каждый из них благодарно хранит в памяти ненавязчивые “редакторские уроки”. Исправления делались очень тонким простым карандашом, при этом новичкам Николай Васильевич говорил, что у него просто большой опыт, что учитывать поправки необязательно, можно всё стереть.

Н.В. Белов не любил долго обсуждать научные результаты. Иногда в таких случаях он отшучи-

вался, говоря: “Я тугодум”. Но часто было видно, как минимум полезной информации делал для него вопрос ясным и уже неинтересным для сложного пережёвывания, и он переводил подобного плана разговор на житейские темы. Николай Васильевич знал практически всех причастных к изучению кристаллов, любил сообщать новости или сведения о научных и околонуточных событиях далёких лет, свидетелем которых был сам. Чувствовалось, что определённая порция таких разговоров служит для него своеобразной разрядкой от текущих дел и забот.

Неоднократно приходилось слышать от Н.В. Белова слова: “Я толстокожий”. Некоторые говорили о его якобы циничном отношении к действительности и неуязвимости к хвале и хуле. Очевидно, это было лишь самозащитой. Будучи тонкоорганизованной личностью, Николай Васильевич оказывался легкоранимым и обидчивым, особенно если речь шла о науке. Другое дело, что внешне обиды выражались малозаметно — в перемене интонации, переходе на более официальный тон.

Николай Васильевич не умел, точнее, стеснялся отказывать в просьбах. Весьма многочисленные, они касались, как правило, поддержки в продвижении в должности, звании, помощи в опубликовании и т.п. Он слыл либеральным и доброжелательным рецензентом, не пропускал халтуры, но снисходительно (философски) относился к малым погрешностям (как и к людским несовершенствам). В то же время приходилось слышать сетования по поводу правильных, но “серых”, малоинтересных работ некоторых известных авторов, присланных для представления в “Доклады АН СССР”: “Если бы в редакции условиться, что представление, написанное синим карандашом, недействительно...”. Зато как он радовался интересным расшифровкам и находкам, принципиальным решениям, не забывая публично похвалить авторов. Если же случалось выступить с критикой, он чувствовал себя неловко. Помнится, как вскоре после опубликования критической статьи в адрес одного автора Николай Васильевич признался, что три дня не решается распечатать письмо от него.

Н.В. Белов относился к числу учёных, не любящих показывать свою творческую “кухню”: он предпочитал работать над рукописями статей в одиночестве, часто проделывая большую черновую работу и выдавая соавторам готовый вариант. Бывали случаи, когда полученный под его руководством результат, считавшийся молодым исполнителем ещё не оформленным, “вдруг” появлялся уже опубликованным, причём фамилия самого Белова в таких статьях всегда стояла последней. “Молодым это нужно, а меня и так знают”, — говорил он.

Неординарность личности Николая Васильевича ощущалась с первых минут знакомства с ним. Для него каждый новый человек был объектом деятельного интереса и запоминался им навсегда. А далее — почти отеческая забота о каждом, предоставление ему возможности проявить себя, бескорыстная помощь и участие.

Восстановлению в мире заслуженного авторитета советской кристаллографии послужила организованная Николаем Васильевичем международная Фёдоровская сессия, посвящённая 40-летию со дня смерти русского кристаллографа Е.С. Фёдорова (Ленинград, май 1959 г.). Это был, наверное, первый за советскую историю представительный заезд в СССР десятков ведущих учёных. Как вице-президент Международного союза кристаллографов, Н.В. Белов использовал и административный ресурс, и личные знакомства, употребив колоссальную энергию для успешного проведения такого знакового мероприятия.

Из многочисленных научных интересов Николая Васильевича следует особо отметить побудительную причину кристаллизации, её энергетическую необходимость. Войдя в кристаллографию, он увлёкся общепринятой в ней теорией плотнейших упаковок атомов, вполне естественной для конденсированного состояния вещества, когда преобладают силы взаимного притяжения частиц. А поскольку в упаковке должны доминировать частицы объёмные, сложилось мнение, что структуру определяет расположение более крупных анионов. Но в расшифрованной моноклинной структуре молибдата железа [2] вдруг обнаружился катионный “скелет”, свойственный высокосимметричной структуре силиката граната. Затем последовали другие структуры с катионами тяжёлых металлов, где их расположение явно диктовало и симметрию, и размеры элементарных ячеек, а роль анионов оказывалась второстепенной.

Надо полагать, что эти факты потребовали пересмотра анионной концепции, и в 1971 г. в “Вестнике Московского университета” Н.В. Белов публикует статью “О двух важнейших предпосылках кристаллохимической минералогии — химической и геометрической”, где в качестве основного закона кристаллообразования предлагается закон “12 соседей”.

Далее была разработана механико-волновая концепция кристаллического состояния [3], получившая подтверждение на большом экспериментальном материале [4]. Кристалл в данной концепции — это механическая система “точечных” масс, связанных псевдоупругими силами взаимного притяжения, то есть находящихся в колебательном движении комплекса упругих стоячих плоских волн. Инициаторами упорядочения позиций атомов служат системы параллельных равноудалённых плоскостей (кристаллографических плоскостей (hkl) в образующейся структуре), которые концентрируют на себе центры атомов, превращаясь в узловые плоскости стоячих волн. Неразрешимый, казалось бы, парадокс: почему упорядочение атомов при кристаллизации, а иногда и увеличение удельного объёма, не только не требует энергии, но наоборот, выделяет её, — получает законное объяснение. Фиксируясь на узловых плоскостях, атомы теряют индивидуальные степени свободы, а следовательно, и соответствующую им кинетическую энергию теплоты кристаллизации, превращаясь в существенно меньшее число колеблющихся как единое целое объектов. Алгоритм исследования — кристаллографический анализ — опирается и на известные теоремы решёточной кристаллографии Н.В. Белова [5], так что мы считаем его главным соавтором этих работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fifty Years of X-Ray Diffraction. 1962. Edited by P.P. Ewald. Ix + 717 pp. Utrecht, The Netherlands (VII. Personal Reminiscences. N.V. Belov).
2. Плясова Л.М., Борисов С.В., Белов Н.В. Гранатовый мотив в структуре молибдата железа // Кристаллография. 1967. № 1. С. 33–36.
3. Борисов С.В. О кристаллическом состоянии // Журнал структурной химии. 1992. № 6. С. 123–130.
4. Борисов С.В., Магарилл С.А., Первухина Н.В. Кристаллографический анализ ряда неорганических соединений // Успехи химии. 2015. № 4. С. 393–421.
5. Борисов С.В., Магарилл С.А., Первухина Н.В. Кристаллографический анализ атомных структур — развитие “решёточной” кристаллографии Н.В. Белова // Кристаллография. 2011. № 6. С. 1001–1006.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

ЮБИЛЕИ

ЧЛЕНУ-КОРРЕСПОНДЕНТУ РАН А.С. МАРФУНИНУ – 90 ЛЕТ



Арнольд Сергеевич МАРФУНИН — крупный учёный-минералог, автор более 200 научных публикаций, в том числе 2 монографий, инициатор составления и издания энциклопедического трёхтомника “Высшая минералогия”, где принимали участие 200 учёных из 15 стран. Он стоял у истоков развития научного на-

правления “физика минералов”. Им выполнены пионерские исследования радиационных центров в минералах, показано, что такие центры являются общим свойством минерального вещества, обладающего дефектами в структуре минералов и находившегося в условиях естественной радиации на протяжении геологических периодов. Усовершенствованы теоретические и методические основы современной минералогии в сочетании с основами физики твёрдого тела и структурной кристаллофизикой. Развита новая методика исследований в области оптической спек-

троскопии, люминесценции, рентгеновской и электронной мессбауэровской спектроскопии. Работы учёного способствовали введению в минералогии многих новых понятий, отражающих свойства, параметры и характеристики структуры минералов, которые используются на практике для поисков месторождений радиоактивных полезных ископаемых и для их оценки.

А.С. Марфунин 25 лет работал заведующим кафедрой минералогии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, а ныне её главный научный сотрудник, член диссертационного совета геологического факультета МГУ и Экспертной комиссии по премии им. А.Е. Ферсмана РАН; основатель Геммологического центра МГУ; был вице-президентом Французского минералогического и кристаллографического общества; основатель и соредатор международного журнала “Physics and Chemistry of Minerals” издательства “Springer”.

А.С. Марфунин — почётный разведчик недр, почётный работник высшего образования РФ, лауреат премии Совета Министров СССР.

НАГРАДЫ И ПРЕМИИ

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ П.Н. ЛЕБЕДЕВА 2016 ГОДА — Е.Б. АЛЕКСАНДРОВУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. П.Н. Лебедева 2016 г. академику Евгению Борисовичу Александрову за цикл работ “Квантовая и шумовая магнитоспектроскопия”.

Академик Е.Б. Александров — учёный-экспериментатор, внёсший большой вклад в отечественную и мировую науку. Он автор пионерских работ в области квантовой и шумовой магнитоспектроскопии, квантовой магнетрии и техники стабилизации частоты. Е.Б. Алек-

сандров впервые наблюдал квантовые биения — эффект, используемый сейчас в спектроскопии сверхвысокого разрешения, обнаружил и интерпретировал новое универсальное явление “оптической самонакачки” в газовом разряде, существенное для прикладной квантовой электроники.

В основе удостоенного золотой медали цикла работ лежит предложенная Е.Б. Александровым идея извлечения информации о квантовых системах из спектра флуктуации интенсивного света, испускаемого квантовой системой. Показано, что при определённых условиях удастся извлечь информацию о веществе, недоступную для обычной спектроскопии, например, можно обнаружить

энергетическую структуру объекта, полностью скрытую неоднородным уширением спектральных линий. В настоящее время метод лазерной шумовой

спектроскопии переживает второе рождение в результате замечательных успехов компьютерных методов обработки больших массивов информации.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМ. А.П. КАРПИНСКОГО 2016 ГОДА — Н.П. ЛАВЁРОВУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. А.П. Карпинского 2016 г. академику Николаю Павловичу Лавёрову за выдающиеся работы по изучению топливных ресурсов для ядерной и углеводородной энергетики, пионерские исследования по геологии Российской Арктики, геоэкологии и изуче-

нию Земли из космоса.

Академик Н.П. Лавёров — выдающийся специалист в области изучения ресурсной базы топливно-энергетического комплекса России. Он известен своими крупными работами по оценке, прогнозу и освоению новых источников радиоактивного и углеводородного сырья, в том числе в Арктическом регионе, а также по повышению эффективности их разведки с использованием методов сверхглубокого бурения, глубокого сейсмического зондирования и дистанционного изучения Земли из космоса.

Н.П. Лавёров разработал теорию эволюции процессов уранового рудообразования в истории Земли; создал систему учёта запасов минерального сырья, издал первые ежегодные обзоры минеральных ресурсов мира, содержащие анализ основных тенденций их потребления и восполнения; предложил концепцию зарождения и развития ураноносных провинций, позволившую впервые в мировой практике сформулировать критерии поиска месторождений урана в континентальных палеовулканических областях. Он впервые предположил многоактность формирования крупных урановых провинций и уникальных месторождений, в которых проявлены полихронные и полигенные процессы концентрирования урана, и по-

казал важную роль учёта геологических условий сохранности урановых месторождений. На этой основе сформулированы критерии прогноза и перспективные направления их поисков. Николай Павлович создал новую генетическую систематику промышленных урановых руд и обосновал закономерную смену одних типов месторождений другими в истории Земли, выделив серию полигенных месторождений, уникальных по запасам и качеству руд.

Н.П. Лавёров основал новое научное направление — геоэкологию, целью которого является создание эффективных технологий устранения поверхностных радиоактивных загрязнений и безопасная изоляция высокорadioактивных отходов в глубоких горизонтах земной коры. По результатам изучения условий сохранности и разрушения урановых месторождений им доказана возможность безопасного геологического захоронения отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов, содержащих долгоживущие радионуклиды.

Николаем Павловичем рассмотрен ресурсный потенциал топливно-энергетического комплекса России, научно обоснованы стратегические направления его дальнейшего развития, предложены экономические решения по повышению эффективности разведки и освоения новых источников углеводородов, в том числе в Арктике.

Н.П. Лавёров возглавил создание модели геодинамической эволюции Арктики, в основе которой лежит представление о верхнемантийной конвекции в ходе субдукции Тихоокеанской литосферы под Евразийскую и Северо-Американскую плиты для обоснования обновлённой заявки России в Комиссию ООН на установление внешней границы российского континентального шельфа в Арктике.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ В.Н. СУКАЧЁВА 2016 ГОДА – Г.С. РОЗЕНБЕРГУ



Президиум РАН присудил премию им. В.Н. Сукачёва 2016 г. члену-корреспонденту РАН Геннадию Самуиловичу Розенбергу за монографию “Введение в теоретическую экологию” в двух томах и книгу “Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R” (в соавторстве).

Большинство исследований Г.С. Розенберга направлено на создание методик обработки экологических данных с использованием обширного современного аппарата математического моделирования, многомерного статистического ана-

лиза, распознавания образов, исследований операций.

Автором впервые проведён полный анализ современных методов математического моделирования сложных экосистем, описано и проиллюстрировано эмпирико-статистическое, аналитическое, имитационное и самоорганизующееся моделирование. Предложены новые методы описания структуры и динамики экосистем, а также критерии адекватности результатов их моделирования. Все эти методы апробированы на основе количественного анализа огромного объёма данных, полученных в подробных исследованиях широкого спектра экосистем. Автором предлагается стройная концепция теоретической экологии и реализуется один из возможных вариантов синтеза такой теории.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА 2016 г. –
А.Б. РУБИНУ, Т.Е. КРЕНДЕЛЕВОЙ И С.И. ПОГОСЯНУ

Президиум РАН присудил премию им. К.А. Тимирязева 2016 г. члену-корреспонденту РАН Андрею Борисовичу Рубину, доктору биологических наук Татьяне Евгеньевне Кренделевой, доктору биологических наук Сергею Иосифовичу Погосяну (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова) за цикл работ “Механизмы физиолого-биологической регуляции первичных процессов фотосинтеза в нормальных и стрессовых условиях”.

Многолетние фундаментальные исследования, посвящённые изучению молекулярных ме-

ханизмов ранних стадий трансформации солнечной энергии в энергию химических связей органических соединений в процессе фотосинтеза, проведены на кафедре биофизики МГУ под руководством члена-корреспондента РАН А.Б. Рубина. Результаты этих исследований позволили выявить механизмы взаимосвязи между структурно-функциональной организацией компонентов энергопреобразующего комплекса мембран хлоропластов, эффективностью первичных процессов фотосинтеза и запасанием световой энергии в клетках растений.

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В “ВЕСТНИКЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК”, 2016, № 1–12

Научная сессия Общего собрания Российской академии наук “Научные основы эффективности и безопасности лекарственных средств”. № 6.

Вступительное слово президента РАН академика В.Е. Фортова

Выступление министра здравоохранения РФ члена-корреспондента РАН В.И. Скворцовой

Инновационные лекарственные средства XXI века. Доклад академика РАН А.Г. Чучалина

Методология поиска и создания оригинальных лекарств. Доклад академика РАН С.Б. Середина

Инновационные лекарства: от фундаментальных исследований к производству. Доклад академика Н.Ф. Мясоедова

Новый класс доноров оксида азота. Доклад академика РАН С.М. Алдошина, доктора химических наук Н.А. Саниной, академика РАН М.И. Давыдова, академика РАН Е.И. Чазова

Векторные наносистемы доставки лекарственных препаратов в клетки-мишени. Доклад академика РАН В.П. Чехонина, академика РАН А.А. Потапова, академика РАН А.Н. Коновалова

Рекомбинантные антитела и рекомбинантные белки — лекарства пролонгированного действия. Доклад члена-корреспондента РАН А.Г. Габиева

Регуляция активности генов и новые лекарственные средства. Доклад члена-корреспондента РАН В.И. Киселёва, академика РАН М.А. Пальцева

Безопасные лекарства: миф или реальность. Доклад академика РАН А.И. Арчакова, доктора биологических наук О.М. Ипатовой, члена-корреспондента РАН А.В. Лисицы, доктора биологических наук С.А. Мошковского

Компьютерное моделирование в молекулярной медицине и конструирование лекарств. Доклад члена-корреспондента РАН С.Д. Варфоломеева, кандидата химических наук С.В. Луцкиной, доктора химических наук А.В. Немухина

Фармакологическая стратегия регенеративной медицины. Доклад академика РАН А.М. Дыгая

Конструирование противогриппозных вакцин в соответствии с генетическим профилем населения. Доклад академика РАН Г.Г. Онищенко, академика РАН О.И. Киселёва

Научные основы создания противовирусных и антибактериальных препаратов. Доклад академи-

ка РАН О.Н. Чупахина, академика РАН В.Н. Чарушина, члена-корреспондента РАН В.Л. Русинова

Растительное биоразнообразие и здоровье человека. Доклад академика РАН В.А. Быкова

Исследование природных соединений — путь к новым лекарствам. Доклад академика РАН В.А. Стоника

Выступления участников Научной сессии Общего собрания РАН: члена-корреспондента РАН И.В. Воловича, члена-корреспондента РАН В.В. Васильева, члена-корреспондента РАН Н.Э. Нифантьева, члена-корреспондента РАН С.М. Деева, члена-корреспондента РАН Т.А. Гуськовой, академика РАН А.Я. Самуйленко, академика РАН Ю.В. Цветкова, академика РАН Н.А. Колчанова, академика РАН М.И. Кузьмина

Заключительное слово президента РАН академика В.Е. Фортова

Постановление Научной сессии Общего собрания РАН “Научные основы эффективности и безопасности лекарственных средств”

Общее собрание Российской академии наук. № 9.

В преддверии решающего этапа. Дневник Общего собрания РАН

Выступление заместителя председателя Правительства Российской Федерации А.В. Дворковича О реформе РАН и основных научных результатах года. Доклад президента РАН академика В.Е. Фортова

О работе Президиума РАН и выполнении решений Общих собраний Российской академии наук в 2015 году. Доклад главного учёного секретаря Президиума РАН академика М.А. Пальцева

Выступление председателя Правительства Российской Федерации Д.А. Медведева

Выступления участников Общего собрания РАН: академиков А.Л. Асеева, Ю.С. Соломонова, В.Н. Чарушина, А.А. Саркисова, Л.А. Беспаловой, Г.А. Месяца, В.В. Калашникова, председателя Профсоюза работников РАН В.П. Калинушкина, академиков А.М. Караськова, В.Ф. Шабанова, члена-корреспондента РАН В.В. Коломейченко, академиков М.И. Кузьмина, Л.Д. Фаддеева, А.Н. Дмитриевского, члена-корреспондента РАН А.И. Иванчика, академиков В.А. Черешнева,

М.Я. Марова, В.А. Рубакова, Н.Л. Добрецова, Д.М. Климова, Б.С. Кашина, Р.И. Нигматулина, руководителя ФАНО России М.М. Котюкова, академика В.В. Костюка

Заключительное слово президента РАН академика В.Е. Фортова

О реформе РАН, основных научных результатах года и работе Президиума РАН в 2015 году. *Постановление Общего собрания РАН*

Доклады лауреатов Большой золотой медали им. М.В. Ломоносова Российской академии наук 2015 года

Келдыш Л.В. Динамическое туннелирование. № 12.

Коркум П. Исследование квантовых систем изнутри при генерации ими самых коротких в мире оптических импульсов. № 12.

Наука и общество

Миронов В.В. Трансформация экономики, политики и права в условиях глобализации. № 2.

Осипов В.И. Техногенез и современные задачи наук о Земле. № 8.

Порфирьев Б.Н., Рогинко С.А. Энергетика на возобновляемых источниках: перспективы в мире и в России. № 11.

Стародубов В.И., Куракова Н.Г. Идентификация субъекта в стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. № 12.

Теруков Е.И., Шуткин О.И. Перспективы солнечной энергетики в России. № 3.

Тишков В.А. Языки нации. № 4.

Фаворский О.Н., Батенин В.М., Масленников В.М., Кудрявый В.В., Филиппов С.П. Что нужно сделать для реализации энергетической стратегии страны. № 10.

Хабриева Т.Я. Конституционные реформы в современном мире. № 7.

Организация исследовательской деятельности

Блинов А.Н., Коннов В.И. Фонды поддержки науки в национальных научно-исследовательских комплексах: преимущества и ограничения. № 10.

Гейдаров П.Ш. Единая электронная система аттестации научной деятельности учёных. № 11.

Григорьев А.И., Котовская А.Р. Российско-французское научное сотрудничество в области космической биологии и медицины. № 7.

Егоров Е.А. Научное обеспечение виноградарства и винодельческой отрасли АПК России. № 5.

Исаев И.И., Соловьёв В.Д., Салимов Ф.И., Пилугин А.Г., Байрашева В.Р. Создание базы данных пол русским диалектам и перспективы диалектометрических исследований. № 11.

Кулагин А.С. О терминологической путанице в оценке результатов научной деятельности. № 8.

Кулагин В.А., Москвичёв В.В., Махутов Н.А., Маркович Д.М., Шокин Ю.И. Физическое и математическое моделирование в области гидродинамики больших скоростей на экспериментальной базе Красноярской ГЭС. № 11.

Паринов С.И. Технологии социальных сетей в организации научного взаимодействия. № 8.

Плугатарь Ю.В. Никитский ботанический сад как научное учреждение. № 2.

Ракитов А.И. Наука как объект управления. № 1.

Филиппова Т.П. Региональный академический центр в ракурсе реформ. № 1.

С кафедры Президиума РАН

Бужилова А.П. Реконструкция образа жизни древнего человека методами естественных наук. № 8.

Перспективы и препятствия на пути развития исторической антропологии и археологии в России. *Обсуждение научного сообщения.* № 8.

Громыко Ал.А. Россия, США, Малая Европа (ЕС): конкуренция за лидерство в мире полицентричности. № 2.

Наука призвана выполнять роль связующего звена между странами. *Обсуждение научного сообщения.* № 2.

Давыдов В.М. Стратегическое партнёрство в контексте российско-латиноамериканских отношений. № 4.

На пути к полицентричному миру. *Обсуждение научного сообщения.* № 4.

Дедов А.Г. Материалы и технологии для переработки газового сырья: проблемы, перспективы, решения. № 5.

Газохимия — отрасль XXI века. *Обсуждение научного сообщения.* № 5.

Кораблёв О.И. Марс и Венера: разные судьбы планет земной группы. № 7.

Изучение других планет — ключ к пониманию процессов на Земле. *Обсуждение научного сообщения.* № 7.

Кузнецов А.В. Зарубежные инвестиции российских компаний: конкуренция с западноевропейскими и восточноазиатскими ТНК. № 3.

Теоретическая и практическая значимость изучения международной инвестиционной активности. *Обсуждение научного сообщения.* № 3.

Порфирьев Б.Н. Экономика природных катастроф. № 1.

Как минимизировать риски природных бедствий и техногенных катастроф? *Обсуждение научного сообщения.* № 1.

Чубарьян А.О. Вторая мировая война в современной историографии и общественном сознании. № 5.

Мы должны противодействовать фальсификации истории. *Обсуждение научного сообщения.* № 5.

Из рабочей тетради исследователя

Акаев А.А., Садовничий В.А. Замкнутая динамическая модель для описания и расчёта длинной волны экономического развития Кондратьева. № 10.

Алабян А.М., Зеленцов В.А., Крыленко И.Н., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Создание интеллектуальных информационных систем оперативного прогнозирования речных наводнений. № 2.

Барелко В.В., Сафонов О.Г., Быкова Н.В., Быков Л.А., Дорохов В.Г., Кузнецов М.В. Каталитические превращения флюидов. № 4.

Бойцов С.А., Самородская И.В. Факторы, влияющие на смертность населения. № 12.

Бухер С. Современные тенденции старения населения России. № 3.

Журавлёв Ю.И., Рудаков К.В., Корчагин А.Д., Кузнецов М.П., Мотренко А.П., Стенина М.М., Стрижов В.В. Методы прогнозирования временных рядов. На примере железнодорожных грузоперевозок. № 2.

Зибарева И.В., Солошенко Н.С. Российские журналы в глобальных информационно-аналитических ресурсах. № 9.

Иванов В.В., Маркусова В.А., Миндели Л.Э. Государственные инвестиции и публикационная активность вузов: библиометрический анализ. № 7.

Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Васенин В.А., Борисов В.А., Роганов В.А. Суперкомпьютерные технологии в общественных науках: агент-ориентированные демографические модели. № 5.

Макаров В.Л., Окрепилов В.В. Принципы мониторинга качества жизни на основе агент-ориентированных моделей. № 8.

Семёнов В.В. Алканы и силаны: аналогии и различия. № 11.

Сидоров А.А., Волков А.В. Проблемы онтогенеза и филогенеза руд. № 1.

Обозрение

Алдошин С.М., Арутюнов В.С., Савченко В.И., Семенов И.В., Макарян И.А. Новые горизонты малотоннажной газохимии. № 8.

Арбатов А.Г. Кризис контроля над ограничением и нераспространением ядерного оружия. № 10.

Арефьев А.Л. Тенденции экспорта российского образования в 2005–2015 гг. № 10.

Бабашкин В.В. Крестьяноведение и история аграрных отношений в России. № 4.

Булатов А.С., Кузнецов А.В., Платонова И.Н., Квашин Ю.Д., Перцева С.Ю., Ребрей С.М., Сенюк Н.Ю., Татулов К.Г. Россия в международном движении капитала в 2014–2015 годах. № 5.

Ильин В.П. Фундаментальные вопросы математического моделирования. № 4.

Кавинова И.П. Евразийство в контексте русской истории и культуры. № 2.

Косяков Д.В., Гуськов А.Е., Быховцев Е.С. Академические институты России в зеркале вебметрики. № 11.

Молодин В.И., Полосьмак Н.В. Мультидисциплинарный подход к изучению археологических комплексов с мумифицированными объектами. № 3.

Семёнов В.В. Кремниевые аналоги предельных углеводородов. № 5.

Тишков В.А., Черкасский В.Б. Благодарные потомки — Карамзину. № 11.

Тосунян Г.А., Эхмалян А.М., Санникова Л.В., Пашенцев Д.А. Экономические санкции и развитие финансового законодательства России. № 1.

Тощенко Ж.Т. Зарождение нового социального класса. № 3.

Проблемы экологии

Авилова А.В. Каковы перспективы органического земледелия в России? № 3.

Зайдельман Ф.Р. Роль глееобразования в формировании и деградации почв. № 4.

Иванов Д.А., Ковалёв Н.Г., Тюлин В.А., Рублюк М.В., Карасёва О.В. Влияние ландшафтных и агроклиматических условий на качество зерна ячменя. № 5.

Кизяев Б.М., Исаева С.Д. Водообеспеченность Российской Федерации в условиях глобального потепления климата. № 10.

Романов Е.М., Нуреева Т.В., Белоусов А.А. Развитие агролесоводства как путь повышения эффективности землепользования. № 8.

Румянцев В.А., Поздняков Ш.Р., Крюков Л.Н. Влияние золь-гель процессов в бассейне Ладоги на медико-экологическую обстановку на территории водосбора озера. № 1.

Чубарова Н.Е., Жданова Е.Ю., Хаттатов В.У., Варгин П.Н. Актуальные проблемы изучения ультрафиолетовой радиации и озонового слоя. № 9.

Дискуссионная трибуна

Авакян С.В. Ещё раз “о борьбе с лженаукой”. № 11.

Маевский В.И., Малков С.Ю., Рубинштейн А.А. Теория перекрывающихся поколений основного капитала. № 1.

Мартыненко В.В., Мартыненко С.В. Социально-правовое развитие: кредитные сценарии. № 1.

Сергеев А.Г. Ответ на критическую заметку С.В. Авакяна. № 11.

Точка зрения

Андреев И.Л., Назарова Л.Н. Эволюционный фундамент психики и сознания. № 7.

Барцев С.И., Белоліпецкий П.В., Дегерменджи А.Г., Иванова Ю.Д., Почекотов А.А., Салтыков М.Ю. Новый взгляд на динамику климата Земли. № 3.

Бухарин О.В. Инфекционная симбиология — новое понимание старых проблем. № 10.

Ильин В.А., Морев М.В. Психологическое состояние российского общества. № 10.

Лавровский Б.Л. “Подушка безопасности” или стратегический просчёт? № 11.

Левашов В.К. Тридцать лет реформ и кризисов. № 1.

Попов Е.В. Культура научного сообщества — основа методологии экономической науки. № 4.

Салицкая Е.А. Принудительное лицензирование лекарственных средств как механизм обеспечения баланса публичных и частных интересов. № 5.

Юревич А.В. Патриотизм как научная проблема. № 4.

Эссе

Карпов А.О. Влияние христианства на становление матезиса Нового времени. № 10.

Этюды об учёных

Алдошин С.М. Жизнь как цепная реакция познания. К 120-летию со дня рождения академика Н.Н. Семёнова. № 4.

Бакакин В.В., Борисов С.В. Вспоминая Николая Васильевича Белова. К 125-летию со дня рождения академика Н.В. Белова. № 12.

Бучаченко А.Л. Памяти выдающегося современника. К 80-летию со дня рождения академика В.А. Легасова. № 12.

Масалов А.В. Научная программа выдающегося физика. К 150-летию со дня рождения П.Н. Лебедева. № 2.

Музрукова Е.Б., Фандо Р.А. Томас Морган и развитие биологии XX века. К 150-летию со дня рождения. № 9.

Осико В.В., Щербаков И.А. Пронзивший лучом. К 100-летию со дня рождения академика А.М. Прохорова. № 7.

Павлов В.А. “Всякое знание способно к усовершенствованию”. № 10.

Пушаровский Д.Ю., Еремин Н.Н. Создатель российской школы структурной кристаллографии. К 125-летию со дня рождения академика Н.В. Белова. № 12.

Суслов В.И., Сспицын С.А. Экономика — наука точная. К 80-летию со дня рождения академика А.Г. Гранберга. № 11.

История академических учреждений

Авруцкая Т.Б., Захаров-Гезехус И.А. К 50-летию Комиссии по сохранению и разработке научного наследия академика Н.И. Вавилова. № 10.

Кошелев П.П., Михайлов О.В. Институту химии силикатов имени И.В. Гребенщикова РАН — 80 лет. № 8.

Латышев А.В., Асеев А.Л. Новейшие достижения Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН. № 2.

Смагина Г.И. С уважением к предшественникам. К 95-летию создания Комиссии по истории знаний. 1921–1932. № 9.

Былое

Добрецов Н.Л., Ермиков В.Д., Молодин В.И. Противостояние в эпоху перемен. № 7.

Кузнецов В.Г. Краткая история становления и развития сравнительно-литологического метода. № 8.

Крымская А.С. Информационно-аналитические центры в системе принятия решений на государственном уровне. № 12.

Соболев В.С. Характерный эпизод из истории отечественной науки. № 3.

Чернышёв А.К. Участие Николая Николаевича Семёнова в Атомном проекте СССР. № 10.

Чудодеев Ю.В. Взаимоотношения СССР и Китая накануне и в годы Второй мировой войны. № 3.

За рубежом

Виноградов А.В., Салицкая Е.А., Салицкий А.И. Наука и техника в Китае: состоявшаяся модернизация. № 2.

Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Васенин В.А., Борисов В.А., Роганов В.А. Агент-ориентированные модели: мировой опыт и технические возможности реализации на суперкомпьютерах. № 3.

Научная жизнь

Заикина Г.А. Научное сотрудничество как средство реализации национальных интересов. № 1.

Ищенко В.В., Мирзеханов В.С. О работе Совместной комиссии по изучению новейшей истории российско-германских отношений. № 7.

Коваленко К.И. Перспективы использования информационных технологий в гуманитарных науках. № 7.

Лепский В.Е., Задорожнюк И.Е., Пирожкова С.В. Прорыв в будущее: размышления о социогуманитарном потенциале России. № 4.

Петров А.Ю. XXII Международный конгресс исторических наук. № 3.

Скворцова О.В. 300 лет служения науке. № 1.

Чибилёв А.А., Рябуха А.Г., Левыкин С.В. Как сохранить степи Евразии. № 2.

Письма в редакцию

Леонов Г.А. Ускоренное научно-техническое развитие в условиях санкций. № 3.

Рунов Б.А. О стратегии развития науки. № 11.

Размышления над новой книгой

Лекторский В.А., Аршинов В.И., Кузнецов В.Ю., Пружинин Б.И. Постнеклассическая наука и социокультурный контекст. № 8.

В мире книг

Рецензируется: “Центральная и Юго-Восточная Европа. Конец XX — начало XXI в. Аспекты общественно-политического развития”. № 1.

Рецензируется: Ю.А. Золотов “Записка научного работника. Академия, университет и многое другое”. № 5.

Рецензируется: В.Е. Фортов, Ю.М. Батурин, Г. Морфилл, О.Ф. Петров “Плазменный кристалл. Космические эксперименты”. № 8.

Рецензируется: “Международная энциклопедия CALS-технологий. Авиационно-космическое машиностроение”. № 9.

Официальный отдел

О конкурсе на соискание золотой медали им. В.Л. Гинзбурга, проводимом Российской академией наук в 2016 г. № 1.

О конкурсе на соискание золотой медали им. М.Ф. Иванова, проводимом Российской академией наук в 2016 г. № 4.

О конкурсах на соискание золотых медалей и премий имени выдающихся учёных, проводимых Российской академией наук в 2017 году. № 10.

О присуждении медалей Российской академии наук с премиями для молодых учёных России и для студентов высших учебных заведений России по итогам конкурса 2015 года (представление Комиссии РАН по работе с молодёжью). № 8.

О присуждении премии РАН и награждении почётными дипломами Президиума РАН за лучшие работы по популяризации науки 2015 года. № 11.

О присуждении премии Российской академии наук и Национальной академии наук Беларуси по итогам конкурса, проведённого в 2015 г. № 7.

О сотрудничестве между Российской академией наук и Национальной академией наук Беларуси. *Постановление Президиума РАН и Президиума НАН Беларуси*. № 2.

Президиум РАН решил — № 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12.

Юбилей академиков РАН

Бакланову П.Я. — 70 лет (№ 11)

Васильеву С.Н. — 70 лет (№ 11)

Галимову Э.М. — 80 лет (№ 11)

Добрецову Н.Л. — 80 лет (№ 4)

Приветственный адрес Зайцевой Н.В. (№ 8)

Иванову А.Л. — 60 лет (№ 5)

Касимову Н.С. — 70 лет (№ 11)

Приветственный адрес Когарко Л.Н. (№ 11)

Коновалову А.Н. — 80 лет (№ 5)

Счастливец В.М. — 80 лет (№ 2)

Татаркину А.И. — 70 лет (№ 9)

Фортову В.Е. — 70 лет (№ 1)

Чернышёву И.В. — 80 лет (№ 2)

Швейкину Г.П. — 90 лет (№ 11)

Юбилей членов-корреспондентов РАН

Горбачевичу А.А. — 60 лет (№ 4)

Гордиенко И.В. — 80 лет (№ 5)

Джемилёву У.М. — 70 лет (№ 9)

Додину Д.А. — 80 лет (№ 4)

Зуеву В.В. — 60 лет (№ 9)

Каныгину А.В. — 80 лет (№ 5)

Кориковскому С.П. — 80 лет (№ 11)

Мартышко П.С. — 60 лет (№ 2)

Марфунину А.С. — 90 лет (№ 12)

Мешкову И.Н. — 80 лет (№ 4)

Нарайкину О.С. — 70 лет (№ 2)

Попову Е.В. — 60 лет (№ 1)

Русакову С.Г. — 70 лет (№ 9)

Приветственный адрес Субботиной Н.Н. (№ 11)

Субботину Ю.Н. — 80 лет (№ 11)

Чувашову Б.И. — 80 лет (№ 2)

Награды и премии

Большая золотая медаль им. М.В. Ломоносова РАН 2015 г. — Л.В. Келдышу, П. Коркуму. № 5.

Золотая медаль им. П.Н. Лебедева 2016 г. — Е.Б. Александрову. № 12.

Золотая медаль им. С.П. Королёва 2016 г. — В.П. Иванову. № 5.

Золотая медаль им. А.П. Карпинского 2016 г. — Н.П. Лавёрову. № 12.

Золотая медаль им. Н.С. Курнакова 2015 г. — В.М. Новоторцеву. № 4.

Золотая медаль им. Н.Г. Басова 2015 г. — Ю.М. Попову. № 5.

Золотая медаль им. И.П. Павлова 2016 г. — Л.В. Розенштрауху. № 5.

Международная энергетическая премия “Глобальная энергия” 2016 г. — В.Н. Пармону. № 9.

Премия им. С.А. Лебедева 2015 г. — С.М. Абрамову, А.А. Московскому, В.Ю. Опанасенко. № 3.

Премия им. Н.С. Шатского 2015 г. — М.П. Антипову, Ю.А. Воложу, Т.Н. Херасковой. № 4.

Премия им. А.Н. Колмогорова 2015 г. — А.А. Боровкову, А.А. Могульскому. № 2.

Премия им. А.А. Маркова 2015 г. — С.В. Бочкарёву. № 3.

Премия им. И.В. Гребенщикова 2015 г. — М.М. Бубнову, А.Н. Гурьянову. № 1.

Премия им. Е.В. Тарле 2015 г. — А.Б. Давидсону. № 3.

Премия им. В.Н. Ипатьева 2015 г. — У.М. Джемилёву, В.М. Капустину, В.А. Хавкину. № 5.

Премия им. А.А. Шахматова 2015 г. — А.А. Зализняка. № 1.

Премия им. Г.В. Плеханова 2015 г. — А.С. Запесоцкому. № 4.

Премия им. А.А. Ухтомского 2015 г. — А.Л. Зефирину. № 1.

Премия им. А.О. Ковалевского 2015 г. — В.В. Исаевой. № 9.

Премия им. А.А. Баева 2016 г. — М.П. Кирпичникову. № 9.

Премия им. А.А. Григорьева 2015 г. — Э.Г. Коломьцу. № 4.

Премия им. А.Ф. Кони 2015 г. — М.Н. Копылову. № 1.

Премия им. С.С. Смирнова 2015 г. — Н.А. Криволюцкой. № 7.

Премия им. Н.К. Кольцова 2015 г. — О.В. Кырчановой, О.Г. Максименко, А.Н. Бончуку. № 2.

Премия им. А.А. Расплетина 2015 г. — П.П. Мальцеву. № 3.

Премия им. Ю.А. Овчинникова 2015 г. — Н.Ф. Мясоедову. № 2.

Премия им. С.Ф. Ольденбурга 2015 г. — В.В. Наумкину. № 2.

Премия им. И.Е. Забелина 2015 г. — Е.Н. Носову, В.М. Горюновой, А.В. Плохову. № 3.

Премия им. П.Н. Яблочкова 2015 г. — В.Л. Овсienко, И.Б. Пешкову, М.Ю. Шувалову. № 11.

Премия им. Д.С. Лихачёва 2015 г. — В.Я. Петрухину. № 7.

Премия им. С.Н. Виноградского 2015 г. — А.В. Пиневичу. № 3.

Премия им. Е.С. Фёдорова 2015 г. — Д.Ю. Пушаровскому, Н.В. Зубковой, И.В. Пекову. № 5.

Премия им. А.Н. Несмеянова 2015 г. — О.Г. Синяшину, А.А. Карасику. № 7.

Премия им. Н.И. Кареева 2015 г. — В.В. Согрину. № 2.

Премия им. Л.А. Чугаева 2015 г. — В.П. Федину, Ю.В. Миронову, В.Е. Фёдорову. № 3.

Премия им. А.А. Андропова 2015 г. — Ф.Л. Черноусько, И.М. Ананьевскому, С.А. Решмину. № 1.

Премия им. Е.С. Варги 2015 г. — Г.И. Чуфрину. № 3.

В конце номера

Апендиев Т.А., Асылбекова Ж.М., Абдукадыров Н.М., Сатов Е.Ж. Историческая картина переселения немцев в Казахстан (конец XIX — начало XX вв.). № 12.

Говорушко С.М. Реагируете ли вы на просьбы коллег? № 7.

Михайлов О.В. О принципах и специфике цитируемости в естественных и гуманитарных науках. № 2.

Судницин И.И. Родословное древо гения. № 8.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Абдукадыров Н.М.	12	1154	Васенин В.А.	3	252
Авакян С.В.	11	1033		5	412
Авилова А.В.	3	237	Васильев В.В.	6	566
Авруцкая Т.Б.	10	947	Виноградов А.В.	2	152
Акаев А.А.	10	883	Волков А.В.	1	30
Алабян А.М.	2	127	Волович И.В.	6	566
Алдошин С.М.	4	367	Володин А.Г.	12	1098
	6	495			
	8	719	Габибов А.Г.	6	506
Андреев И.Л.	7	620	Гейдаров П.Ш.	11	991
Апендиев Т.А.	12	1154	Говорушко С.М.	7	666
Арбатов А.Г.	10	897	Григорьев А.И.	7	603
Арефьев А.Л.	10	902	Громыко Ал.А.	2	108
Арутюнов В.С.	8	719	Гуськов А.Е.	11	1015
Арчаков А.И.	6	519	Гуськова Т.А.	6	568
Аршинов В.И.	8	745			
Асеев А.Л.	2	168	Давыдов В.М.	4	304
	9	800	Давыдов М.И.	6	495
Асылбекова Ж.М.	12	1154	Дворкович А.В.	9	776
			Дегерменджи А.Г.	3	244
Бабашкин В.В.	4	327	Дедов А.Г.	5	396
Байрашева В.Р.	11	972	Деев С.М.	6	567
Бакакин В.В.	12	1138	Дмитриевский А.Н.	9	810
Барелко В.В.	4	336	Добрецов Н.Л.	7	634
Барцев С.И.	3	244		9	814
Батенин В.М.	10	867	Дорохов В.Г.	4	336
Бахтизин А.Р.	3	252	Дыгай А.М.	6	533
	5	412			
Белолипецкий П.В.	3	244	Егоров Е.А.	5	406
Белоусов А.А.	8	728	Еремин Н.Н.	12	1133
Беспалова Л.А.	9	805	Ермиков В.Д.	7	634
Блинов А.Н.	10	873			
Бойцов С.А.	12	1089	Жданова Е.Ю.	9	839
Борисов В.А.	3	252	Журавлёв Ю.И.	2	138
	5	412			
Борисов С.В.	12	1138	Задорожнюк И.Е.	4	374
Бужилова А.П.	8	685	Заикина Г.А.	1	73
Булатов А.С.	5	422		5	392
Бухарин О.В.	10	915	Зайдельман Ф.Р.	4	342
Бухер С.	3	215	Захаров-Гезехус И.А.	10	947
Бучаченко А.Л.	12	1128	Зеленцов В.А.	2	127
Быков В.А.	6	553	Зибарева И.В.	9	824
Быков Л.А.	4	336			
Быкова Н.В.	4	336	Иванов В.В.	7	611
Быховцев Е.С.	11	1015	Иванов Д.А.	5	450
			Иванова Ю.Д.	3	244
Варгин П.Н.	9	839	Иванчик А.И.	9	811
Варфоломеев С.Д.	6	524	Ильин В.А.	10	921

Ильин В.П.	4	316	Левашов В.К.	1	66
Ипатова О.М.	6	519	Левыкин С.В.	2	176
Исаев И.И.	11	972	Лекторский В.А.	8	745
Ищенко В.В.	7	645	Леонов Г.А.	3	280
			Лепский В.Е.	4	374
Кавинова И.П.	2	144	Лисица А.В.	6	519
Калашников В.В.	9	807	Лущекина С.В.	6	524
Калинушкин В.П.	9	807			
Карасёва О.В.	5	450	Маевский В.И.	1	56
Караськов А.М.	9	808	Макаров В.Л.	3	252
Карпов А.О.	10	933		5	412
Кашин Б.С.	9	815		8	711
Квашнин Ю.Д.	5	422	Макарян И.А.	8	719
Келдыш Л.В.	12	1059	Малков С.Ю.	1	56
Кизяев Б.М.	10	909	Мануильский М.А.	2	116
Киселёв В.И.	6	512	Маркович Д. М.	11	978
Киселёв О.И.	6	537	Маркусова В.А.	7	611
Климов Д.М.	9	815	Маров М.Я.	9	813
Коваленко К.И.	7	650	Мартыненко В.В.	1	48
Ковалёв Н.Г.	5	450	Мартыненко С.В.	1	48
Коломейченко В.В.	9	809	Масалов А.В.	2	161
Колчанов Н.А.	6	569	Масленников В.М.	10	867
Коннов В.И.	10	873	Медведев Д.А.	9	797
Коновалов А.Н.	6	501	Месяц Г.А.	9	806
Кораблёв О.И.	7	587	Миндели Л.Э.	7	611
Коркум П.	12	1073	Мирзеханов В.С.	7	645
Корчагин А.Д.	2	138	Миронов В.В.	2	99
Костюк В.В.	9	819	Михайлов О.В.	2	189
Косяков Д.В.	11	1015		5	455
Котовская А.Р.	7	603		8	735
Котюков М.М.	9	818	Молодин В.И.	3	224
Кошелев П.П.	8	735		7	634
Крыленко И.Н.	2	127	Морев М.В.	10	921
Крымская А.С.	12	1121	Москвичёв В.В.	11	978
Крюков Л.Н.	1	43	Мотренко А.П.	2	138
Кудрявый В.В.	10	867	Мошковский С.А.	6	519
Кузнецов А.В.	3	203	Музрукова Е.Б.	9	847
	5	422	Мясоедов Н.Ф.	6	488
Кузнецов В.Г.	8	740			
Кузнецов В.Ю.	8	745	Назарова Л.Н.	7	620
Кузнецов М.В.	4	336	Немухин А.В.	6	524
Кузнецов М.П.	2	138	Нигматулин Р.И.	9	816
Кузьмин М.И.	6	570	Нифантьев Н.Э.	6	567
	9	809	Нуреева Т.В.	8	728
Кулагин А.С.	8	698			
Кулагин В.А.	11	978	Окрепилов В.В.	8	711
Куракова Н.Г.	12	1081	Онищенко Г.Г.	6	537
			Онопrienко В.И.	8	754
Лавровский Б.Л.	11	1026	Осико В.В.	7	628
Латышев А.В.	2	168	Осипов В.И.	8	675

Павлов В.А.	10	941		5	442
Пальцев М.А.	6	512	Салтыков М.Ю.	3	244
	9	790	Самородская И.В.	12	1089
Паринов С.И.	8	706	Самуйленко А.Я.	6	568
Пашенцев Д.А.	1	35	Санина Н.А.	6	495
Перцева С.Ю.	5	422	Санникова Л.В.	1	35
Петров А.Ю.	3	277	Саркисов А.А.	9	804
Пилюгин А.Г.	11	972	Сатов Е.Ж.	12	1154
Пирожкова С.В.	3	212	Сафонов О.Г.	4	336
	4	374	Седов И.В.	8	719
	8	694	Семёнов В.В.	5	434
	9	771	Сенюк Н.Ю.	5	422
Платонова И.Н.	5	422	Сергеев А.Г.	11	1037
Плугатарь Ю.В.	2	120	Середенин С.Б.	6	484
Погосян М.А.	9	859	Сидоров А.А.	1	30
Поздняков Ш.Р.	1	43	Скворцова В.И.	6	477
Полосьмак Н.В.	3	224	Скворцова О.В.	1	79
Попов Е.В.	4	360	Смагина Г.И.	9	852
Попов С.С.	1	15	Соболев В.С.	3	273
	4	314	Соколов Б.В.	2	127
	5	403	Соловьёв В.Д.	11	972
	7	601	Соломонов Ю.С.	9	802
Порфирьев Б.Н.	1	3	Солошенко Н.С.	9	824
	11	963	Стародубов В.И.	12	1081
Потапов А.А.	6	501	Стенина М.М.	2	138
Потрясаев С.А.	2	127	Стоник В.А.	6	557
Почкутов А.А.	3	244	Стрижов В.В.	2	138
Пружинин Б.И.	8	745	Судницын И.И.	8	766
Пушаровский Д.Ю.	12	1133	Суслов В.И.	11	1041
			Суспицын С.А.	11	1041
Ракитов А.И.	1	18	Сушко Е.Д.	3	252
Ребрей С.М.	5	422		5	412
Роганов В.А.	3	252			
	5	412			
Рогинко С.А.	11	963	Татулов К.Г.	5	422
Романов Е.М.	8	728	Тебиев Б.К.	1	86
Рубаков В.А.	9	814	Теруков Е.И.	3	195
Рубинштейн А.А.	1	56	Тишков В.А.	4	291
Рублюк М.В.	5	450		11	1005
Рудаков К.В.	2	138	Тосунян Г.А.	1	35
Румянцев В.А.	1	43	Тощенко Ж.Т.	3	231
Рунов Б.А.	11	1046	Тюлин В.А.	5	450
Русинов В.Л.	6	546			
Рябуха А.Г.	2	176	Фаворский О.Н.	10	867
			Фаддеев Л.Д.	9	810
Савченко В.И.	8	719	Фандо Р.А.	9	847
Садовничий В.А.	10	883	Филиппов С.П.	10	867
Салимов Ф.И.	11	972	Филиппова Т.П.	1	24
Салицкий А.И.	2	152	Фортов В.Е.	6	475, 572
Салицкая Е.А.	2	152		9	778, 821

Хабриева Т.Я.	7	579	Чудодеев Ю.В.	3	263
Хаттатов В.У.	9	839	Чупахин О.Н.	6	546
			Чучалин А.Г.	6	480
Цветков Ю.В.	6	569			
			Шабанов В.Ф.	9	808
Чазов В.И.	6	495	Шварцев С.Л.	12	1106
Чарушин В.Н.	6	546	Шокин Ю.И.	11	978
	9	803	Шуткин О.И.	3	195
Черешнев В.А.	9	812			
Черкасский В.Б.	11	1005	Щербаков И.А.	7	628
Чернышёв А.К.	10	953			
Чехонин В.П.	6	501	Экмалян А.М.	1	35
Чибилёв А.А.	2	176			
Чубарова Н.Е.	9	839	Юревич А.В.	4	352
Чубарьян А.О.	5	387	Юсупов Р.М.	2	127

ИСТОРИЧЕСКАЯ КАРТИНА ПЕРЕСЕЛЕНИЯ НЕМЦЕВ В КАЗАХСТАН (конец XIX — начало XX вв.)

© 2016 г. Т.А. Апендиев^a, Ж.М. Асылбекова^b, Н.М. Абдукадыров^c, Е.Ж. Сатов^d

^a Национальная академия наук Казахстана, Алма-Ата, Казахстан

^b Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алма-Ата, Казахстан

^c Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

^d Международным казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави, Туркестан, Казахстан

e-mail: timur.apendiev@mail.ru; west-side_90@mail.ru

Поступила в редакцию 26.10.2016 г.

У каждого народа, проживающего в Казахстане, своя история переселения в казахские степи. Немцы не исключение. В последней четверти XIX в. они начали расселяться из Поволжья в Акмолинскую и Семипалатинскую области Степного и Сырдарьинскую область Туркестанского генерал-губернаторств, Тургайскую и Уральскую области, то есть преимущественно на север Казахстана, где они основали целый ряд поселений. Переселенцам удалось обустроить своё хозяйство и быт, строго придерживаясь национальных традиций, сохраняя свою религию и культуру. Авторы статьи исследуют причины переселения немцев в Казахстан, места их расселения, социальные-культурные и бытовые условия, хозяйственную деятельность.

Ключевые слова: немцы, переселение, Казахстан, Россия, демография, религия, немецкая культура, хозяйство, аул, исследование.

DOI: 10.7868/S0869587316150019

В 1891–1892 гг. часть проживавших в Российской империи немцев-колонистов мигрировали из Поволжья в Степной край и Туркестан. Причиной стали неурожайные годы, следовавшие один за другим. Среди первых немецких переселенцев на территорию современного Казахстана выделялись две социальные группы — малоимущие и зажиточные. Представители первой группы мигрировали в поисках лучшей жизни, второй — в надежде обзавестись крупной земельной собственностью [1]. Большинство переселенцев устремилось в Акмолинскую и Сырдарьинскую области.

В 1897 г. в Российской империи была проведена Первая всеобщая перепись населения. По её данным, на территории современного Казахстана проживало 7049 немцев, из них в Акмолинской области — 4791 человек, в Семипалатинской области — 100, в Тургайской области — 70, в Уральской области — 161, в Семиреченской области — 40, в Сырдарьинской области — 1887 [2].

В последующие годы переселенческий поток увеличился, особенно активно осваивая Акмолинскую область. К 1914 г. численность немцев здесь составила около 30 тыс. человек. В преддверии Первой мировой войны общее количество

немцев-переселенцев в Казахстане достигло 63 тыс. человек [3, с. 14, 15]. Следует отметить, что Министерство внутренних дел Российской империи препятствовало переселению немцев дальше границ Акмолинской области [4].

Массовость переселения вызывала у коренного населения серьёзное недовольство. Нередко возникали конфликтные ситуации, связанные с землепользованием. Генерал-губернатор Степного края Н.Н. Сухотин первым высказался против дальнейшего переселения туда немцев. Он отдавал предпочтение русским крестьянам-переселенцам, которые тогда же начали активно осваивать просторы Степного края. По его мнению, социально-экономическое положение русских крестьян было значительно хуже, чем немецких. В 1905 г. генерал Н.Н. Сухотин обратился к губернатору Акмолинской области с предложением в дальнейшем запретить немцам мигрировать на эту территорию. Новый генерал-губернатор Степного края И.П. Надаров, получивший назначение в 1906 г., напротив, оказался сторонником немецкой колонизации, и переселение немцев в казахские степи продолжилось. Об этом свидетельствует положительная динамика роста численности немцев [4, с. 20].

Большая часть переселенцев (порядка 60%) устремилась в северные регионы, в Акмолинскую (Омский и Кокшетауский уезды) и Тургайскую (Кустанайский уезд) области. В Кустанайском уезде колонисты основали несколько новых населённых пунктов: в 1901 г. село Озёрное, в 1902 г. — Надеждинское, в 1904 г. — Воскресенское. Здешные немцы в основном были выходцами из Бессарабской и Херсонской губерний.

В 1905 г. в северной переселенческой зоне было зарегистрировано 63 немецких семьи (377 человек). Они располагали совокупным капиталом в 37 тыс. руб., лошадьми (179) и коровами (17). В первый же год переселенцы начали строительство 47 жилых домов и 76 хозяйственных построек.

По данным на 1910 г., в Акмолинской области было 46 немецких поселений, в которых проживало 19822 человека. Им было выделено 232190 десятин земли. В целом в 1910 г. ситуация выглядела следующим образом: в Омском уезде — 16 поселений (6296 человек), в Кокшетауском уезде — 13 поселений (4437 человек), в Акмолинском уезде — 16 поселений (8957 человек), в Атбасарском уезде — одно поселение (132 человека) [4, с. 25].

В начале XX в. в Семипалатинской области немецкие крестьяне компактно проживали в 12 посёлках: Гнаденталь (Борисовка), Штейнфельд (Федотовка), Гальбшад, Константиновка, Ровнополье, Заборовка, Софиевка, Доминское, Раевское и др. [5, S. 144]. В области численность немцев была незначительной — от 30–40 до 200–300 человек в селе.

В Павлодарском уезде немцы также основали несколько сёл: Розовка, Акимовка, Ульяновка, Луганское, Анастасьевка, Новоивановка, Никитовское и др. (всего 17).

Стоит упомянуть, что основная часть немецких переселенцев были менонитами. Они компактно проживали в 13 сёлах в южной части Павлодарского уезда [6, S.127]. В 1907–1910 гг. число немецких колонистов в Павлодарском уезде постоянно росло, и к 1908 г. они составили 1/3 всех переселенцев. В 1907 г. в Павлодарский уезд переехали 94 семьи (588 человек), в 1908 г. — 384 (440 человек), в 1910 г. — 85 (519 человек). Всего в период с 1907 по 1910 г. общее число немцев-переселенцев составило 793 семьи (5034 человека). С 1909 г. по приказу переселенческого управления в Семипалатинской области размер земельных участков, отводимых государством под переселение, начинает уменьшаться [7, с. 164–171]. Общая территория немецких посёлков в Павлодарском уезде составила 58 тыс. км².

В Каркаралинском уезде Семипалатинской области также появились немецкие сёла: Введенское, Златорунное, Келлеровское, Любимовское, Розовское, Линеевское и др. [4, с. 26].

В 1909–1910 гг. значительная часть немцев вместе с русскими крестьянами переселились в Павлодарский и Зайсанский уезды Семипалатинской области. По приказу генерал-губернатора Степного края в 1911 г. их переправили в Челым и Кенасуйский аулы Каркаралинского уезда Семипалатинской области. Но позже немцы из Зайсанского уезда переселились в Усть-Каменогорский и Павлодарский уезды.

В 80-х годах XIX в. шло переселение и в южные районы казахской степи, в Сырдарьинскую область. Первые поселения появились в Аулиятинском уезде. Сюда немцы переезжали из Бердянского, Самарского, Новоузенского уездов Таврической губернии. Это было порядка 100 семей, они поселились в окрестностях Таласа. В 1882 г. здесь образовались четыре немецких посёлка: Николайполь, Владимировка, Андреевка, Романовка. Расстояние между поселениями было около 1 км.

Не имевшие собственной земли на родине крестьяне пытались получить поддержку власти, однако из-за нехватки свободного земельного фонда администрация запретила переселение. Многие переселенцы были вынуждены возвращаться обратно. В 1907 г. около 30 немецких семей переселились в село Алексеево, расположенное в низовьях реки Чу. В 1908 г. 45 немецких семей вместе с жителями аула Бишташ образовали село под названием Иоганнесдорф. В 1911 г. в Аулиятинском уезде насчитывалось около 1500 немцев, причём 29 проживавших здесь семей не имели собственной земли [8].

В село Константиновка Ташкентского уезда Сырдарьинской области переселились родственники и земляки уже живших здесь немцев (90 семей). Им в пользование была передана 1000 десятин земли вблизи станции Акжар. Таким образом, в Южном Казахстане образовался Степной аул. К 1912 г. количество немцев в Сырдарьинской области достигало 7628 человек.

В 1915 г. на государственных землях в Акмолинской области образовалось 56 немецких поселений, где проживали 27 тыс. человек. В это время в Семипалатинской области около 6 тыс. немцев-переселенцев жили в восьми сёлах, иногда вместе с русскими крестьянами.

Большую часть переселенцев составляли небогатые крестьяне. Богатых и даже зажиточных было немного, и они в основном проживали в городах. Немцы-переселенцы занимались мелким предпринимательством или были наёмными работниками на промышленных предприятиях. Но большинство (84%) занималось земледелием. Они использовали усовершенствованный сельскохозяйственный инвентарь — железные плуги, шлифовки и т.д. [9, с. 35].

Жители Аулиятинского уезда Сыр-Дарьинской области специализировались главным образом на производстве молочных продуктов. В 1888 г. здесь был открыт первый сыроваренный завод. В 1912 г. начали работать четыре сыроваренных и шесть маслобойных предприятия. Сельскохозяйственная продукция, произведённая в немецких крестьянских хозяйствах, продавалась не только жителям Аулиятинского, но и Туркестанского и Ташкентского уездов. Накануне Первой мировой войны в регионе проживало около 7 тыс. немцев, из них 6.5 тыс. вели хозяйство на орошаемых землях.

Немцы стремились сохранить свои религиозные, языковые и бытовые обычаи и традиции, поэтому предпочитали жить отдельно от казахов, русских и украинцев. Смешанные сёла были редкостью.

Как отмечалось выше, на новом месте немцы старались сохранить свою религию и культуру. Среди них были католики, протестанты (лютеране) и менониты. Лютеране составляли большинство. В 1913–1914 гг. в степных областях лютеранская консистория объединилась в четыре центра, в том числе: Александрский немецкий удел в Омском уезде, святого Петра в Акмолинском уезде, остальные два центра располагались в Павлодарском уезде [10, с. 112].

Проживая компактно, менонитские общины помогали новым поселенцам. Трудолюбие немецкого народа, а также протестантское воспитание способствовали превращению бедных посёлков в богатые и процветающие.

Сохранялся обряд конфирмации, который всегда проходил как большой праздник. В сёлах Кенюхово и Пруггерovo Восточно-Казахстанской области эта традиция сохранилась по сей день, несмотря на малочисленность ныне проживающих здесь немцев. Религиозная служба проводилась утром по воскресеньям и длилась несколько часов. Эта традиция также сохранилась до наших дней в сёлах Горкуновка и Убинка.

Среди немцев, переселившихся в Степной край и Туркестан, было немало сектантов. Поначалу местное население относилось к ним предвзято. Однако они не вели активной миссионерской деятельности ни среди православных, ни тем более среди мусульман.

Таким образом, в последней четверти XIX в. и в начале XX в. на территории современного Казахстана численность немцев динамично росла. Сохраняя свой язык, культуру и религию, немцы тем не менее устанавливали тесные торгово-экономические отношения с коренным населением и другими переселенцами, прежде всего русскими и украинцами.

После распада СССР и провозглашения Казахстана государственной независимости началась репатриация немцев на историческую родину, которую их предки покинули в XVIII в. Но они не забыли Казахстан и считают его своей второй родиной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошман Т.В. Немецкое население Степного края в конце XIX — начале XX вв. // История немцев Центральной Азии. Материалы международной научной конференции. Алматы, 1998. С 31–34.
2. Рассчитано А.Н. Алексеенко по: Первая всеобщая перепись населения Российской империи 1897 г. Т. 85. С. 53.
3. Кригер В.Э. Социально-экономическое развитие немецкой переселенческой деревни Казахстана (дореволюционный период). Автореферат ... канд. истор. наук. Алма-Ата, 1991.
4. Вибе П.П. Переселение немцев-колонистов в Степной край в конце XIX — начале XX вв. (на примере Акмолинской и Семипалатинской областей) // История немцев Центральной Азии. Материалы международной научной конференции. Алматы, 1998. С 19–30.
5. Fast G. In den Steppen Sibiriens. Rosthern, 1957.
6. Freie F. Deutscher Bauernkalender. Pokrowsk, 1927.
7. Бекмаханова Н.Е. Многонациональное население Казахстана и Киргизии в эпоху капитализма (60-е годы XIX века — 1917 год). М.: Наука, 1986.
8. Krieger V. The formation level of the Volga Germans after the population census of the year 1897, 1926, 1939 // Jahrbuch für Internationale Germanistik. XXXVI. 2004. № 2. S. 35–47.
9. Кригер В. Особенности адаптации немецкого населения в Центральной Азии до 1917 г. // История немцев Центральной Азии. Материалы международной научной конференции. Алматы, 1998.
10. Кригер В.Э. Немецкая переселенческая деревня Казахстана (на рубеже XIX–XX веков) // Советские немцы: История и современность. Материалы Всесоюзной научно-практической конференции. Москва, 1990. С. 110–115.

Сдано в набор 13.09.2016	Подписано к печати 17.10.2016	Дата выхода в свет 25.11.2016	Формат 60 × 88 ¹ / ₈
Цифровая печать	Усл. печ. л. 12.0	Усл. кр.-отт. 4.7 тыс.	Уч.-изд. л. 12.0
	Тираж 376 экз.	Зак. 621	Цена свободная

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 — 67137 от 16 сентября 2016 г. в Роскомнадзоре
Учредитель: ФГБУ “Российская академия наук”

Издатель: Российская академия наук. Издательство “Наука”, 117997 Москва, Профсоюзная ул., 90
Оригинал-макет подготовлен МАИК “Наука/Интерпериодика”
Отпечатано в типографии “Наука”, 121099 Москва, Шубинский пер., 6