

СОДЕРЖАНИЕ

Том 90, номер 4, 2020

Научная сессия Общего собрания членов РАН

“Периодическая таблица — универсальный язык естествознания”

Выступление заместителя министра просвещения РФ В.С. Басюка	303
Выступление первого заместителя министра науки и высшего образования РФ академика РАН Г.В. Трубникова	304
<i>Ю. А. Золотов</i>	
Периодический закон химических элементов: 150 лет развития	305
<i>Ю. Ц. Оганесян</i>	
Периодическая таблица через 150 лет	312
<i>А. Ю. Цивадзе</i>	
Селективное разделение близких по свойствам химических элементов Периодической таблицы — основа новых технологий	320
<i>Е. Н. Каблов</i>	
Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки	331
<i>В. Н. Чарушин, Ю. А. Титова, Е. Р. Милаева</i>	
Химические элементы в медицине	335
<i>А. А. Лутовинов</i>	
Химические элементы в космосе	346
<i>Н. П. Тарасова, А. С. Макарова</i>	
Зелёная химия и хемофобия	353
Выступления участников научной сессии Общего собрания членов РАН: академиков А.М. Музафарова, В.И. Колесникова, В.Ю. Цветкова, М.П. Егорова	359
Постановление Общего собрания членов РАН	361

Организация исследовательской деятельности

<i>О. В. Третьякова</i>	
Оценка журналов RSCI по экономическим наукам в контексте создания национального индекса цитирования	364

Точка зрения

<i>Б. Л. Лавровский, Е. А. Горюшкина</i>	
Динамика производительности труда и инвестиции. Эмпирические наблюдения	381

Официальный отдел

Президиум РАН решил	390
---------------------	-----

В конце номера

<i>О. В. Михайлов</i>	
Самоцитирование: тонкости определения	397

CONTENTS

Vol. 90, No. 4, 2020

Scientific Session of the RAS General Meeting “Periodic Table as a Universal Language of Natural Science”

Speech by the Deputy Minister of Education V.S. Basyuk	303
Speech by the Deputy Minister of Science and Higher Education Academician G.V. Trubnikov	304
<i>Yu. A. Zolotov</i>	305
Periodic law of chemical elements: 150 years of development	
<i>Yu. Ts. Oganesyan</i>	312
Periodic table after 150 years	
<i>A.Yu. Tsivadze</i>	320
Selective separation of elements of the Periodic table with similar properties is the basis of new technologies	
<i>E. N. Kablov</i>	331
New innovative materials and technologies	
<i>V. N. Charushin</i>	335
Chemical elements in medicine	
<i>A. A. Lutovinov</i>	346
Chemical elements in space	
<i>N. P. Tarasova</i>	356
Green chemistry and chemophobia	
Speeches by the participants of the RAS Scientific session: academicians A.M. Muzafarov, V.I. Kolesnikov, V.Yu. Tsvetkov, M.P. Egorov	359
The resolution of the General meeting of the RAS scientific session “Periodic table of the elements as a universal language of natural science”	361

Organization of Research

<i>O. V. Tretyakova</i>	
Evaluation of RSCI economic science journals in the context of creation of national citation index	364

Point of View

<i>B. L. Lavrovsky, E. A. Goryushkina</i>	
Dynamics of labor productivity and investment. Empirical observations	381

Official Section

Decisions of the RAS Presidium	390
--------------------------------	-----

At the End of the Issue

<i>O. V. Mikhailov</i>	
Self-citation: subtleties of definition	397

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”**

**ВЫСТУПЛЕНИЕ ЗАМЕСТИТЕЛЯ МИНИСТРА
ПРОСВЕЩЕНИЯ РФ В.С. БАСЮКА**

Поступило в редакцию 25.11.2019 г.

После доработки 25.11.2019 г.

Принято к публикации 20.12.2019 г.

Ключевые слова: Министерство просвещения Российской Федерации, Научная сессия Общего собрания членов РАН, Периодическая таблица химических элементов, Д.И. Менделеев, просветительская деятельность.

DOI: 10.31857/S0869587320040027

Мне поручено от имени Министерства просвещения РФ передать участникам Общего собрания членов Российской академии наук и научной сессии “Периодическая таблица элементов – универсальный язык естествознания” слова приветствия и пожелания успешной работы. Зачитаю обращение министра О.Ю. Васильевой.

Глубокоуважаемые коллеги!

От лица Министерства просвещения и от себя лично приветствую вас на Общем собрании членов Российской академии наук.

Министерство ведёт активную работу с Российской академией наук как в системных вопросах научной и просветительской деятельности, так и по отдельным направлениям, в числе которых экспертиза федеральных государственных образовательных стандартов, создание в стране базовых школ, ориентированных на выявление и развитие талантов и тяги к научным знаниям у детей, построение ими успешной карьеры в области

науки и высоких технологий, проведение оценки результативности деятельности научных организаций.

2019 год провозглашён ЮНЕСКО Международным годом Периодической таблицы химических элементов, что имеет особое значение для России, в том числе для нашей системы просвещения. Инициатива ЮНЕСКО способствует мировому признанию заслуг великого русского учёного Дмитрия Ивановича Менделеева, повышению престижа отечественной науки и, безусловно, привлечёт внимание молодёжи к науке, её достижениям.

Уверена, что результаты Общего собрания и Научной сессии послужат усилению доступности научных знаний для обучающихся всех возрастов.

Желаю вам реализации научных и творческих идей, высоких достижений на пути укрепления российской науки и отечественного образования.

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”**

**ВЫСТУПЛЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАМЕСТИТЕЛЯ МИНИСТРА НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ Г.В. ТРУБНИКОВА**

Поступило в редакцию 25.11.2019 г.

После доработки 25.11.2019 г.

Принято к публикации 15.12.2019 г.

Ключевые слова: Министерство науки и высшего образования РФ, Российская академия наук, выборы членов РАН, экспертиза научных проектов, новая редакция Закона о науке, международное научно-техническое сотрудничество.

DOI: 10.31857/S0869587320040155

Для Российской академии наук сегодня очень важный день. Мы все ждём того, что в ряды академии вольются новые действительные члены и члены-корреспонденты, очень достойные люди. Конкурс был высоким практически по всем отделениям. Уверен, мы сделаем правильный выбор, и люди, которые сегодня станут членами академии по итогам голосования Общего собрания, усилят и укрепят Российскую академию наук и российскую науку в целом.

Пользуясь возможностью, хочу в первую очередь высказать слова благодарности президенту РАН, её президиуму и всем отделениям за хорошо подготовленную работу по проведению экспертизы научных тем, проектов и программ. Действительно, этот процесс был организован в короткие сроки, можно сказать, в боевых условиях. Мы совместно обсуждали, согласовывали и принимали все процедуры, все регламенты на площадке Минобрнауки и Российской академии наук. Затем заявки на участие в конкурсах, научные темы, проекты и программы оперативно и профессионально подвергались экспертизе. По моим данным, речь идёт о более чем 17 тыс. экспертиз различных тем и проектов.

Важный момент, на котором, думаю, стоит заострить внимание, — наша совместная работа по обсуждению новой редакции Закона о науке. Нам совместно с РАН, с профильным комитетом Государственной думы, с Советом Федерации удалось гармонично организовать этот процесс, что позволило двигаться в правильном направлении. Нет сомнения, что вся интеллектуальная экс-

пертная мощь академии будет работать на формулирование новой редакции этого закона.

Следует сказать о роли Российской академии наук в укреплении и развитии международного научно-технического сотрудничества. Это очень важная миссия, важная для государства. Только вовлекая научные организации Академии наук, сильные профессиональные команды в сотрудничество с ведущими научными организациями, университетами, академиями зарубежных стран — нашими партнёрами, только так мы сможем реализовать Национальный проект “Наука” и Национальный проект “Образование”. Оба этих судьбоносных для российской науки и образования документа получили серьёзную поддержку государства. И едва ли их цели достижимы без продвижения идей открытой науки, без активного привлечения ведущих зарубежных исследователей на площадки наших научных организаций и университетов, без создания совместных коллективов и совместных проектов по прорывным направлениям и приоритетам, которые утверждены Указом Президента РФ в Стратегии научно-технологического развития России.

Сегодня я желаю всем участникам Общего собрания РАН успешной работы, интересных докладов, с которыми выступят выдающиеся учёные. Вечернее заседание будет сконцентрировано на выборах. Надеюсь, что оно пройдёт успешно, без каких-либо сбоев, и уже завтра все мы будем поздравлять новых членов Российской академии наук.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ:
150 ЛЕТ РАЗВИТИЯ

© 2020 г. Ю. А. Золотов

Российская академия наук, Москва, Россия

E-mail: zolotov.32@mail.ru

Поступила в редакцию 16.10.2019 г.

После доработки 16.10.2019 г.

Принята к публикации 23.01.2020 г.

Рассматривая вклад Д.И. Менделеева в российскую и мировую науку, автор доклада рассказывает об истории открытия знаменитого периодического закона химических элементов, его значении для развития химии и физики. Главная мысль докладчика состоит в том, — что в своих обобщениях Менделеев поднялся до уровня формулирования закона, имеющего предсказательную силу, позволяющего делать прогнозы. Прошедшие с тех пор 150 лет полностью подтвердили это. Таблица Менделеева содержала 63 элемента, теперь в ней 118 элементов.

Ключевые слова: Д.И. Менделеев, периодический закон химических элементов, Периодическая система (таблица), Г. Мозли, Н. Бор, Нобелевская премия по химии, взаимопроникновение наук.

DOI: 10.31857/S0869587320040180

Дмитрий Иванович Менделеев — наиболее известный за пределами нашей страны русский учёный, а в России он, безусловно, входит в первую тройку деятелей науки. Менделеева знают как химика, хотя его интересы были более широкими, химии принадлежит не более трети его публикаций, другие относятся к физике, метрологии, воздухоплаванию, но особенно к экономике и конкретным вопросам промышленности и сельского хозяйства. На закате жизни Менделеев писал: “Сам удивляюсь, чего я только не делывал в своей научной жизни” [1, с. 714]. Л.А. Чугаев, известный химик, руководивший с 1911 г. кафедрой неорганической химии Петербургского университета, которой до 1890 г. заведовал Д.И. Менделеев, выступая на I Менделеевском съезде в 1907 г.,

так сказал о своём предшественнике: “Гениальный химик, первоклассный физик, плодотворный исследователь в области гидродинамики, метеорологии, геологии, в различных отделах химической технологии (взрывчатые вещества, нефть, учение о топливе и др.) и других сопредельных с химией и физикой дисциплинах, глубокий знаток химической промышленности и промышленности вообще, особенно русской, оригинальный мыслитель в области учения о народном хозяйстве, государственный ум, которому, к сожалению, на суждено было стать государственным человеком, но который видел и понимал задачи и будущность России лучше представителей официальной власти. Таков был Дмитрий Иванович Менделеев” [2].



ЗОЛОТОВ Юрий Александрович — академик РАН, советник РАН, главный научный сотрудник ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН, профессор химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

ОТКРЫТИЕ ЗАКОНА

Из числа работ нашего великого соотечественника к химии относятся химическая, или гидратная, теория растворов (растворы как ассоциации), гипотеза о минеральном происхождении нефти, знаменитая книга “Основы химии”, создание варианта бездымного пороха, пропаганда нефтехимии, ряд других достижений. Но, конечно, главный его вклад — разработка периодического закона химических элементов, значение которого вышло за пределы химии. Закон ис-



Рис. 3. Некоторые книги о Периодическом законе

известные тогда 63 элемента в порядке увеличения их атомного веса, увидел в этой последовательности пустоты, более того — предсказал свойства элементов, которые, по его мнению, должны быть обнаружены в этих пустотах. Через несколько лет эти элементы были открыты, и свойства их оказались близкими к предсказанным Менделеевым. Речь идёт прежде всего о галлии, германии и скандии. В таблице в качестве примера приведены данные для галлия, который Менделеев называл экаалюминием. Это стало триумфом периодического закона.

Процесс формирования периодической системы элементов не был простым. Менделеев сталкивался с трудностями расположения в системе водорода, таллия, индия, редкоземельных и некоторых других элементов. Так, он безуспешно пытался встроить в систему редкоземельные элементы, но позднее Б. Браунер предложил включить их в одну клетку периодической системы, где находился лантан, и вынести для удобства в отдельный ряд лантанидов вне основной таблицы. Новые затруднения возникли после открытия в конце XIX столетия инертных газов, приходилось идти на компромиссы. А когда была открыта радиоактивность, появился повод для некоторой

растерянности; кстати, до своей кончины в 1907 г. Менделеев радиоактивность так и не признал. Что касается положения водорода, то до сих пор этот элемент — чужой среди своих, в системе Менделеева для него не нашлось очевидного места, его присутствие в первой группе, в первом периоде Периодической системы — результат компромисса.

ПРИЧИНЫ ПЕРИОДИЧНОСТИ. ЭВОЛЮЦИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА

Причина периодичности была непонятна. Менделеев пытался отыскать её на пути исследования мирового эфира, существование которого интересовало учёного всю жизнь, но это направление оказалось тупиковым. В то же время он писал, что разгадку периодичности надо искать “во внутренней механике атомов и молекул”. В эту “внутреннюю механику” стали проникать только на рубеже XIX и XX столетий.

В 1913 г. благодаря работам Г. Мозли периодический закон приобрёл новую формулировку. Не атомный вес, или, как мы сейчас говорим, не атомная масса легла в основу расположения элементов, а заряд ядра атома, совпадающий с

Таблица 1. Характеристики предсказанного Менделеевым экаалюминия и открытого позднее галлия

Свойство	Экаалюминий (Ea)	Галлий (Ga)
Относительная атомная масса	68	69.9
Температура плавления, °C	Низкая	29.78
Плотность, г/см ³	5.9	5.94
Формула осадка	Ea ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃

порядковым номером элемента в Периодической системе. Закон звучал так: “Свойства химических элементов... находятся в периодической зависимости от заряда атомных ядер”. Эта формулировка, как и менделеевская, не раскрывала причин периодичности. Действительно, почему при постоянном росте заряда ядра возникает периодическое изменение свойств элементов, повторяющаяся аналогия этих свойств? Затем Н. Бор и представители его школы выдвинули объяснение периодичности на основе “старой квантовой теории”. Имеет место корреляция между структурой внешних электронных оболочек атома и химическими свойствами атома. Структура же электронных оболочек определяется принципом Паули и минимумом полной энергии атома.

В принципе данный подход оказался эффективным. Квантово-корпускулярная теория по отношению к атому, развитая Бором и Зоммерфельдом, позволила Бору в 1922 г. рассчитать электронную конфигурацию ещё не открытого элемента № 72, тоже предсказанного Менделеевым, и предположить, что этот элемент должен быть похожим на цирконий. На следующий год элемент был обнаружен, назван гафнием и действительно оказался аналогом циркония. *Периодический закон действовал!* После работ Л. де Бройля за электроном признали волновые свойства, отказались от понятия траектории его движения, в обиход вошло понятие об электронном облаке, об электронных орбиталях атома, принятое и сегодня. Пришли к выводу, что изменения в электронной конфигурации атомов лежат в основе повторяемости их свойств. Отсюда новая формулировка Периодического закона: “Периодичность свойств химических элементов определяется периодичностью электронных структур атомов”. На этих представлениях зиждется объяснение многого в химии, на этом базируется её преподавание.

Но и самая современная трактовка периодичности не свободна от шероховатостей, структура электронных оболочек атомов нередко отклоняется от последовательностей, предписываемых квантовой механикой, соответствующие представления оказываются не всегда достаточными для объяснения природы химических связей, есть дополнительная периодичность элементов. Выяснение причин периодичности продолжается. Встают новые вопросы, например при изучении антиэлементов. Получен антиводород, у которого заряд ядра не 1^+ , а 1^- , на его оболочке расположен не электрон, как у обычного водорода, а позитрон.

Первые данные показывают, что водород и антиводород — по сути, один и тот же элемент.

ГРАНИЦЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Первые таблицы Менделеева насчитывали 63 элемента плюс несколько предсказанных, к началу атомной эры, то есть к 1938–1940 гг., было известно 92 элемента, среди которых несколько радиоактивных; последним, 92-м, самым тяжёлым, стал уран. В дальнейшем были получены трансурановые элементы. Нобелевский лауреат по химии 1951 г. Г. Сиборг выдвинул гипотезу о ряде элементов — актинидов, аналогов лантанидов, которые, как и лантаниды, не помещались целиком в основное тело Периодической системы, точнее, помещались, но большей группой в одной клетке. Эта гипотеза оказалась по сути верной, несмотря на то, что первые члены ряда актинидов, а именно торий, протактиний, уран, нептуний и плутоний, мало похожи на лантаниды. Ряд актинидов был заполнен до конца, до элемента 103, среди новых элементов был и элемент 101, названный менделевием. Начиная с элемента 104, стал пополняться седьмой большой период Периодической системы, последним был открыт элемент 118, названный в честь академика Ю.Ц. Оганесяна оганесоном. В этом периоде ещё несколько элементов имеют ласкающие душу названия — московий, дубний, флеровий. Общеизвестно, какой большой вклад внесли в открытие элементов конца Периодической системы наши коллеги из Дубны. Вопрос о продолжении Периодической системы в сторону тяжёлых элементов (остров стабильности, релятивистские эффекты, возможные нарушения периодичности) довольно широко обсуждается. Поэтому обратимся к началу Периодической системы.

Это может показаться неожиданным, но Менделеев ставил вопрос о продолжении таблицы и в сторону элементов легче водорода. Он, в частности, писал: “Никогда мне в голову не приходило, что именно водородом должен начинаться ряд элементов” [3]. Менделеев ставил перед собой цель “лишить водород того исходного положения, которое он давно занимает, и заставить ждать элементов с ещё меньшим, чем у водорода, весом атома, во что я всегда верил” [там же]. Эти соображения рождались на фоне глубокого интереса Менделеева к идее мирового эфира. Он полагал, что такой эфир не только существует, но что он дискретен, структурирован, должен иметь материальный носитель или носителей. Учёный предполагал существование элемента, атомный вес которого, по его расчётам, должен лежать в интервале от 10^{-11} до 10^{-7} от атомного веса водорода, принятого за единицу. Этому элементу Менделеев даже придумал название — ньютоний. Допускалось существование и ещё одного эле-

Гафний (Hf — 178.5 а.е.м.) будет открыт Д.Костером и Д.Хевеши в 1923 г.

ОПЫТ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

H = 1		Ti = 50		Zr = 90	? = 180
Be = 9,4		Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
B = 11	Al = 27,4	? = 68	U = 116	Au = 197?	
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118		
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?	
O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?		
F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127		
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
	Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207	
	? = 45	Ce = 92			
	?Er = 56	La = 94			
	?Yl = 60	Di = 95			
	?In = 75,6	Th = 118?			

Скандий (Sc — 44.956 а.е.м.) будет открыт Л.Нильсоном в 1879 г.

Галлий (Ga — 69.72 а.е.м.) будет открыт Л.де Буабодраном в 1875 г.

Германий (Ge — 72.59 а.е.м.) будет открыт К.Винклером в 1886 г.

Рис. 4. Одна из первых систем элементов, подготовленная Д.И. Менделеевым, с указанием предполагаемых элементов

мента до водорода, который Менделеев назвал коронием.

Идея мирового эфира (правда, не такого, о каком писал Менделеев, а однородного, сплошного, неструктурированного) была похоронена физиками ещё в 1920-х годах. А мысль об элементах легче водорода периодически высвечивается. Например, было предложение считать элементом позитроний — безъядерную систему из электрона и позитрона, или мюоний — водородоподобную систему мюон+электрон, где тяжёлый мюон как бы играет роль ядра. Высказывалась идея, что периодическая система может начинаться и заканчиваться нейтронным веществом. Нейтрон и его “изотопы” — это как бы элементы нулевой группы, с нулевым зарядом. Тот факт, что ультрахолодные нейтроны можно держать в вакууме как “газ”, ставит вопрос о том, считать ли этот “газ” веществом. На этот вопрос мы должны дать положительный ответ, как только вспомним о нейтронных звёздах, а также о гипотетических пока сверхтяжёлых элементах, в которых число нейтронов намного превышает число протонов.

ОБ АВТОРЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА

Трудно обойти стороной тему “Менделеев и Академия наук”. Известно, что одним из грехов нашей академии считается неизбрание в число её членов автора периодического закона. Нужно уточнить: Менделеев был членом академии, в 1876 г. его избрали членом-корреспондентом; он не стал академиком. Между прочим, не были академиками и оставались, как и Менделеев, до конца жизни членами-корреспондентами филолог В.И. Даль, биологи И.М. Сеченов, К.А. Тимирязев и И.И. Мечников, врач Н.И. Пирогов, механик Н.Е. Жуковский, историк Н.И. Костомаров. Неплохая компания! Но, разумеется, Менделеев должен был бы быть избран академиком.

Парадоксально, но от неизбрания академиком Дмитрий Иванович даже выиграл — в смысле общественного признания, поддержки, популярности, получения престижных званий. Волна возмущения в связи с неизбранием, поднявшаяся не без участия профессора Н.А. Меншуткина, заведовавшего в Петербургском университете кафедрой аналитической химии, оказалась очень мощной, прокатилась по России и вышла за её

Ряды	Группы элементов										
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
0	Ньюто- ний										
1	Коро- ний	H 1.009	—	—	—	—	—	—			
2	He 4.0	Li 7.03	Be 9.1	B 11.0	C 12.0	N 14.01	O 16.0	F 19.0			
3	Ne 19.9	Na 23.0	Mg 24.36	Al 27.1	Si 28.2	P 31.0	S 32.06	Cl 35.45			
4	Ar 39	K 39.15	Ca 40.1	Sc 44.1	Ti 45.1	V 51.2	Cr 52.1	Mn 55.0	Fe 55.9	Co 59	Ni 59
5		Cu 63.6	Zn 65.4	Ga 70.0	Ge 72.5	As 75	Se 79.2	Br 79.95			
6	Kr 81.8	Rb 85.5	Sr 87.6	Y 89.0	Zr 90.6	Nb 94.0	Mo 96.0	—	Ru 101.7	Rh 103.0	Pd 106.5
7		Ag 107.93	Cd 112.4	In 115.0	Sn 119.0	Sb 120.2	Te 127	I 127			
8	Xe 128	Cs 132.9	Ba 137.4	La 138.9	Ce 140.2	—	—	—	—	—	—
9		—	—	—	—	—	—	—			
10	—	—	—	Yb 173	—	Ta 183	W 184	—	Os 191	Ir 193	Pt 194.5
11		Au 197.2	Hg 200.0	Tl 204.1	Pb 206.9	Bi 208.5	—	—			
12	—	—	Ra 225	—	Th 232.5	—	U 238.5				

Рис. 5. Периодическая система элементов из 8-го издания “Основ химии” Д.И. Менделеева, в которой отражены элементы ньютоний и короний

пределы. На этой волне многие университеты, академии, общества стали избирать Менделеева своим почётным членом: только с 11 ноября по 31 декабря 1880 г. такое решение приняли 14 обществ и учебных заведений России, в том числе Московский, Казанский, Харьковский и Новороссийский университеты. 24 ноября 1880 г. “Новости и Биржевая газета” написала следующее: «История с забаллотировкой в Академии проф. Менделеева принимает положительно гомерические размеры и становится вопросом всероссийским, общенациональным. Популярность почтенного профессора возросла и распространилась вдруг, с гораздо большей экспрессией, чем если бы он обогатил науку в стократ важнейшими открытиями, сравнительно с теми, которые им сделаны... В газетах образовалась уже целая литература об его учёных трудах и заслугах, из-за него ломаются перья в полемическом походе против академических тевтонов — “дядюшек” и “племянников”. Теперь остаётся, чтобы г. Менделеев сам почтил академический ареопаг тоже благодарственным письмом за то, что он забаллотировал его, оказал ему этим в сущности неоценимую услугу. Ведь благодаря несговорчивости “дядюшек” Менделеев в одну неделю стал одним из популярнейших людей в России!»

Чуть позже волна пересекла границы страны, началось массовое признание за рубежом, например, в 1882 г. Менделееву присудили медаль имени Дэви Лондонского королевского общества, в следующем году он стал почётным членом Английского химического общества.

Разумеется, Менделеев заслуживал Нобелевской премии. Его выдвигали трижды — в 1905, 1906 и 1907 гг. В 1905 г. премию по химии присудили немецкому учёному Адольфу Байеру, которого до этого выдвигали не один раз. В 1906 г. Комитет по химии рекомендовал Менделеева (4:1), но Королевская академия присудила премию французскому химику Анри Муассану, который был старше Менделеева; видимо, рассудили, что Менделеев ещё успеет, а Муассан, возможно, нет. Договорились, что в следующем году Менделеев будет беспроигрышным первым, но в феврале он умер. Лауреатов объявляют в октябре, а умершим премии не присуждают.

Широкая известность человека чревата повышенным интересом к его личной жизни или к его недостаткам, а также возникновением мифов. Сложилось несколько мифов и о Менделееве: о том, что он автор рецепта русской водки, что периодическая система ему приснилась, что он вычислил секрет бездымного пороха, что он известный изготовитель чемоданов и отменный переплётчик. Эти мифы по большей части не имеют отношения к действительности. Правда лишь то, что Менделеев сам переплетал свои бумаги, а состав бездымного пороха просчитал, но по бумагам, а не подсчитывая, как полагали, тайком вагоны с ингредиентами пороха, поступавшими на завод.

В заключение вернёмся к периодическому закону. Многие химики 1860–1870-х годов вначале довольно равнодушно отнеслись к попыткам систематизации химических элементов. После пер-

вого сообщения о периодичности в Русском химическом обществе известный химик академик Н.Н. Зинин высказался в том смысле, что лучше бы Менделеев занимался делом. Однако, когда значение этого открытия становилось всё более очевидным, начались споры о том, кому принадлежит первенство. Основным оппонентом был Ю.Л. Мейер. Чтобы не разбираться по существу, в 1882 г. Лондонское химическое общество присудило упомянутую медаль Дэви одновременно и Менделееву, и Мейеру. Впоследствии приоритет Менделеева признавался всё больше и больше. Мейер отмечал позднее, что он не додумался до предсказаний, как это сделал Менделеев [4]. Не имея возможности поехать в 1882 г. в Лондон, чтобы получить медаль Дэви, Дмитрий Иванович послал телеграмму, в которой, помимо прочего, написал в духе Ломоносова, что мир ещё узнает российских ньютонов, дальтонов или дэви. Сейчас мы можем констатировать, что это произошло. И имя Менделеева стало одним из первых в этом ряду.

История периодического закона служит символом взаимопроникновения наук, особенно химии и физики. Здесь особенно ярко проявилась справедливость слов М.В. Ломоносова: “Химик без знания физики подобен человеку, который всего искать должен ошупью. И сии две науки так соединены между собой, что одна без другой в совершенстве быть не могут” [5, с. 269].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Менделеев Д.И.* Соч. Т. 25. Л.—М.: Изд-во АН СССР, 1952.
2. *Чугаев Л.А.* Дмитрий Иванович Менделеев: Жизнь и деятельность. Л.: Науч. хим.-технич. изд-во, 1924.
3. *Менделеев Д.И.* Периодический закон / Редакция, статья и примечания Б.М. Кедрова. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 470–517.
4. *Семишин В.И.* Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева. М.: Химия, 1972.
5. *Ломоносов М.В.* О воспитании и образовании. М.: Директ-Медиа, 2014.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА ЧЕРЕЗ 150 ЛЕТ

© 2020 г. Ю. Ц. Оганесян

Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия

E-mail: oganessian@jinr.ru

Поступила в редакцию 20.01.2020 г.

После доработки 20.01.2020 г.

Принята к публикации 31.01.2020 г.

К началу 2019 г., провозглашённого ООН и ЮНЕСКО Международным годом Периодической таблицы химических элементов, 7-й период таблицы был уже заполнен новыми, самыми тяжёлыми элементами. Согласно предсказаниям теории, изотопы сверхтяжёлых элементов, обладающие повышенной стабильностью, образуют на карте нуклидов большую зону в виде острова с вершиной, расположенной вблизи “магических” чисел протонов $Z = 114$ и нейтронов $N = 184$. Новые элементы с атомными номерами от 114 до 118 были синтезированы в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флёрова Объединённого института ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне в 2000–2012 гг. в реакциях слияния ядер мишени – тяжёлых изотопов актиноидов ($Z = 94–98$) – с бомбардирующими ионами кальция-48. Из полученных экспериментальных результатов следует, что могут существовать ядра/элементы с атомными номерами более 118 и массами более 300 а.е.м. Для исследования ядерной и электронной структур новых элементов, а также их химических свойств, равно как и синтеза элементов начала 8-го периода Периодической таблицы, в Дубне создан новый экспериментальный комплекс Фабрика сверхтяжёлых элементов (Фабрика СТЭ), где уже состоялся пуск нового ускорителя ДС-280 и в ближайшее время начнутся эксперименты. Вводная и заключительная части моего выступления на научной сессии Общего собрания членов РАН относились к открытию периодического закона, опубликованного Д.И. Менделеевым 150 лет назад. Действие этого закона в свойствах тяжелейших элементов представляет и сегодня одну из актуальных и интересных задач естествознания.

Ключевые слова: Периодическая таблица Д.И. Менделеева, сверхтяжёлые элементы, “остров” стабильности, Фабрика сверхтяжёлых элементов, спонтанное деление.

DOI: 10.31857/S086958732004009X

ПРОЛОГ

Предание гласит, что всё началось с письма, которое сэр Мартин Поляков, профессор Ноттингемского университета (Великобритания) и иностранный член РАН, направил 28 июля 2016 г.



ОГАНЕСЯН Юрий Цолакович – академик РАН, научный руководитель Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флёрова ОИЯИ.

президенту Международного союза чистой и прикладной химии (ИЮПАК) члену-корреспонденту РАН Наталии Павловне Тарасовой:

“Уважаемая Наталия,

надеюсь, что Вы в порядке.

Как я понимаю, 2019 год станет 150-й годовщиной публикации Менделеевым Периодической таблицы. Было бы интересно знать, можно ли поднять вопрос о том, чтобы объявить 2019 год Международным годом Периодической таблицы. Чувствую, что это предложение может получить большую поддержку. Как Вы думаете?

С наилучшими пожеланиями,

Мартин Поляков”.

Н.П. Тарасова поставила этот вопрос на заседании Исполнительного комитета ИЮПАК, который, как ей показалось, со здоровым скептицизмом поддержал идею Международного года

Периодической таблицы и предложил России воплотить её в жизнь через ЮНЕСКО. Начиная с этого момента вся деятельность по данному вопросу, проводимая Международным союзом чистой и прикладной химии в течение 18 месяцев, легла на плечи президента ИЮПАК и её коллег.

Российская академия наук и российские химики с большим воодушевлением взялись за дело: написали обращение Менделеевского съезда (2016) и Российского химического общества к мировой научной общественности, президент РАН академик В.Е. Фортов направил письмо министру иностранных дел России С.В. Лаврову, РАН обратилась в ИЮПАК, Н.П. Тарасова написала письмо Генеральному директору ЮНЕСКО и пр. К этому времени подошло другое событие, непосредственно связанное с Периодической таблицей химических элементов. После включения в 2012 г. в таблицу 114-го и 116-го элементов ИЮПАК принял название и утвердил символы ещё четырёх химических элементов, в их числе двух самых тяжёлых. Это случилось 28 ноября 2016 г. Все четыре элемента со своими названиями и символами заполнили и замкнули 7-й ряд Периодической таблицы Д.И. Менделеева. На инаугурации новых химических элементов, состоявшейся 2 марта 2017 г. в Доме учёных РАН, три директора сотрудничающих лабораторий — академик РАН Виктор Матвеев (ОИЯИ, Дубна, Россия), профессор Томас Мейсон (Ок-Риджская национальная лаборатория, Ок-Ридж, США) и профессор Вильям Гольдштейн (Ливерморская национальная лаборатория, Ливермор, США) — направили совместное письмо в ЮНЕСКО в поддержку юбилейного года Периодической таблицы. И это далеко не полный перечень шагов, предпринятых научным сообществом в преддверии 2018 г.

А 20 декабря 2017 г. с интересной и необычной формулировкой — *“признавая важность глобального расширения знаний о том, как химия способствует устойчивому развитию в области энергетики, образования, сельского хозяйства и здоровья,”* — Генеральная Ассамблея ООН, затем и ЮНЕСКО провозгласили 2019-й Международным годом Периодической таблицы химических элементов — IYPT-2019.

НОВЫЕ ОБИТАТЕЛИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ

В 1928 г. Георгий Антонович Гамов, наш соотечественник, выпускник Ленинградского государственного университета, уже известный к тому времени советский физик, предложил первую теоретическую модель атомного ядра в виде капли заряженной жидкости с плотностью, на 15 порядков превышающей плотность воды [1]. В новой науке, ядерной физике, этой работе суждено

было сыграть большую роль. На основе капельной модели ядра Гамов создал теорию альфа-распада (1928) [2], Карл Фридрих фон Вайцзеккер предложил свою знаменитую формулу для расчёта энергии связи ядер (1935) [3], а Нильс Бор и Джон А. Уилер создали теорию ядерного деления (1939) [4]¹.

Согласно Бору и Уилеру, тяжёлое ядро предохраняет от разделения на две части потенциальный барьер. Высота барьера деления ядра урана составляет 6 МэВ. Поэтому если в ядро внести энергию более чем 6 МэВ (например, энергию захвата ядром нейтрона), оно моментально разделится на две части. В этом процессе выделяется энергия около 200 МэВ, что используется в атомных электростанциях. Однако ядро урана может разделиться самопроизвольно (спонтанно) без вноса в ядро дополнительной энергии. Для этого, как было впервые измерено Г.Н. Флёрвым и К.А. Петржаком (1940) [6], потребуется огромное время — 10^{16} лет! По мере удаления от урана в область более тяжёлых ядер высота барьера деления быстро уменьшается, что приводит к резкому увеличению вероятности спонтанного деления. При исчезновении барьера ядро будет испытывать спонтанное деление за время около 10^{-19} с. В теории Бора и Уилера подобная критическая ситуация наступает при подходе к элементам с атомным номером 100. По сути, это и есть предел существования ядер.

Ещё 60 лет назад такое макроскопическое, и в этом смысле классическое, описание процесса деления не вызывало сомнений. Особенно после синтеза первых искусственных элементов тяжелее урана, прекрасно подтверждающего капельную теорию деления: от урана ($Z = 92$) до калифорния ($Z = 98$) период полураспада относительно спонтанного деления уменьшился в 10^{14} раз [7]! Сомнения в прогнозах капельной модели деления возникли позже, после открытия в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флёрва ОИЯИ спонтанно делящихся изомеров (1962) [8]. Оказалось, что внутренняя структура ядра, наблюдаемая в основных состояниях, сохраняется и в сильно деформированных конфигурациях на пути к делению, продолжая играть важную роль в вероятности спонтанного деления тяжёлых ядер. Теперь уже более сложное описание коллективного движения в новой микроскопической теории давало одновременно также и новые предсказания границы масс ядер. Результаты оказались весьма неожиданными. Согласно прогнозам, резкое падение стабильности трансурановых нуклидов относительно спонтанного деления должно смениться резким подъёмом в области сверхтяжёлых

¹ В то же время в нашей стране теорию ядерного деления независимо развивал Я.И. Френкель [5].

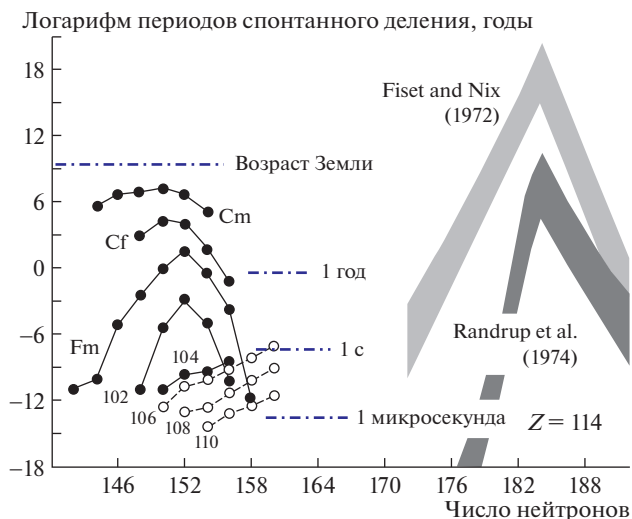


Рис. 1. Периоды полураспада ядер с $Z \geq 96$ относительно спонтанного деления. Чёрные кружки — экспериментальные значения для актиноидов и изотопов 104-го элемента. Открытые кружки — один из вариантов предсказаний для ядер с $Z \geq 106$ и $N \geq 150$. С правой стороны: периоды спонтанного деления изотопов 114-го элемента, рассчитанные в макромикроскопической модели ядра

элементов при подходе к “магическим” ядрам с числом протонов $Z = 114$ и нейтронов $N = 184$. Эти нуклиды, обладающие большим избытком нейтронов, более связаны. Они отделены от известной области ядер. Их достаточно много. На карте ядер они представляют собой подобие некоего “острова” весьма тяжёлых (сверхтяжёлых) элементов, у которых могут быть очень долгоживущие изотопы. В научных статьях и докладах начала 1970-х годов можно найти различные иллюстрации, подобные той, что представлена на рис. 1.

Многие лаборатории мира буквально ринулись на поиски этих долгоживущих тяжеловесов. Но, к сожалению, все экстенсивные попытки найти их в природе, космических лучах и даже путём искусственного синтеза сверхтяжёлых элементов, предпринятые в течение 15 лет (1970–1985), не дали результатов. Оставляя пока вопрос о вероятности образования ядер с массой около 300 а.е.м. в процессах природного ядерного синтеза, отметим, что время жизни сверхтяжёлых долгожителей заметно меньше возраста Солнечной системы (4.5×10^9 лет) и они не дожили до наших дней. Что же касается искусственного синтеза, то все методы синтеза двадцати известных к тому времени искусственных элементов тяжелее урана, к сожалению, не пригодны для этих целей. Они “не дотягивают” до “острова” стабильности прежде всего из-за дефицита нейтронов в системе сливающихся ядер.

После 1985 г. мы кардинально изменили подход к синтезу сверхтяжёлых элементов. Для того чтобы добраться до “острова” и увидеть резкий подъём стабильности, предсказанный теорией, пришлось существенно усложнить эксперимент. Теперь вместо использования стабильных ядер в качестве материала мишени были выбраны тяжёлые изотопы трансурановых элементов (такие, как плутоний-244 или кюрий-248), полученные в высокопоточном ядерном реакторе. Мишени из этих материалов подвергались бомбардировке ускоренными ионами кальция-48, исключительно редкого и дорогого изотопа природного кальция. Содержание кальция-48 в естественной смеси по отношению к основному изотопу кальцию-40 составляет всего 0.2%. Преимущества этой реакции прямо следуют из сравнения результатов экспериментов по синтезу 113-го элемента Nh, проведённого в RIKEN (Япония) и 114-го элемента Fl — в ОИЯИ (Дубна). Элемент Nh был синтезирован при слиянии ядер висмута-209 и цинка-70 [9]. Составная система после слияния двух атомных ядер содержит 113 протонов и 165 нейтронов. В этой реакции в течение девяти лет были получены три атома 113-го элемента. Элемент Fl ($Z = 114$), полученный в Дубне в реакции плутоний-244 + кальций-48, имел в составном ядре 114 протонов и 178 нейтронов [10] — на 13 нейтронов больше, чем в предыдущем случае. Эти 13 нейтронов, как следует из дальнейшего, и сыграли решающую роль.

Высадка на берег “острова” в северо-западной его части была действительно впечатляющей. Вероятность образования тяжёлого изотопа 114-го элемента оказалась примерно в 500 раз выше, чем 113-го элемента, полученного в RIKEN. Ещё более сильное отличие наблюдалось в свойствах ядер, в частности, во временах жизни, измеряемых обычно периодами полураспада. Повышение числа нейтронов на 8 единиц в ядрах, синтезированных с ионами кальция-48, увеличило их период полураспада примерно в 100 тысяч раз! Оба фактора — рост вероятности образования ядер и их стабильности — демонстрируют сильный эффект “магической” структуры $N = 184$, даже несмотря на то, что синтезированный изотоп 114-го элемента содержит всего 175 нейтронов.

После первых результатов по исследованию изотопов 114-го и 116-го элементов в реакциях с ионами кальция-48 (2000–2002) последующие эксперименты по синтезу других элементов с атомными номерами 115, 117 и 118 были проведены по той же методике с мишенями из америция-243, берклия-249 и калифорния-249 соответственно [11–13]. За 15 лет работы (около 100 тыс. часов облучения мишеней пучком ионов кальция-48) были синтезированы 52 новых изотопа [14] от 104-го до 118-го элементов (рис. 2, а). На карте нуклидов они простираются до ядер массой 294 а.е.м.

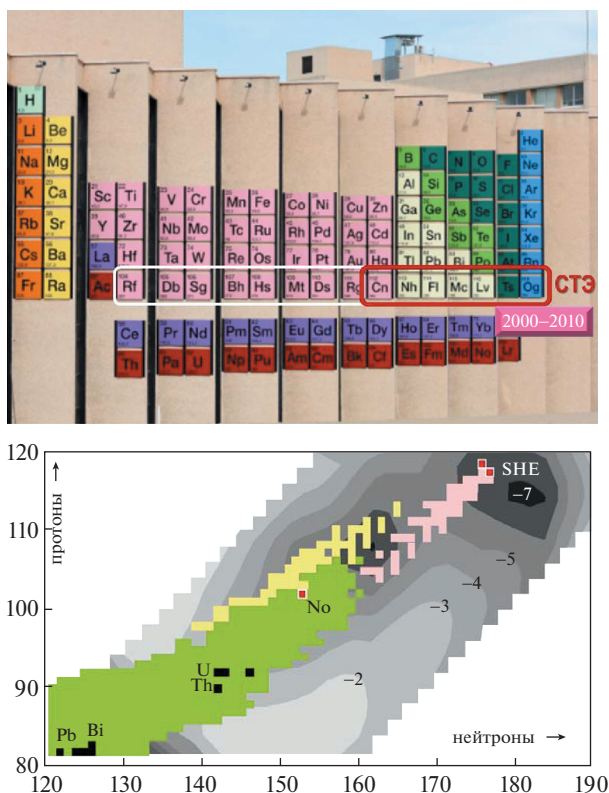


Рис. 2. а. Таблица Д.И. Менделеева (площадь 150 м²) на фасаде химического факультета университета в городе Мурсия (Испания, 2017). В красной рамке показаны элементы, полученные в реакциях с пучком ионов кальция-48

Рис. 2. б. Область конца карты нуклидов: показаны изотопы от свинца до элемента 118. Красными квадратами обозначены самые тяжёлые ядра: с массой 252 а.е.м. (No, 1962) и 294 а.е.м. (Og, 2004), полученные впервые в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флёрова ОИЯИ. Жёлтым цветом показана область ядер, полученных в реакциях с использованием мишеней из свинца и висмута. Розовое поле — область ядер, синтезированных в реакциях с пучком ионов кальция-48. Фон — карта потенциальной энергии ядер в зависимости от содержания протонов и нейтронов, полученная в расчётах макро-микроскопической модели. Цифры и цвет указывают амплитуду структурной поправки (в МэВ) к жидко-капельной энергии ядра

(рис. 2, б). Это предельно тяжёлое ядро было получено в виде двух изобар: как чётно-чётный изотоп 118-го элемента с периодом полураспада около 0.5 миллисекунды и как нечётно-нечётный изотоп 117-го элемента с периодом полураспада около 50 миллисекунды. Оба периода полураспада в ядерном масштабе — огромные времена! Учитывая, что после образования нового ядра за время 10^{-14} — 10^{-13} секунды вокруг него выстраивается вся электронная система атома, то подобный вывод можно сделать и о существовании элементов. Из данных экспериментов следует, что мы не дошли до предела масс ядер. Определённо, ядра мо-

гут иметь массу более 300 а.е.м., а количество элементов может быть свыше 118.

Заключая краткий экскурс в мир сверхтяжёлых, можно отметить, что, уйдя от висмута, последнего стабильного элемента, в область больших масс и зарядов, мы наблюдаем удивительную живучесть атомных ядер. В области предельных кулоновских сил дополнительные связи протонов и нейтронов структурного свойства создают в тяжёлом ядре барьер деления и делают тем самым возможным существование сверхтяжёлых элементов.

Эксперименты проводились на ускорителе У-400 в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флёрова ОИЯИ в сотрудничестве с Всероссийским научно-исследовательским институтом экспериментальной физики (ВНИИЭФ, г. Саров), Научно-исследовательским институтом атомных реакторов (НИИАР, г. Димитровград), а также с Ливерморской и Ок-Риджской национальными лабораториями (США), взявшими на себя труд по наработке мишенного материала и участвовавшими в ряде экспериментов.

ТЯЖЕЛЕЙШИЕ АТОМЫ И ХИМИЯ СВЕРХТЯЖЁЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

На фотографии (см. рис. 2, а)² изображена самая большая (150 м²) Периодическая таблица химических элементов, встроенная в фасад химического факультета Университета Мурсии (Испания)³. На ней красной рамкой выделены сверхтяжёлые элементы от 112-го до 118-го, полученные в реакциях с кальцием-48, когда в качестве материала мишени использовались тяжёлые изотопы от урана ($Z = 92$) до калифорния ($Z = 98$) соответственно⁴.

В белой рамке находятся дочерние нуклиды — продукты альфа-распада ядер из красной рамки. Они заполняют практически все оставшиеся клетки 7-го периода, вплоть до резерфордия ($Z = 104$). Дочерние ядра, берущие начало от нейтронно-избыточных материнских изотопов сверхтяжёлых элементов, тоже обогащены нейтронами, что значительно повышает их период полураспада и открывает широкие возможности для исследования химических свойств трансак-

² Журнал “Вестник РАН” с цветными изображениями размещается в открытом доступе на сайте <https://sciencejournals.ru/journal/vestnik/>. Для доступа к полным текстам журнала не требуется регистрации.

³ С 2019 г. самая большая Периодическая таблица химических элементов (660 м²) находится в Государственном университете им. Эдит Коуэн (ECU) в г. Перт, Австралия.

⁴ К сожалению, калифорний — самый тяжёлый элемент, который может быть получен в ядерном реакторе в количестве, необходимом для изготовления мишени. Для синтеза 119-го элемента и более тяжёлых придётся увеличивать массу и заряд бомбардирующих ионов.

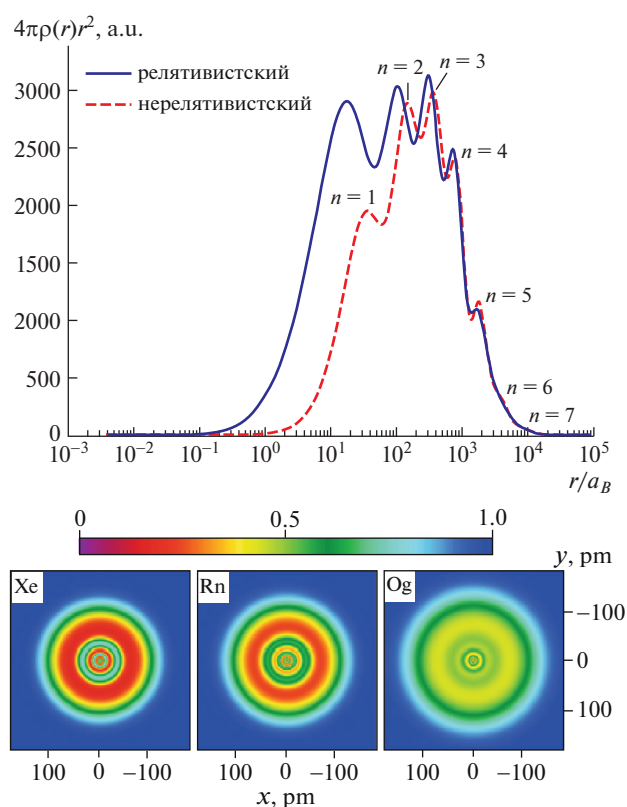


Рис. 3. а. Расчётная плотность электронов 118-го элемента (Og) в зависимости от радиуса (логарифмическая шкала) в двух вариантах расчёта: релятивистском (синяя кривая) и нерелятивистском (красный пунктир) приближениях. Цифрами на графике указаны электронные оболочки (периоды). Видно сильное сжатие внутренних электронных оболочек, в то время как средний радиус внешних (валентных) электронов мало меняется

Рис. 3. б. Пространственные распределения (функции локализации) электронов 118-го элемента (Og), полученные в работе [20]. Хорошо видно размытие внешних электронов в сравнении с его гомологами — радоном и ксеноном

тиноидов. Подобные исследования элементов, особенно конца 7-го периода, представляют большой интерес. Их химическое поведение может отличаться от более лёгких гомологов из-за релятивистского возрастания массы электронов с ростом заряда ядра. В более лёгких элементах релятивистский эффект проявляется в свойствах благородных металлов: золото — мягкий металл жёлтого цвета — не окисляется, ртуть тоже металл, но жидкий при комнатной температуре. Благородные металлы способны взаимодействовать друг с другом и создавать соединения типа ртуть/золото (амальгама ртути и золота). С увеличением атомного номера элемента и приближением скорости электронов к скорости света эффект будет быстро возрастать, вследствие чего химическое поведение сверхтяжёлых элементов,

например, 112-го элемента (Cn), может отличаться от своего лёгкого гомолога — ртути (Hg). В первом эксперименте, проведённом в Дубне (2007), исследовалась именно эта пара гомологов [15]. Измерялась адсорбция Cn и Hg на поверхности золота (Au) при различной температуре на предмет наблюдения различия в образовании соединений [Au–Hg] и [Au–Cn]. Наблюдаемое смещение пика адсорбции в область более низких температур было первым прямым экспериментальным наблюдением релятивистского эффекта в трансактиноидах. В целом 112-й элемент продемонстрировал свою принадлежность 12-й группе Периодической таблицы Менделеева. Но из результатов этого эксперимента и проведённых недавно расчётов [16] были выявлены также отличия физико-химических свойств Cn и Hg, в частности, в температурах их фазовых переходов. Как известно, температура плавления ртути составляет -38.8°C , температура кипения — 353.7°C , в то время как расчётные значения для Cn заметно отличаются: 10°C и 67°C соответственно. При комнатной температуре, с учётом погрешности измерений, 112-й элемент будет либо сильно летучей жидкостью, либо газообразным.

Но это первый звонок. Дальнейшее увеличение заряда ядра будет более ощутимым. Поэтому спустя 100 лет после открытия Вильямом Рамзаем радона (1904) [17], последнего, до 2004 г., представителя семейства благородных газов 18-й группы таблицы, мы задаёмся вопросом: окажется ли 118-й элемент благородным газом? Релятивистский эффект наиболее сильно проявляется на ближайших к ядру электронах, скорость которых максимальна [18–20], что приводит к сжатию внутренних орбит (рис. 3, а). Для внешних электронов “релятивистское сжатие” приводит к экранированию положительного заряда ядра. В этой ситуации необходимо учитывать (пока в виде малых поправок) взаимодействие внешних электронов друг с другом, которое мало в природных элементах и которым пренебрегают в нерелятивистских расчётах. Нетрудно предвидеть, что роль этих поправок будет быстро возрастать с увеличением атомного номера в сверхтяжёлых элементах. Сам расчёт поправок — по сути, задача многих тел — требует огромных вычислительных мощностей. Большие надежды здесь связаны с квантовым компьютером. А пока доступными средствами в различном приближении отрабатываются методы расчёта на известных атомах, которые затем используются для предельно тяжёлых систем. Релятивистский расчёт элементов 18-й группы показывает, что пространственное распределение внешних электронов 118-го элемента [21] существенно размыто по сравнению с радоном и тем более с ксеноном (рис. 3, б). Подобная картина воспроизводится в расчётах

1		Периодическая таблица, рассчитанная в релятивистском приближении																18	
1 H	2																	2 He	
3 Li	4 Be																	10 Ne	
11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 kr		
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
55 Cs	56 Ba	57 La→	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	СТЭ (известные)						
87 Fr	88 Ra	89 Ac→	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og		
119	120	121	122	123	Групповое отличие будет быстро исчезать с ростом Z														
Лантаноиды →		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				
Актиноиды →		90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr				
Супер-актиноиды →		122	123	... 155															

Рис. 4. Таблица Д.И. Менделеева с различными вариантами релятивистских расчётов. В синей рамке — сверхтяжёлые элементы, полученные в реакциях с пучком ионов кальция-48

В.М. Шабаева и его коллег [22], но указывается одновременно, что 118-й элемент на 94% будет благородным газом. Возможно, и не газом, а твёрдым телом при комнатной температуре [16, 23].

На примере 118-го элемента можно видеть, что в конце 7-го периода у элементов, именуемых сегодня сверхтяжёлыми, появляются отличные от лёгких гомологов признаки. Экспериментальные данные, к сожалению, весьма скудны прежде всего из-за малого количества сверхтяжёлых элементов и короткого времени их жизни. Одно из направлений будущих исследований нацелено на изучение атомной структуры и химических свойств уже синтезированных сверхтяжёлых элементов на новом оборудовании (см. далее).

Пока не видно принципиальных ограничений для синтеза 119-го и 120-го элементов — начала 8-го периода таблицы. Несмотря на то, что попытки их получения на старых установках в реакциях с ионами титана, хрома и даже железа, принятые в разных лабораториях, не увенчались успехом [24–26], это остаётся делом техники. Сложнее будет изучать их химические свойства из-за короткого периода полураспада, исчисляемого долями миллисекунды. Но здесь не ожидается сюрпризов. Большой скачок в химии будет иметь место при переходе от 118-го к 119-му элементу (от последней колонки таблицы к первой). По всей вероятности, 120-й элемент также в целом будет следовать своим лёгким гомологам второй группы. Отклонения начнутся, скорее всего, после 121-го элемента с различными сценариями дальнейшего продолжения таблицы (рис. 4). Элемент 122 либо откроет новую серию так называемых супер-актиноидов [27], включающую ещё

33 элемента вплоть до 155-го, либо 122-й элемент и все последующие продолжат 8-й период. Но в этом случае групповое различие элементов начнётся быстро исчезать (размываться). Пока же остаётся только гадать, как будет выглядеть химия атомных гигантов за пределами периодического закона.

ФАБРИКА СВЕРХТЯЖЁЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

После открытия новых элементов, расположенных на “острове” стабильности, дальнейшее развитие исследований в этой области связано прежде всего с получением сверхтяжёлых нуклидов в значительно больших количествах. Спустя 10 лет после первых экспериментов по синтезу 114-го и 116-го элементов по результатам, полученным в опытах с пучком ионов кальция-48, а также в связи с общим прогрессом в смежных областях науки и техники стало ясно, что светимость экспериментов может быть существенно увеличена. Поэтому с 2012 г. мы сильно сократили экспериментальную программу на действующих установках и стали строить новую лабораторию — Фабрику сверхтяжёлых элементов, которая пока не имеет мировых аналогов. Она определяет и тем самым отражает технический уровень всех этапов работы по получению сверхтяжёлых элементов от создания мишеней из трансурановых элементов до доставки сверхтяжёлых нуклидов к экспериментальным физическим и химическим установкам. По достижению проектных параметров возможности Фабрики СТЭ будут превосходить современный уровень в 50–100 раз.

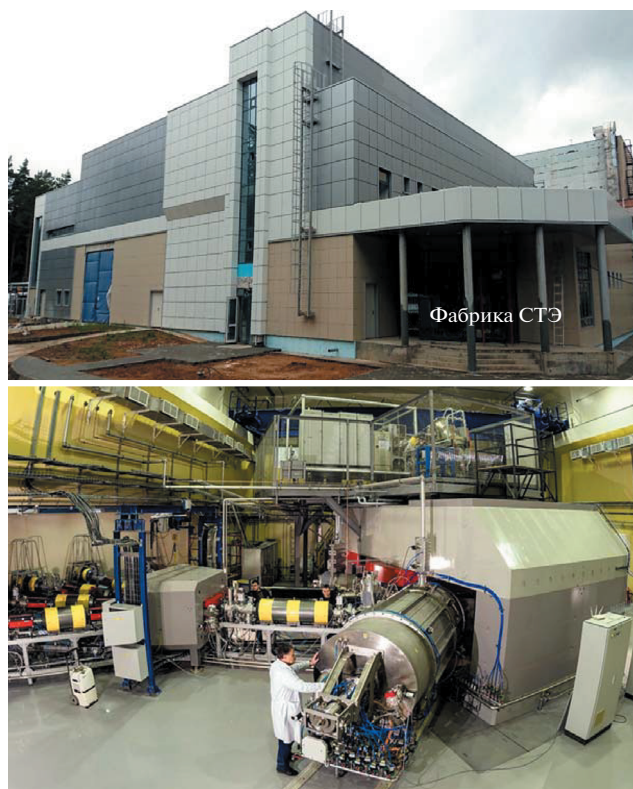


Рис. 5. а. Строение ускорительного комплекса Фабрика СТЭ

Рис. 5. б. Ускоритель тяжёлых ионов — циклотрон DC-280

Новый комплекс с инфраструктурой для работы с высокорadioактивными материалами расположен в отдельном строении (рис. 5, а). Там же находится новый сверхточный ускоритель тяжёлых ионов — циклотрон DC-280 [28], пуск которого состоялся в марте 2019 г. (рис. 5, б). Ускоритель доставляет пучки ионов в три экспериментальных зала, где размещаются сепарирующие каналы, химические и физические установки, а также другое экспериментальное оборудование. В настоящее время идёт наладка нового сепаратора и подготовка первого эксперимента.

ЭПИЛОГ

За прошедшие 80 лет после открытия нептуния и плутония (1940) — первых искусственных элементов — Периодическая таблица пополнилась ещё 24 рукотворными элементами. Пять самых тяжёлых из них заняли своё место в таблице в последние семь лет. Искусственных элементов, как известно, в природе нет. А сверхтяжёлых элементов, скорее всего, не было и при зарождении Солнечной системы. Они получены в лабораториях в совершенно других условиях (реакциях), чем природные химические элементы. Однако

все известные сегодня 118 элементов располагаются в единой таблице в строгом соответствии с периодическим законом, открытым Дмитрием Ивановичем Менделеевым 150 лет назад.

Между тем Международный год Периодической таблицы — IYPT-2019, начавший своё шествие в ЮНЕСКО 29 января 2019 г., закончился в Токио (Япония) 5 декабря. Огромное количество статей в научных, научно-популярных и совсем не научных изданиях, удивительный всплеск очень интересных работ в области ядерной физики, химии, атомной физики, астрофизики, истории науки — все посвящённые 150-летию открытия Периодической таблицы химических элементов. Год был встречен с невероятным энтузиазмом не только научным миром, но и широкой общественностью. Форумы, конференции, симпозиумы, лекции, собрания научных обществ, академий наук многих стран — везде по-разному, но всегда одухотворенно и очень интересно.

Что-то объединяет людей. Быть может, также великие открытия и любовь к науке.

БЛАГОДАРНОСТИ

Считаю приятной обязанностью поблагодарить академика РАН А.Р. Хохлова за приглашение выступить на Общем собрании членов РАН с этим докладом и научного сотрудника нашей лаборатории Е.В. Чернышеву за помощь в подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gamov G. Discussion on the structure of atomic nuclei // Proc. of the Royal Society A. 1929. № 123. P. 386–387.
2. Gamov G. Zur Quantentheorie des Atomkernes // Zeitschrift für Physik. 1928. V. 51. № 3/4. P. 204–212.
3. Von Weizsäcker C.F. Zur Theorie der Kernmassen // Zeitschrift für Physik. 1935. V. 96. P. 431.
4. Bohr N., Wheeler J.A. The Mechanism of Nuclear Fission // Phys. Rev. 1939. V. 56. P. 426–450.
5. Френкель Я.И. Электрокапиллярная теория расщепления тяжёлых ядер медленными нейтронами // ЖЭТФ. 1939. № 6. С. 641–653.
6. Flerov G.N., Petrjak K.A. Spontaneous Fission of Uranium // Phys. Rev. 1940. V. 58. P. 89.
7. Seaborg G.T., Loveland W.D. Transuranium Nuclei // Treatise on Heavy-Ion Science / Edited by D.A. Bromley. V. 4. P. 289. N.Y.: Plenum Press, 1985.
8. Polikanov S.M., Druin A.V., Karnaukhov V.A. et al. Spontaneous fission with an anomalously short period // Soviet Physics JETP-USSR. 1962. № 15(6). P. 1016–1021.
9. Morita K., Morimoto K., Kaji D. et al. Experiment on the Synthesis of Element 113 in the Reaction $^{209}\text{Bi} (^{70}\text{Zn}, n)^{278}113$ // J. Phys. Soc. Jpn. 2004. V. 73. P. 2593–2596.

10. *Oganessian Yu.Ts., Utyonkov V.K., Lobanov Yu.V. et al.* Synthesis of Superheavy Nuclei in the $^{48}\text{Ca}+^{244}\text{Pu}$ Reaction // *Phys. Rev. Lett.* 1999. V. 83. P. 3154–3157.
11. *Oganessian Yu.Ts., Utyonkov V.K., Lobanov Yu.V. et al.* Experiments on the synthesis of element 115 in the reaction $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca}, xn)^{291-x}115$ // *Phys. Rev. C.* 2004. V. 69. № 021601(R).
12. *Oganessian Yu.Ts., Abdullin F.Sh., Bailey P.D. et al.* Synthesis of a New Element with Atomic Number $Z=117$ // *Phys. Rev. Lett.* 2010. V. 104. № 142502.
13. *Oganessian Yu.Ts., Utyonkov V.K., Lobanov Yu.V. et al.* Synthesis of the isotopes of elements 118 and 116 in the ^{249}Cf and $^{245}\text{Cm}+^{48}\text{Ca}$ fusion reactions // *Phys. Rev. C.* 2006. V. 74. № 044602.
14. *Oganessian Yu.Ts., Utyonkov V.K.* Super-heavy element research // *Rep. Prog. Phys.* 2015. V. 78. № 036301.
15. *Eichler R., Aksenov N.V., Belozerov A.V. et al.* Chemical characterization of element 112 // *Nature.* 2007. V. 447. P. 72–75.
16. *Mewes J.-M., Smits O.R., Kresse G. et al.* Copernicium: A Relativistic Noble Liquid // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2019. V. 58. P. 17964–17968.
17. *Ramsay W., Soddy F.* Further Experiments on the Production of Helium from Radium // *Proceedings of the Royal Society of London* (1854–1905). 1904. V. 73. P. 346–358.
18. *Pershina V.* Relativity in the electronic structure of the heaviest elements and its influence on periodicities in properties // *Radiochimica Acta.* 2019. V. 107. P. 833–864.
19. *Eliav E., Borschevsky A., Kaldor U.* Electronic Structure at the Edge of the Periodic Table // *Nuclear Physics News.* 2019. V. 29. P. 16–20.
20. *Lackenby B.G.C., Dzuba V.A., Flambaum V.V.* Atomic structure calculations of superheavy noble element oganesson ($Z=118$) // *Phys. Rev. A.* 2018. V. 98. P. 042512.
21. *Jerabek P., Schuettrumpf B., Schwerdtfeger P., Nazarewicz W.* Electron and Nucleon Localization Functions of Oganesson: Approaching the Thomas-Fermi Limit // *Phys. Rev. Lett.* 2018. V. 120. P. 053001.
22. *Shabaev V.M., Tupitsyn I.I., Kaygorodov M.Y., Kozhedub Y.S.* Localisation of electron states of Oganesson atoms // *The 4th International Symposium on Super-heavy Elements (SHE2019).* Hakone, Japan. Dec. 1–5, 2019.
23. *Giuliani S. A., Matheson Z., Nazarewicz W. et al.* Colloquium: Superheavy elements: Oganesson and beyond // *Rev. Mod. Phys.* 2019. V. 91. № 1. P. 01100.
24. *Düllmann C.E.* Superheavy Element Research at TASCA at GSI // *Fission and Properties of Neutron-Rich Nuclei.* 2013. V. 44. P. 271–277.
25. *Hofmann S., Heinz S., Mann R. et al.* Review of even element super-heavy nuclei and search for element 120 // *Eur. Phys. J. A.* 2016. V. 52. P. 180.
26. *Oganessian Yu.Ts., Utyonkov V.K., Lobanov Yu.V. et al.* Attempt to produce element 120 in the $^{244}\text{Pu}+^{58}\text{Fe}$ reaction // *Phys. Rev. C.* 2009. V. 79. P. 024603.
27. *Borschevsky A., Pershina V., Eliav E., Kaldor U.* *Ab initio* predictions of atomic properties of element 120 and its lighter group-2 homologues // *Phys. Rev. A.* 2013. V. 87. P. 022502.
28. *Gulbekian G.G., Dmitriev S.N., Itkis M.G. et al.* Start-Up of the DC-280 Cyclotron, the Basic Facility of the Factory of Superheavy Elements of the Laboratory of Nuclear Reactions at the Joint Institute for Nuclear Research // *Physics of Particles and Nuclei Letters.* 2019. V. 16(6). P. 866–875.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”

СЕЛЕКТИВНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ БЛИЗКИХ ПО СВОЙСТВАМ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ –
ОСНОВА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2020 г. А. Ю. Цивадзе

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия

E-mail: tsiv@phych.ac.ru

Поступила в редакцию 19.11.2019 г.

После доработки 09.01.2020 г.

Принята к публикации 16.01.2020 г.

Россия обладает огромными запасами минерального сырья, позволяющими полностью обеспечить внутренние потребности в редких, рассеянных и редкоземельных элементах. Однако после распада СССР производство многих металлов этой группы практически прекратилось, а потребность в них удовлетворяется в основном за счёт зарубежных закупок. Ускоренное возобновление собственного производства на основе накопленных научных данных и опыта прошлых лет – насущная необходимость. Россия должна вернуть лидирующие позиции, которые она когда-то занимала в этом сегменте мирового рынка. В статье, подготовленной по материалам доклада на научной сессии Общего собрания членов РАН 14 ноября 2019 г., речь идёт об исследованиях академических институтов химического профиля, направленных на решение этой задачи.

Ключевые слова: Д.И. Менделеев, Периодическая система химических элементов, редкоземельные элементы, селективные экстрагенты и сорбенты, селективное разделение редких, рассеянных и редкоземельных элементов.

DOI: 10.31857/S0869587320040167

Как предсказывал великий Д.И. Менделеев, “Будущее периодическому закону разрушением не грозит, а только настройки и развитие обещает”. Яркой демонстрацией справедливости этого прозорливого предвидения стала торжественная церемония открытия Международного года Периодической таблицы химических элементов 29 января 2019 г. в Париже в штаб-квартире ЮНЕСКО. Средства массовой информации – и высокорейтинговые специализированные журналы, и популярные издания – мгновенно от-

кликнулись на важное событие. Анализ вышедшего в свет материала показывает, что сегодня Д.И. Менделеев признаётся одним из величайших деятелей науки наравне с Исааком Ньютоном и Альбертом Эйнштейном.

В лавине публикаций внимание привлекла обзорная статья, напечатанная сразу после парижской церемонии в февральском номере журнала “Science” под интригующим названием “Редкоземельные элементы: головная боль Менделеева, современные чудеса” [1]. Действительно, Дмитрий Иванович столкнулся с затруднениями при расположении в предложенной им Периодической системе шести открытых к тому времени редкоземельных элементов (РЗЭ) из 17 известных на сегодняшний день. Они оказались настолько близки по химическим свойствам, что предоставить каждому элементу отдельную ячейку в таблице было невозможно. Тогда Д.И. Менделеев решил выделить их в отдельный блок по аналогии с d-элементами. При отсутствии квантовой теории и соответствующих спектроскопических данных это не снимало всех противоречий, но примечателен сам подход Менделеева к систематиза-



ЦИВАДЗЕ Аслан Юсупович – академик РАН, научный руководитель ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН.

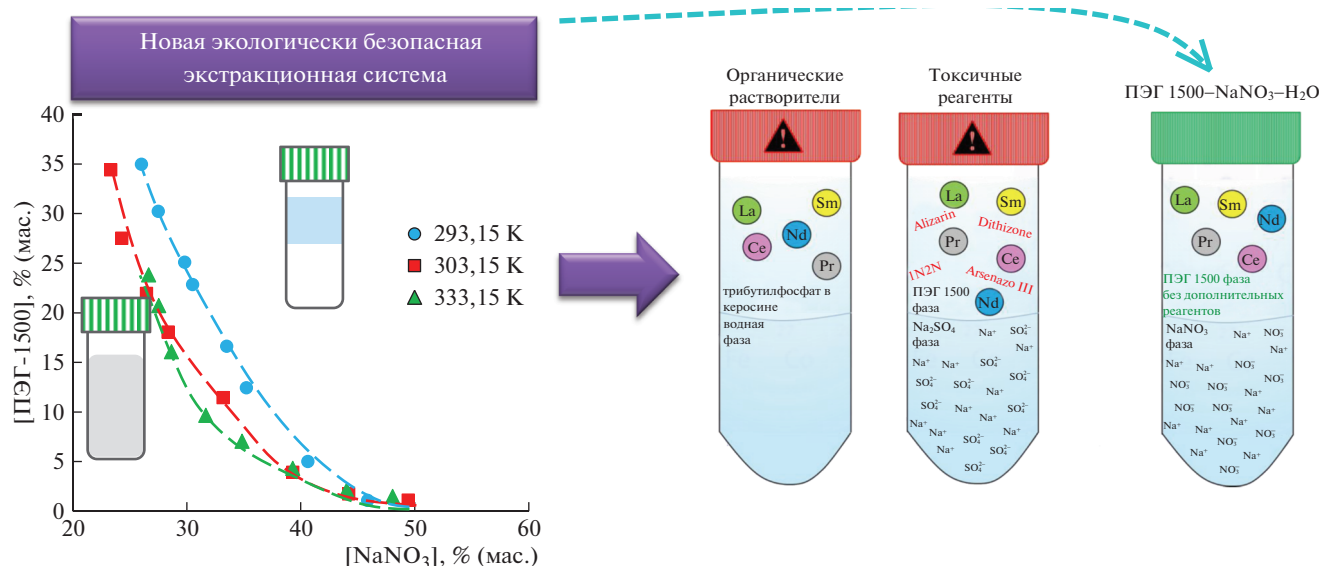


Рис. 1. “Зелёная” экстракция редкоземельных металлов из нитратных растворов

ции, стимулировавший поиск новых элементов данной группы. В результате до кончины Дмитрия Ивановича в 1907 г. учёные открыли ещё 10 редкоземельных элементов, а последний, 17-й — прометий, получили искусственно в 1947 г. Таким образом, 15 элементов, включая лантан и лантаноиды, были сгруппированы в отдельный блок и заняли свою ячейку в Периодической системе. Иными словами, Д.И. Менделеев не только предсказал существование элементов, для которых оставлял пустые ячейки в Периодической таблице с описанием их химических свойств, но и спрогнозировал открытие неизвестных лантаноидов и актинидов. Поэтому обзор авторы завершили так: “Несмотря на вызовы, с которыми столкнулся Менделеев в процессе открытия и описания редкоземельных элементов, их появление и классификация привели к триумфу спектроскопии, квантовой теории и Периодической системы” [1, р. 493].

К этому следует добавить, что поиски, связанные с развитием Периодической системы, активизировали разработку методов разделения близких по химическим свойствам элементов и их индивидуального выделения. В результате изысканий были получены эффективные способы синтеза экстрагентов и сорбентов, позволяющие разделять и извлекать редкие, рассеянные и редкоземельные элементы и создавать производство стратегически важных металлов. Но после распада Советского Союза работы в данном направлении были свёрнуты, поэтому приходится констатировать, что отечественной промышленности целевых экстрагентов и сорбентов у нас нет.

Между тем интерес к ним во всём мире растёт, стремительно увеличивается число публикаций,

посвящённых поискам наиболее эффективных сорбционных материалов. В академических институтах химического профиля накоплен огромный научный потенциал в этой области, однако он не используется в должной мере. Например, в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН разработаны методы синтеза новых соединений — производных фосфорилподандов, на их основе получены экономически выгодные и экологически безопасные селективные экстрагенты и сорбенты [2–18]. Показано, что производные дифенилфосфорилподандов с дифенилэтилбензолом позволяют селективно извлекать и отделять РЗЭ иттриевой группы от цериевой, что существенно расширяет возможности экстракционного разделения и извлечения индивидуальных редкоземельных элементов на основе отечественных материалов. Их технико-экономические показатели превышают достигнутый мировой уровень.

Другие представители фосфорилподандов на основе дифосфоновых кислот могут селективно выделять уран, торий, нептуний, молибден и РЗЭ из азотнокислых растворов. Предложены и внедрены методики химического анализа содержания нормируемых примесей в образцах товарной продукции Производственного объединения “Маяк” (г. Озёрск, Челябинская обл.).

В Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН предложена новая экологически безопасная двухфазная экстракционная система, способная извлекать РЗЭ с эффективностью более 70% за одну ступень экстракции без привлечения токсичных, пожароопасных органических растворителей и введения дополнительных реактивов (рис. 1) [19–24].

Выбор экстрагентов, сорбентов, соответствующих систем и технологии на их основе зависит от источников сырья. В известных рудах и техногенных отходах редкие, рассеянные и редкоземельные металлы находятся в незначительных концентрациях, и в каждом конкретном случае вырабатывается соответствующее технологическое решение. Первичная переработка полиметаллических руд состоит из нескольких стадий, заканчивающихся получением концентрата. Для дальнейшей переработки редкометаллических концентратов обычно используют гидрометаллургические методы, включающие выщелачивание, разделение твёрдой и жидкой фаз, концентрирование, извлечение ценных компонентов ионным обменом или экстракцией, выделение металлов и их соединений из растворов путём осаждения или электролиза и т.д.

К основным гидрометаллургическим методам, реализуемым в промышленности при выделении различных веществ, относятся хроматографический (сорбционный) метод и экстракция.

Преимущество хроматографических методов разделения заключается в технологической и аппаратурной простоте осуществления процесса. Однако область применения хроматографии ограничена получением небольших партий индивидуальных элементов или их соединений и проведением вспомогательных и аналитических операций, без которых не может обходиться современное производство высокочистых элементов.

В процессах разделения и очистки редких металлов широко распространён экстракционный метод. Перечислим его главные достоинства:

- применение жидкостных систем, эффективных при организации непрерывных технологических процессов, что позволяет использовать практически все известные методы разделения: полупротивоток (аналог хроматографии), непрерывные противоточные и различные фракционные методы избирательного извлечения любого компонента из разделяемой смеси;
- быстрая кинетика массопереноса, в десятки и сотни раз превосходящая скорость ионного обмена, что обеспечивает высокую производительность процесса разделения;
- концентрация разделяемых веществ, которая в ряде случаев близка к предельной растворимости, что работает на повышение производительности;
- лёгкость осуществления автоматизации и контроля за проведением процесса разделения.

Как правило, экономические затраты, необходимые для осуществления экстракционных процессов, в несколько раз ниже, чем при реализации хроматографических методов разделения.

Приведу несколько примеров экстракционного разделения металлов, представляющих интерес для промышленного использования: Пурекс-процесс, очистка обогащённого урана для производства тепловыделяющих элементов, экстракционное извлечение урана в процессе переработки руд, экстракционное разделение РЗЭ, производство ядерно-чистого циркония и гафния, экстракционное выделение рения.

Любая промышленная технология разделения основана на правильном выборе экстракционной системы, метода разделения, оборудования, конкретных технологических схем, систем контроля и управления, вспомогательных операций, часто определяющих экологичность процесса.

К основным принципам, которые закладываются в процесс и от которых зависит эффективность разделения, относятся:

- стабилизация экстракционной системы по всем ступеням каскада;
- создание экстракционного оборудования с дискретными ступенями и стабильными характеристиками;
- разработка специальных методов и приёмов для осуществления стабильного процесса разделения, допускающего работу в устойчивом режиме с минимальными затратами на регулирование и контроль.

Экстракционными методами могут быть решены самые разные задачи — от селективного выделения из многокомпонентных растворов ценных компонентов до разделения близких по свойствам элементов, включая изотопы.

Сейчас в ИФХЭ РАН разрабатываются технологии получения рения из вулканических газов [14, 25]. Рений — тугоплавкий редкий металл, широко используемый в металлургии для легирования жаропрочных сплавов, из которых изготавливаются наиболее ответственные детали авиационных и ракетных двигателей, в нефтехимии, высокоточной механике, приборостроении и других отраслях науки и техники. До 1990-х годов свыше 70% Re уходило на производство катализаторов крекинга и риформинга, применяемых в нефтехимии для получения высокооктанового моторного топлива с максимальным выходом.

В 1990-е годы структура потребления рения существенно изменилась. Сейчас большая часть металла идёт на производство жаростойких сплавов для авиационной и космической промышленности. Это обуславливает важное экономическое и оборонное значение рения, который включён в перечень стратегических металлов. В 1999 г. основным потребителем Re в России требовалось 2 т металла в год, в 2001–2005 гг. запросы оценивались в 5 т, а к 2020 г. они возросли до 10–15 т.

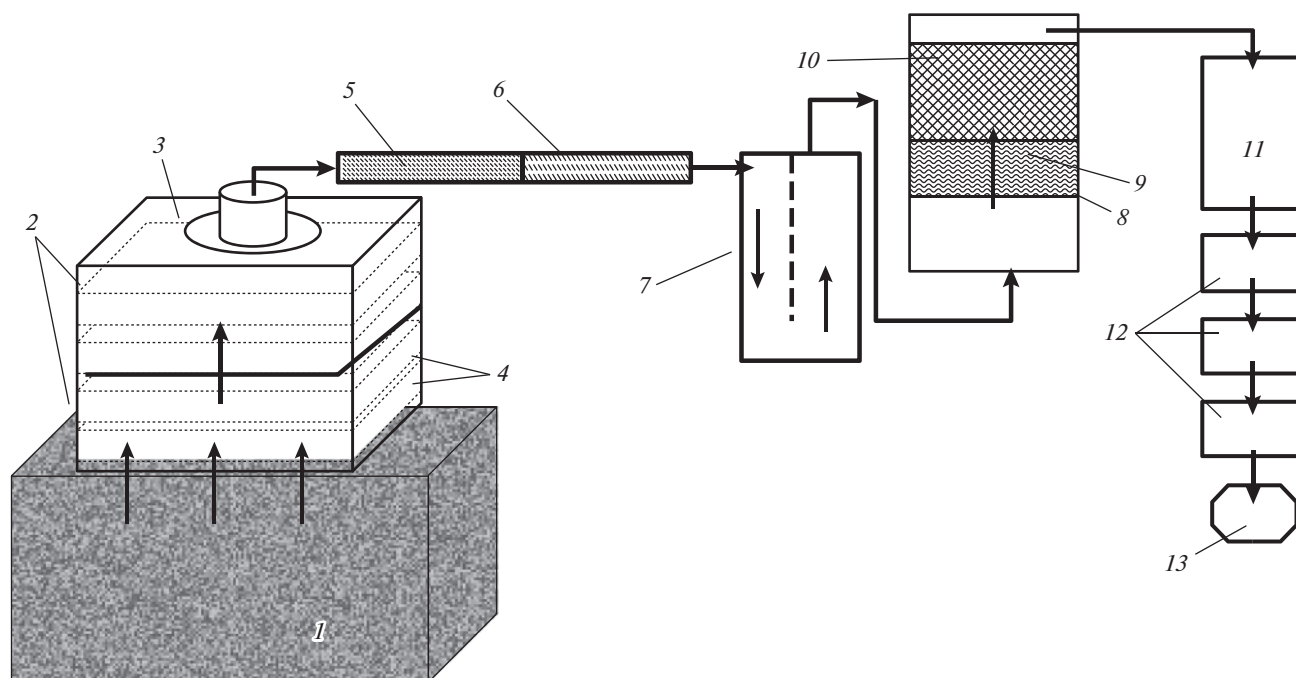


Рис. 2. Проект полупромышленной установки ИФХЭ РАН для сбора ренийевого концентрата из фумарольных газов

Схема установки:

1 – фумарола; 2 – осадительная камера; 3 – крышка с патрубком; 4 – базальтовая вата; 5 – кварцевый трубопровод в защитном кожухе; 6 – трубопровод из пластмассовых труб; 7 – сборник конденсата; 8 – сетка; 9 – аэрозольный фильтр; 10 – сорбционно-каталитический блок; 11 – модуль финишной катализации аэрозолей и газообразных соединений; 12 – контрольные модули; 13 – вентилятор

В 1980-х годах в СССР добывалось 5–7 т рения в год. При этом сырьевые ресурсы были сосредоточены в Казахстане (медистые песчаники), Узбекистане (медно-молибденовые руды и растворы подземного выщелачивания урановых руд) и Армении (медно-молибденовые руды). Основной объём производства Re в Советском Союзе обеспечивали Джезказганский горно-обогатительный комбинат (г. Джезказган, Казахстан) при попутной переработке местных руд – медистых песчаников, Завод “Победит” (г. Владикавказ, Северная Осетия) и Скопинский гидрометаллургический завод, ныне АО “Скопингидромет” (г. Скопин, Россия), где рений получали из привозного, в том числе импортного, молибденита. После распада СССР все сырьевые источники Re оказались в сопредельных государствах, и отечественное производство стало испытывать дефицит сырья. С 1995 г. первичный рений в России не производится; небольшие партии приобретаются за рубежом или изготавливаются из вторичного сырья путём переплавки.

В 1992 г. экспедиция Института вулканологии и геодинамики Академии естественных наук РФ (г. Южно-Сахалинск) обнаружила в сублиматах высокотемпературных фумарол вулкана Кудрявый (о. Итуруп) сульфид рения (ReS_2) в природной минеральной форме. По оценкам специалистов, оперативные запасы металла составляют

36,7 т/год. Таким образом, это месторождение стало третьим в мире по запасам Re. Однако дальнейшее изучение месторождения из-за отсутствия финансирования было приостановлено и продолжилось только в 2015 г. Сейчас разрабатывается комплексная технология извлечения рения, его очистки и выделения сопутствующих ценных компонентов.

Получить Re из фумарольных выделений пытались с 1990-х годов. Ряд организаций даже строили установки для промышленной добычи. Но никто не смог приступить к производству металла. Институту вулканологии и геодинамики АЕН РФ в ходе экспедиций удалось собрать концентраты, однако результаты были неоднозначными и противоречивыми. Для выяснения причин неудач и разработки новых технологических решений сотрудники института обратились в ИФХЭ РАН. Как оказалось, главным препятствием на пути стали непростые климатические и экологические условия, коррозия материалов, традиционно используемых для построения целевой установки, сложность задачи сбора и разделения ценных компонентов, отсутствие комплексного подхода к сбору и переработке концентрата, анализу неоднородных смесей. В ИФХЭ РАН разработали и создали установку из термостойких материалов, устойчивых к коррозии, которая была доставлена на вулкан (рис. 2, 3). Она



Рис. 3. Полупромышленная установка ИФХЭ РАН на вулкане Кудрявый

обеспечивает эффективное снижение температуры газов для полного улавливания ценных компонентов и исключает загрязнение концентрата материалами самой установки. Данные полевых анализов элементов, локализованных на различных фильтрующих элементах в керамобетонном блоке, установленном на фумароле рениевого поля с температурой 600°C , показывают, что в собранных концентратах рений содержится в количествах, достаточных для реализации проекта. Однако полевые анализы нельзя считать достоверными. Поэтому предлагаются новые методы вскрытия и анализа концентратов, локализованных в сентябре–октябре 2019 г. В настоящее время установка находится на вулкане, сбор концентрата продолжится до следующей экспедиции. Есть уверенность в том, что мы сможем решить эту сложную задачу.

Следует иметь в виду и возможность проведения селективного экстракционного извлечения Re из азотнокислых и сернокислых растворов при использовании в качестве экстрагентов промышленно доступных трибутилфосфата и триалкиламина. Кроме рения, рассматривается способ выделения из фумарольных газов металлов платиновой группы, молибдена, индия и галлия.

К редким металлам, вызывающим большой коммерческий интерес, относится скандий — один из самых дорогих рассеянных элементов. В природе Sc почти всегда содержится в минералах, собственных месторождений скандия нет. В промышленности применяется главным образом в виде сплавов и соединений. Материалы с добавлением Sc обладают превосходной пластичностью и коррозионной стойкостью, в то же время они экологически безопасны.

Крупномасштабное промышленное использование скандия сдерживается высокой ценой, обусловленной сложностями его селективного извлечения из исходных материалов. К основным сырьевым источникам Sc относят отходы (рас-

творы, шламы, шлаки) от комплексной переработки ряда руд цветных и редких металлов (ильменитов, вольфрамовых и урановых руд, цирконов, бокситов) с содержанием в них ценного металла от сотых долей до десятков мг/л.

В качестве сырьевых источников скандия могут быть рассмотрены:

- отработанный солевой расплав титановых хлоратов ($0.01\text{--}0.03\%$ в пересчёте на Sc_2O_3), получаемый при хлорировании титанового сырья; его основные ценные компоненты — титан, цирконий, торий, железо;
- красный шлам ($0.01\text{--}0.02\%$ в пересчёте на Sc_2O_3), получаемый при переработке бокситов по способу Байера и спекания с содой, содержащий главным образом оксиды железа и алюминия, минералы кремния и соединения титана;
- шлаки ($0.02\text{--}0.1\%$ в пересчёте на Sc_2O_3), получаемые при пирометаллургической переработке вольфрамитовых концентратов и оловянных руд;
- концентраты редкоземельных элементов (оксиды или карбонаты), получаемые при переработке редкоземельного сырья, содержащие значительные ($0.03\text{--}1\%$) количества скандия.

Разработан ряд технологических схем, предусматривающих извлечение ценных компонентов из сложных растворов. Часто предлагается использовать ионообменные методы, однако они недостаточно эффективны в связи с низкой производительностью и медленной кинетикой процесса. Поиск селективных экстракционных систем для избирательного выделения Sc из высококонцентрированных солевых растворов и разработка производительных экстракционных процессов — актуальная задача современной химии.

В течение последних лет в ИФХЭ РАН систематически изучали экстракционные системы, перспективные для выделения и концентрирова-

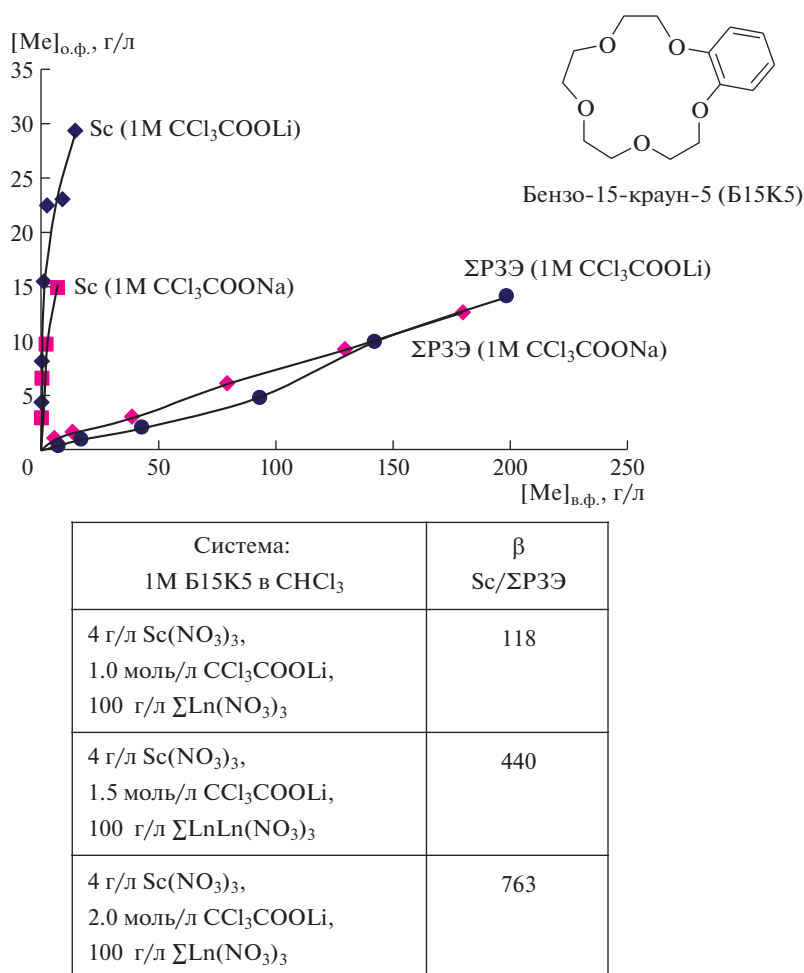


Рис. 4. Выделение скандия из концентратов РЗЭ

ния Sc из растворов сложного состава. В ходе экспериментов удалось получить основные закономерности экстракционного распределения Sc и сопутствующих элементов экстрагентами различных классов. Найдены условия его селективного извлечения при использовании фосфиноксидов и их смесей с фосфорорганическими кислотами. В лабораториях проведено моделирование различных стадий процесса и предложены принципиальные технологические схемы экстракционного концентрирования металла.

Сейчас идут работы по селективному извлечению Sc из красных шламов — многотоннажных высокотоксичных отходов алюминиевой промышленности. В качестве селективного экстрагента предложен тетраоктилдигликольамид, достоинством которого является способность не экстрагировать железо. Найдены условия проведения экстракционного процесса, позволяющего селективно извлекать Sc и РЗЭ из азотнокислых растворов после выщелачивания красных шламов [26].

Одна из трудных задач — разделение скандия и близких к нему по химическим свойствам редкоземельных элементов. Разработан способ селективного извлечения Sc из редкоземельных концентратов с применением краун-эфира бензо-15-краун-5 (Б15К5) в присутствии трихлорацетата в качестве противоиона (рис. 4) [26]. Исследован состав экстрагируемых соединений, определены основные количественные характеристики экстракционных процессов. В присутствии трихлорацетатов лития и натрия получены высокие значения коэффициентов разделения скандия и суммы РЗЭ, что подтверждает возможность селективного извлечения Sc из нейтральных концентрированных растворов нитратов РЗЭ с использованием Б15К5.

В круг интересных, но сложных задач входит разделение группы элементов с близкими молекулярными массами и химическими свойствами — редкоземельных металлов. К ним относятся 15 лантаноидов, скандий и иттрий. Общепринято деление РЗЭ на лёгкую цериевую (La, Ce, Pr, Nd)

и тяжёлую (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y) подгруппу. Редкоземельные элементы и их соединения находят широкое применение в металлургии для получения специальных сплавов, в оптической промышленности при варке стёкол с особыми свойствами, в электротехнической и электронной промышленности при производстве катализаторов, в атомной отрасли и других областях науки и техники.

Темпы мирового потребления редкоземельных металлов (РЗМ) растут: до 2020 г. они составляли 10% в год. Их главный поставщик — Китай, который производит 95% лёгких и почти 100% тяжёлых РЗМ. Основные потребители редкоземельных металлов — страны, обладающие высокотехнологичными производствами (Китай, Япония, Корея, Германия, Франция, США). Россия тоже испытывает острую необходимость в РЗМ для развития высокотехнологичных отраслей промышленности и военно-промышленного комплекса. Но, занимая четвёртое место в мире по объёму запасов сырья, мы производим только 2% редких земель от мирового уровня.

Действительно, наша страна обладает неограниченными запасами сырьевых источников для получения редкоземельных элементов. Часто это комплексное сырьё, которое помимо РЗЭ содержит другие ценные компоненты. Лопарит, например, — это соединение титано-тантало-ниобатов редкоземельных металлов. РЗЭ в нём представлены в основном цериевой группой лантанидов (99%). Фракция РЗЭ, выделяемая из апатитового концентрата, содержит 5–6% подгруппы иттриевых элементов и основное количество цериевых. Новое перспективное Томторское комплексное редкоземельное месторождение (Республика Саха) содержит в исходной руде до 8% ниобия — 13,5% от суммы РЗЭ и такой же процент иттриевых элементов. Имеются и перспективные для переработки месторождения с высоким содержанием металлов иттриевой группы, источником которых служит эвдиалит.

В ИФХЭ РАН ещё в 1951 г. начали разрабатывать методы разделения РЗЭ, так как появилась необходимость выделения индивидуальных радиоактивных редкоземельных изотопов (^{144}Ce , ^{147}Pm , ^{155}Eu , ^{89}Y , ^{140}La и др.) из суммы осколочных элементов. Эти задачи были решены экстракционным методом, полученные данные использовались при разделении стабильных природных РЗЭ.

В конце 1950-х годов по технологии, созданной в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, функционировал опытно-экспериментальный цех, где на специально созданном оборудовании разделяли противоточными экстракционными непрерывными методами цериевые редкоземельные элементы.

В начале 1960-х годов совместно с Пышминским опытным заводом редких металлов (г. Верхняя Пышма, Свердловская обл.), который был экспериментальной базой Государственного научно-исследовательского и проектного института редкометаллической промышленности (“Гиредмет”, Москва), было запущено производство редкоземельных элементов по полной экстракционной технологической схеме с получением всех индивидуальных элементов цериевой подгруппы. Основные технологические решения, применённые на этом предприятии, были также внедрены на Усть-Каменогорском комбинате в Казахстане, где основным сырьём стал плав хлоридов РЗЭ после выделения титана, тантала и ниобия из лопаритового концентрата.

В 1967 г. совместно с “Гиредметом” на Киргизском горно-металлургическом комбинате был создан химико-металлургический цех по выпуску индивидуальных оксидов высокой чистоты всей гаммы лантаноидов, а также редкоземельных металлов.

В 1980-х годах разработку экстракционных процессов разделения передали в г. Силламяэ (Эстония) и Горно-химическому комбинату в г. Шевченко (Казахстан). Однако они так и не реализовали технологию и в настоящее время не функционируют.

В 2000-х годах в ИФХЭ РАН предложили технологическую схему выделения РЗЭ из Томторского комплексного редкоземельного месторождения. После изучения сотен экстракционных систем был установлен ряд экстрагентов, обеспечивавших эффективное разделение всей группы РЗЭ:

- нейтральные фосфорорганические соединения (НФОС) — алкилфосфаты, в частности, трибутилфосфат и его аналоги на основе смеси разветвлённых спиртов с достаточно короткими радикалами; достоинство НФОС — предельная стехиометрическая ёмкость и возможность применения в водной фазе высоких концентраций нитратов РЗЭ (экстрагенты эффективны для первичного группового разделения и выделения элементов цериевой подгруппы);
- фосфорорганические кислоты, как правило, длиннорадикальные; имеют высокую селективность для средних и тяжёлых лантанидов, но обладают малой ёмкостью по отношению к РЗЭ, образуя в органической фазе димеризованные формы экстрагируемых соединений; кроме того, возникают трудности при реэкстракции тяжёлых лантанидов из-за высоких величин их коэффициентов распределения;
- карбоновые кислоты (КК); из большого ряда изученных КК используются наиболее доступные, синтезированные из дешёвой смеси разветвлённых спиртов; к ним относятся карбоновая

кислота, производимая в Европе под маркой “Versatic Acids”, и её аналоги в России — высшие изомерные кислоты; достоинство этих экстрагентов — достаточно высокая селективность для элементов цериевой подгруппы, стехиометрическая обменная экстракция и рекстракция, они универсальны и могут эффективно применяться для концентрирования, конверсии солей и решения ряда вспомогательных операций;

- органические основания — третичные амины (ТОА-триоктиламин) и четвертичные аммониевые основания (ЧАО); их применение ограничено, в смеси с карбоновыми кислотами наиболее эффективны при избирательном извлечении иттрия, в сочетании с комплексоном в водной фазе имеют высокие коэффициенты разделения редкоземельных элементов.

Разделение тяжёлых РЗЭ наиболее эффективно осуществляется в экстракционных системах, сочетающих неселективный экстрагент и раствор комплексона в водной фазе. Для тяжёлых элементов в качестве комплексона используется этилендиаминтетрауксусная кислота, а для лёгких — диэтилентриаминпентауксусная и нитрилотриуксусная кислоты.

Указанный набор экстрагентов в сочетании с подбором соответствующих условий в водной фазе позволяет эффективно решать любые задачи разделения РЗЭ [26–38]. Однако в последнее время в связи с развитием промышленности наноструктурированных материалов заметно вырос интерес к высокочистым наноразмерным оксидам редкоземельных элементов. Это, в свою очередь, потребовало повысить эффективность разделения ближайших пар РЗЭ, особенно тяжёлой группы, и глубокой очистки РЗЭ от редкоземельных, в том числе радиоактивных примесей, присутствующих в минеральном сырье. Данная задача может быть успешно решена, если использовать передовые достижения в синтезе индивидуальных экстрагентов различных классов для новых экстракционных систем, характеризующихся высокими коэффициентами разделения ближайших РЗЭ, что позволит не только повысить чистоту разделяемых соединений редкоземельных элементов, но и снизить число необходимых ступеней разделения.

Уникальность экстракционных методов проявляется в возможности осуществить процесс разделения таких близких по свойствам веществ, как изотопы, что по праву считается одной из самых сложных задач современной науки. Это можно продемонстрировать на примере разделения изотопов лития, успешно применяемого в ядерной энергетике. Однако известная технология для многотоннажного производства изотопов Li безнадежно устарела и запрещена по экологическим соображениям. Замена амальгамной техно-

логии экономически и экологически более выгодной экстракционной давно назрела, но до сих пор не реализована в промышленных масштабах [8, 39–42].

Вместе с тем литий относится к стратегически важным редким металлам. Он востребован в ведущих отраслях промышленности. Достаточно назвать литий-ионные аккумуляторы, керамические, авиационные, смазочные и другие материалы. Но сырьевых источников Li мало, а спрос на них огромный. Сейчас идут поиски технологических схем для извлечения лития из рассолов озёр, в частности боливийских. Однако попытки решения этой крупной проблемы традиционными методами не привели к желаемым результатам. Поэтому сейчас актуализируется применение экстракционных технологий на основе селективных макроциклических экстрагентов. Например, изотермы экстракции Li из водных растворов в органическую фазу с помощью бензо-15-краун-5 в качестве экстрагента показывают, что литий легко извлекается из водных растворов. Но для поиска технологически приемлемых экстракционных систем необходимо исследовать конкретные рассолы из конкретных озёр. Бензо-15-краун-5 уже доказал свою эффективность для разделения изотопов Li. Найдена весьма продуктивная экстракционная схема на основе водных растворов солей металла и растворов бензо-15-краун-5 в хлороформе (рис. 5) [39–42]. Полученные значения коэффициентов разделения достаточны для умножения однократного эффекта. Следует учесть, что эти величины найдены нами в результате многократного умножения эффекта. Между тем данные о коэффициентах разделения изотопов, описанные в литературе, получены путём однократного умножения, что часто невозможно подтвердить и воспроизвести.

Кроме того, в ИФХЭ РАН создана опытно-промышленная установка на основе каскада из 30 высокопроизводительных центробежных экстракторов, способная эффективно осуществлять многократное умножение эффекта и реальное обогащение изотопного состава. Показано, что для достижения изотопной чистоты не менее 99% требуется каскад из 220 экстракторов. Его можно разместить в помещении размером 100 м², тогда как известное многотоннажное производство изотопов лития на основе амальгамной экологически опасной технологии с ректификационными колонами 10-метровой высоты занимает огромную территорию, которая примерно в сотни раз больше, чем необходима для установки ИФХЭ РАН. Наш каскад одновременно может служить демонстрационной установкой для масштабирования процессов с последующим созданием производства не только изотопов, но и редких, рассеянных и редкоземельных элементов. При этом потребуются научно-техническое со-

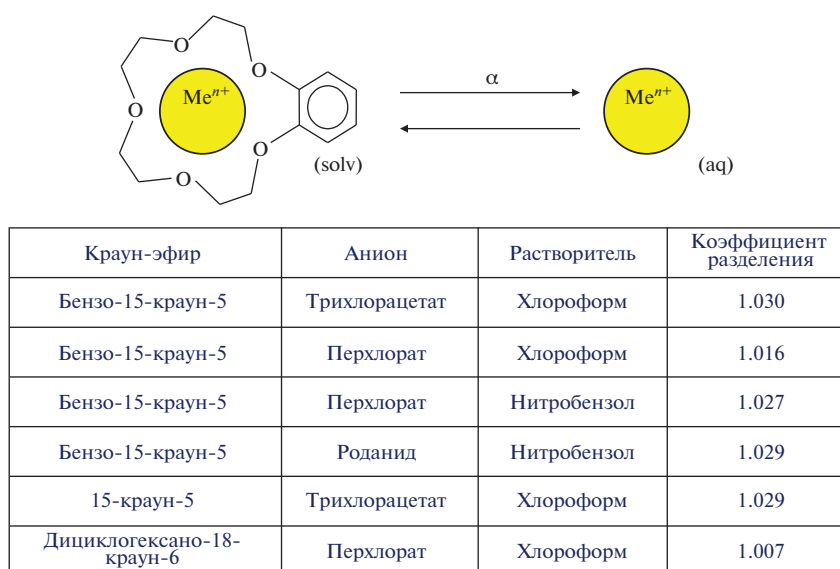


Рис. 5. Коэффициенты разделения изотопов лития

проведение процессов внедрения схем в производство со стороны профильных академических институтов. При таком подходе Россия может занять лидирующие позиции на мировом рынке редких металлов. Для этого необходимо продвигать междисциплинарные программы и проекты под эгидой академических институтов. Существующая практика конкурсного отбора организаций в качестве основных и ответственных исполнителей для решения проблем в этой области себя не оправдала, поэтому нам следует проявлять активность и инициативу в отстаивании своих предложений.

Роль лития в науке и технике неуклонно растёт, специалисты ведут поиск новых процессов разделения его изотопов, в частности ^6Li и ^7Li . Так, ^6Li – единственный промышленный источник трития, необходимого для термоядерной энергетики. ^7Li в виде гидроксида, основная функция которого состоит в ингибировании коррозии конструкционных материалов, используется в водно-водяных реакторах PWR, работающих в США, Японии, Франции, Финляндии и других странах.

Необходимость строгого соблюдения изотопной чистоты обусловлена следующими обстоятельствами. Природный литий содержит 92.5% ^7Li и 7.5% ^6Li . Изотоп ^6Li в условиях работы ядерного реактора эффективно захватывает нейтроны и делится с образованием трития и гелия. Это приводит к существенному газовыделению и накоплению взрывоопасного радиоактивного трития. Для минимизации проблемы применяют гидроксид лития, обогащённый по изотопу ^7Li до уровня не ниже 99.95. Ещё более жёсткие требования по изотопной чистоте (99.999%) предъяв-

ляются к соединениям лития, которые используются в разрабатываемых реакторах MSR или FHR четвёртого поколения. Речь идёт о теплоносителях на основе расплава фторидных солей. Содержание лития в них составляет 14% мас. и более. При вводе в эксплуатацию таких установок годовая потребность ^7Li существенно возрастёт и будет составлять десятки тонн в год.

Исключительные экспортеры ^7Li – Россия и Китай. Производство обогащённого по тяжёлому изотопу лития осуществляют ртутно-амальгамным способом. По данным открытых источников, излишков ^7Li на международном рынке в настоящее время нет. Более того, имеющиеся производственные мощности в обеих странах не смогут обеспечить необходимое количество материала в случае резкого роста его потребления. Отдельно следует отметить, что ртутно-амальгамные процессы имеют серьёзные недостатки, связанные с высокой токсичностью ртути, значительным количеством образующихся в ходе процесса разделения опасных ртутьсодержащих отходов, невозможностью предотвращения утечек ртути и высоким энергопотреблением. Эти обстоятельства стимулируют поиски альтернативных способов разделения изотопов лития, которые интенсивно идут в США, Китае, Японии, России и других странах.

Для разделения изотопов лёгких элементов весьма эффективен метод химического изотопного обмена. Его преимущества обусловлены высокой скоростью массообмена, простотой организации непрерывного многоступенчатого процесса, значительными величинами коэффициентов разделения изотопов.

В ИФХЭ РАН изучили широкий ряд экстракционных систем, перспективных для разделения изотопов лития. Исследовано большое число лигандов, растворителей, типов экстрагируемой соли. Один из основных факторов, влияющих на эффективность разделения и экстракционные характеристики систем, — определение состава экстрагируемого комплекса. В ходе исследований было установлено строение образующихся соединений как в твёрдом виде, так и в растворах и показано, что в состав комплекса входят не только лиганд и экстрагируемая соль, но и растворитель. На основании полученных данных выбрана результативная система, обладающая высоким коэффициентом разделения изотопов лития и удовлетворительными экстракционными характеристиками. Для неё созданы принципиальная технологическая схема разделения изотопов и лабораторная установка с использованием центробежных экстракторов — прототип промышленного экстракционного каскада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cheisson T., Shelter E.J. Rare earth elements: Mendeleev's bane, modern marvels // *Science*. 2019. V. 363. № 6426. P. 489–493.
2. Патент № 2352576 РФ: МКИЗ C07F 9/40, C07F 5/00. 1,5-бис[2-(оксиэтоксифосфинил)-4-(трет-бутил)фенокси]-3-оксапентан в качестве лиганда для избирательного извлечения тория(IV) в ряду урана(VI) и лантана(III) из азотнокислых сред / Д.В. Баулин, В.Е. Баулин, А.М. Сафиулина, Г.А. Цивадзе. Заявл. 23.03.2008. Оpubл. 24.04.2009. Бюл. № 11.
3. Патент № 2391349 РФ. 1,5-бис[2-(оксиэтоксифосфинил)-4-(этил)фенокси]-3-оксапентан в качестве лиганда для избирательного извлечения тория(IV) в ряду урана(VI) и лантана(III) из азотнокислых сред / А.Ю. Цивадзе, В.Е. Баулин, Д.В. Баулин, И.Г. Тананаев, А.М. Сафиуллина. Заявл. 03.12.2008. Оpubл. 10.06.2010. Бюл. № 16.
4. Патент № 2485130 РФ. Жидкостная экстракционная система на основе 1-(диарилфосфорилметокси)-2-диарилфосфорил-4-метоксибензола и 1,1,7-тригидродекафторгептанола для селективного выделения молибдена из азотнокислых растворов / В.Е. Баулин, Д.В. Баулин, В.И. Жиров, С.В. Дёмин, А.Ю. Цивадзе. Заявл. 07.02.2012. Оpubл. 20.06.2013. Бюл. № 17.
5. Патент № 22489501 РФ. Состав экстракционно-хроматографического материала для селективного извлечения Мо-99 из облучённого уранового топлива / В.Е. Баулин, Д.В. Баулин, О.В. Коваленко, А.Ю. Цивадзе, А.Н. Усолкин, Ю.А. Ворошилов, Н.Г. Яковлев. Заявл. 01.12.2011. Оpubл. 10.08.2013. Бюл. № 22.
6. Патент № 2574595 РФ. Состав экстракционно-хроматографического материала для селективного выделения и очистки прометия-147 от сопутствующих редкоземельных элементов из азотнокислых растворов / В.Е. Баулин, А.В. Баулин, Д.В. Баулин,

- О.В. Коваленко, А.Ю. Цивадзе, А.Н. Усолкин, Н.Г. Яковлев. Заявл. 27.01.2015. Оpubл. 10.02.2016. Бюл. № 4.
7. Цивадзе А.Ю., Лёвкин А.В., Бондарева С.В. и др. Экстракция пикратов щелочных и щелочноземельных металлов фосфорсодержащими подандами // *Журнал неорганической химии*. 1991. № 9. С. 2445–2448.
8. Лёвкин А.В., Бондарева С.В., Баулин В.Е. и др. Разделение изотопов лития и кальция при химическом изотопном обмене в экстракционных системах с фосфорилсодержащими подандами // *Журнал физической химии*. 1993. № 11. С. 2309–2311.
9. Баулин В.Е., Миначева Л.Х., Иванова И.С. и др. Синтез, колебательные спектры, кристаллическая и молекулярная структура дигидрата 1,5-бис[2-(диоксифосфинил)фенокси]-3-оксапентана [(HO)₂(O)P(C₆H₄)(OCH₂CH₂)₂O-(C₆H₄)P(O)(OH)₂(H₂O)] · H₂O // *Журнал неорганической химии*. 2011. № 8. С. 1293–1302.
10. Дёмин С.В., Жиров В.И., Нефёдов С.Е. и др. Экстракция редкоземельных элементов 1-(метоксифенилфосфорил)-2-дифенилфосфорил-4-этилбензолом с использованием 1,1,7-тригидродекафторгептанола в качестве растворителя // *Журнал неорганической химии*. 2012. № 6. С. 970–975.
11. Сафиулина А.М., Синегрибова О.А., Баулин В.Е. и др. Экстракция лантанидов и актинидов нейтральными и кислотными тетрааммонийными (о-фениленокси-метил)-дифосфинами из азотнокислых сред // *Цветные металлы*. 2012. № 3. С. 43–45.
12. Дёмин С.В., Нефёдов С.Е., Баулин В.Е. и др. Строение соединений, образующихся при препаративном выделении продуктов экстракции редкоземельных металлов 1-(метоксифенилфосфорил)-2-дифенилфосфорил-4-этилбензолом // *Координационная химия*. 2013. № 4. С. 223–232.
13. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Баулин В.Е., Цивадзе А.Ю. Экстракция РЗЭ(III), U(VI) и Th(IV) фосфорилсодержащими подандами кислотного типа из азотнокислых растворов // *Радиохимия*. 2014. № 1. С. 21–24.
14. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Баулин В.Е., Цивадзе А.Ю. Экстракционное и сорбционное концентрирование рения(VII) с использованием фосфорилсодержащих подандов // *Журнал неорганической химии*. 2014. № 8. С. 891–896.
15. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Баулин В.Е. и др. // Экстракция РЗЭ(III) из азотнокислых растворов бис(диарилфосфорилметил)бензолами // *Журнал неорганической химии*. 2015. № 8. С. 1117–1123.
16. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Баулин В.Е. и др. Экстракция редкоземельных элементов функционализированной ионной жидкостью — бис(гексафторфосфатом) 1,11-бис(1-метилимидазол-3-ил)-3,6,9-триоксаундекана // *Журнал неорганической химии*. 2016. № 10. С. 1383–1387.
17. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Баулин В.Е. и др. Экстракция редкоземельных элементов 2-[2'-(метоксифенилфосфорил)фенилдиазенил]-4-трет-бутилфенолом в присутствии пикратов 1-бутил-3-метилимидазолия и триоктиламмония // *Журнал неорганической химии*. 2016. № 11. С. 1537–1540.

18. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Баулин В.Е. и др. Экстракция редкоземельных элементов и скандия амидами 2-фосфорилфеноксисукусных кислот в присутствии ионной жидкости // Журнал неорганической химии. 2016. № 3. С. 396–402.
19. Zakhodyaeva Y.A., Rudakov D.G., Solov'ev V.O. et al. Liquid-liquid equilibrium of aqueous two-phase system composed of poly(ethylene oxide) 1500 and sodium nitrate // Journal of Chemical and Engineering Data. 2019. V. 64. № 3. P. 1250–1255.
20. Zakhodyaeva Y.A., Zinov'eva I.V., Tokar' E.S., Voshkin A.A. Complex extraction of metals in an aqueous two-phase system based on poly(ethylene oxide) 1500 and sodium nitrate // Molecules. 2019. V. 24. № 22. P. 4078.
21. Gradov O.M., Zakhodyaeva Y.A., Zinov'eva I.V., Voshkin A.A. Some features of the ultrasonic liquid extraction of metal ions // Molecules. 2019. V. 24. № 19. P. 3549.
22. Kostanyan A.E., Galieva Z.N. Modeling of closed-loop recycling dual-mode counter-current chromatography based on non-ideal recycling model // Journal of Chromatography A. 2019. V. 1603. P. 240–250.
23. Gradov O.M., Zakhodyaeva Y.A., Voshkin A.A. Breakup of immiscible liquids at the interface using high-power acoustic pulses // Chemical Engineering and Processing – Process Intensification. 2018. V. 131. P. 125–130.
24. Kostanyan A.E., Erastov A.A. Industrial countercurrent chromatography separations based on a cascade of centrifugal mixer-settler extractors // Journal of Chromatography A. 2018. V. 1572. P. 212–216.
25. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Калашикова И.П. и др. // Экстракционное и сорбционное концентрирование рения(VII) с использованием амидов 2-фосфорилуксусных кислот // Журнал неорганической химии. 2017. № 9. С. 1260–1264.
26. Kostikova G.V., Krasnova O.G., Tsivadze A.Yu., Zhilov V.I. Scandium extraction with benzo-15-crown-5 from neutral nitrate-trichloroacetate solution // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2018. V. 63. № 4. P. 555–560.
27. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Калашикова И.П. и др. Экстракция U(VI), Th(IV) и РЗЭ(III) из азотнокислых растворов 2,6-бис(дифенилфосфорилметил)пиридин N-оксидом // Радиохимия. 2018. № 3. С. 243–247.
28. Полякова И.Н., Криворотько Е.С., Иванова И.С. и др. Фосфорилподанды $\text{Ph}_2\text{P}(\text{O})\text{CH}_2\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{CH}_2\text{P}(\text{O})\text{Ph}_2$ — Ln ($n=0-5$): комплексообразование и экстракция редкоземельных элементов. Кристаллические структуры $[\text{Ln}_2\text{L}_3(\text{NO}_3)_6] \cdot \text{XH}_2\text{O}$ (Ln=Nd, X=1.99; Ln=Eu, X=1; Ln=Er, X=6.5; Ln=Lu, X=6), $[\text{Ln}_2\text{L}_2(\text{NO}_3)_3(\text{H}_2\text{O})]$ (Ln=Nd, Er) // Журнал неорганической химии. 2018. № 10. С. 260–264.
29. Tsivadze A., Baulin V., Baulin D. New sorbents for processing radioactive waste // Handbook of Ecomaterials / Eds. L. Martínez, O. Kharissova, B. Kharisov. 2018. № 1. P. 1–40.
30. Сафиулина А.М., Иванец Д.В., Кудрявцев Е.М. и др. Экстракция f-элементов бинарными экстрагентами на основе производных 1,5-бис[o-(диоксифосфорил)фенокси]-3-оксапентана и триоксиламина // Журнал неорганической химии. 2018. № 12. С. 1659–1664.
31. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Баулин Д.В. и др. Экстракция РЗЭ(III) смесями 1-фенил-3-метил-4-бензоил-5-пиразолона и амидов 2-фосфорилуксусных кислот // Журнал неорганической химии. 2019. № 3. С. 323–329.
32. Сафиулина А.М., Иванец Д.В., Кудрявцев Е.М. и др. Жидкофазная и твердофазная экстракция урана(VI), тория(IV) и редкоземельных элементов(III) из азотнокислых растворов с использованием фосфорилсодержащих подандов кислотного типа // Журнал неорганической химии. 2019. № 4. С. 430–437.
33. Иванова И.С., Криворотько Е.С., Илюхин А.Б. и др. Экстракция редкоземельных элементов в системе 1,1,7-тригидрододекафторгептанол–вода фосфорилподандами, производными дифосфоновых кислот. Кристаллическая структура 1,5-бис[2-(оксиэтоксифосфорил)фенокси]-3-оксапентана // Журнал неорганической химии. 2019. № 5. С. 538–544.
34. Бежин Н.А., Довгий И.И., Баулин В.Е. и др. Сорбенты импрегнированного типа для селективного извлечения Pb^{2+} из природных и технологических сред // Журнал неорганической химии. 2019. № 9. С. 997–1005.
35. Kovalenko O.V., Baulin V.E., Baulin D.V., Tsivadze A.Yu. Separation of La(III), Eu(III), and Ho(III) with Sorbents Impregnated by Mixtures of Acidic Phosphoryl Podands and Amines in Nitric Acid Solutions // Solvent Extraction and Ion Exchange. 2019. V. 37. № 2. P. 392–409.
36. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Баулин В.Е. и др. Экстракция РЗЭ(III) из азотнокислых растворов диэтил-(2-((дифенилфосфорил)метокси)-5-этилфенил)фосфонатом // Журнал неорганической химии. 2019. № 10. С. 1104–1110.
37. Сафиулина А.М., Баулин Д.В., Баулин В.Е., Цивадзе А.Ю. Экстракция лантанидов и актинидов производными (2-[(дифенилфосфорил)метокси]фенил)фосфоновой кислоты из азотнокислых сред // Вопросы атомной науки и техники. 2019. № 3. С. 51–64.
38. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Хвостиков В.А. и др. Экстракция РЗЭ(III), U(VI) и Th(IV) из хлорнокислых растворов 2,6-бис(дифенилфосфорилметил)пиридин N-оксидом // Радиохимия. 2019. № 6. С. 694–699.
39. Цивадзе А.Ю., Жилов В.И., Дёмин С.В. Разделение изотопов с помощью макроциклических полиэфиров // Координационная химия. 1996. № 4. С. 243–252.
40. Дёмин С.В., Жилов В.И., Цивадзе А.Ю. Изотопные эффекты лития при экстракции хлорида лития бензо-15-краунд-5 в системе 1,1,7-тригидрододекафторгептанол–вода // Журнал неорганической химии. 2016. № 1. С. 125–128.
41. Дёмин С.В., Жилов В.И., Цивадзе А.Ю. Изотопные эффекты лития и бора в экстракционных системах // Журнал неорганической химии. 2015. № 5. С. 705.
42. Demin S.V., Bochkarev A.V., Tsivadze A.Yu. Calculation of Lithium Isotope Effects in Extraction Systems with Benzo-15-crown-5 and Its Derivatives // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2019. V. 64. № 7. P. 930–933.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”

МАТЕРИАЛЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

© 2020 г. Е. Н. Каблов

Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Москва, Россия

E-mail: admin@viam.ru

Поступила в редакцию 24.12.2019 г.

После доработки 17.02.2020 г.

Принята к публикации 18.02.2020 г.

В связи с реализацией Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации в докладе показана необходимость формирования советов по приоритетным направлениям научно-технологического развития на примере реализации в СССР атомного проекта национального уровня, в котором важное значение имела кооперация сотен научных и производственных структур. Успешное выполнение поставленных тогда задач тесно связано с ВИАМ и его учёными, внёсшими неоценимый вклад в разработку новых материалов. Представлена ключевая роль института в настоящее время как организации, ответственной за реализацию приоритетного технологического направления “Технологии материаловедения”, и как разработчика материалов нового поколения.

Ключевые слова: материалы, технологии, материаловедение, ВИАМ, научно-технологическое развитие, атомный проект, ТВЭЛ, научно-производственная кооперация.

DOI: 10.31857/S0869587320040052

Материалы нового поколения составляют основу создания гражданской и специальной техники, конкурентоспособной на мировом рынке. Разработанные по инициативе Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов (ВИАМ) в 2011 г. “Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года”, одобренные Научно-техническим советом Военно-промышленной комиссии РФ, определяют направления и этапы фундаментальных и прикладных исследований в области материаловедения [1]. В 2017 г. они были актуализированы с учё-

том Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой годом ранее (Указ Президента РФ № 642 от 1 декабря 2016 г.).

В Стратегии отмечается, что в ближайшие 10–15 лет одним из основных приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации будет “...переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования...” (п. 20а). При этом распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 июня 2017 г. № 1325-р был утверждён План мероприятий по реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на 2017–2019 гг. (первый этап), определяющий, в частности, порядок создания и функционирования советов по приоритетным направлениям научно-технологического развития (Постановление Правительства РФ от 17 января 2018 г. № 16). Эти советы сформированы, однако по ряду приоритетных направлений научно-технологического развития РФ в состав советов не включены представители государственных научных центров (ГНЦ), промышленных предприятий и ведущих конструкторских



КАБЛОВ Евгений Николаевич – академик РАН, генеральный директор ВИАМ.

бюро. Учитывая важность вопроса, необходимо провести корректировку состава советов с привлечением института генеральных конструкторов, руководителей приоритетных технологических направлений и ГНЦ РФ [2].

Примером успешного выполнения проектов национального уровня можно считать создание атомного оружия в СССР и работы по мирному атому. Ответственность за атомный проект возлагалась на Академию наук СССР, однако постановлением технического совета Спецкомитета при Совете народных комиссаров СССР “О дополнительном привлечении к участию в работах по использованию внутриатомной энергии научных учреждений, отдельных учёных и других специалистов” от 24 августа 1945 г. в интересах реализации проекта была организована крупнейшая научная и производственная кооперация. Только в области материаловедения к работе были привлечены Лаборатория № 2 АН СССР (ведущая организация и координатор работ), Государственный специальный проектный институт № 11, вошедший позднее в структуру Министерства среднего машиностроения (МСМ) СССР, Институт химической физики АН СССР, Физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, НИИ-9, НИИхиммаш, ЦНИИТмаш (последние три входили в структуру МСМ СССР), Всесоюзный институт авиационных материалов Министерства авиационной промышленности СССР и другие отраслевые институты различных ведомств. Всесоюзному институту авиационных материалов в этой кооперации отводилась одна из ведущих ролей.

В части прикладных работ по обеспечению создания первого в СССР ядерного промышленного реактора А-1, на котором впервые в нашей стране было получено значительное количество плутония, ВИАМ отвечал за изготовление урановых блочков — предшественников тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) в ядерном реакторе, в документации именуемых “деталь № 0—4”, и технологических каналов — трубок, через которые протекает охлаждающая вода. Важность материаловедческих задач подтверждается тем, что руководитель Лаборатории № 2 АН СССР академик И.В. Курчатов каждую неделю проводил совещания в ВИАМ для оперативного решения вопросов.

В 1946—1948 гг. для первых атомных реакторов Ф-1 и А-1 Всесоюзный институт авиационных материалов разработал и внедрил: покрытие для защиты от коррозии урановых блочков, алюминиевый сплав САВ-1 для изготовления технологических каналов реактора, технологии герметизации урановых блочков в алюминиевые оболочки. Высокий уровень выполненных работ подтверждается тем, что реактор А-1, запущенный в

1948 г., эксплуатировался 38 с половиной лет вместо запланированных 5 лет, а сплав САВ-1 производится до сих пор для нужд атомной промышленности.

За создание комплекса материалов и технологий для реализации атомного проекта в СССР четыре сотрудника института — Р.С. Амбарцумян, Г.В. Акимов, М.В. Поплавко-Михайлов и В.А. Григорьев получили в 1949 г. Сталинские премии.

Ввиду успешного выполнения первой задачи, связанной с атомным проектом, постановлением Совета министров СССР от 6 апреля 1948 г. Всесоюзный институт авиационных материалов назначался ответственным “по вопросам исследования по коррозии и изысканию материалов для агрегатов и оборудования химических цехов для агрегата с водяным охлаждением на слабо обогащённом уране мощностью до 300 тыс. кВт”. Научное руководство работ осуществляли Р.С. Амбарцумян и Г.В. Акимов.

Специалисты ВИАМ, тесно взаимодействовавшие с АН СССР, знали о насущной потребности в новых материалах для ТВЭЛ и технологических охлаждающих каналов, поэтому уже в конце 1953 г. здесь была создана специальная группа под руководством Р.С. Амбарцумяна. В 1948—1957 гг. Р.С. Амбарцумяном и А.А. Киселёвым разработаны и внедрены промышленные сплавы на основе циркония для реакторов на тепловых нейтронах с 1% ниобия для оболочек ТВЭЛ (сплав Э110) и с 2.5% ниобия для технологических каналов реакторов типа РБМК (сплав Э125).

Р.С. Амбарцумян впервые предложил использовать сплавы циркония с ниобием, в то время как вся мировая практика базировалась на сплавах типа циркалой (цирконий—олово), получаемых магнийтермическим методом. Таким образом, именно ВИАМ можно и нужно считать пионером в области бинарных сплавов системы цирконий—ниобий, которые до сегодняшнего дня остаются базовыми конструкционными материалами для отечественных ядерных реакторов на тепловых нейтронах.

В 1948—1957 гг. ВИАМ совместно с Институтом физических проблем АН СССР, Институтом атомной энергии АН СССР, НИИ-8 (НИКИЭТ) МСМ СССР и НИИ-9 (ВНИИНМ) МСМ СССР провёл значительный объём фундаментальных и прикладных исследований для создания энергетических атомных реакторов. ВИАМ были разработаны промышленные технологии изготовления стержней, таблеток и втулок из диоксида урана, а также технологии изготовления ТВЭЛ таблетчностержневого типа в циркониевой оболочке и герметизации их электронно-лучевой или контактно-стыковой сваркой.

В ВИАМ под руководством Р.С. Амбарцумяна, А.М. Глухова и А.А. Киселёва были разработаны конструкции ТВЭЛ и технологических каналов для атомных реакторов типа ОК-150 и ОК-900 (для ледокола “Ленин”) и ВМ (многоцелевые и ракетные атомные подводные лодки проектов 627, 667, 670, 671, а под руководством академика И.Н. Фридляндера – сверхпрочный специальный сплав В96Ц с пределом прочности 700 МПа для газовых центрифуг атомной энергетики. Сплав обеспечил высокую скорость вращения (1500 об/с) газовых центрифуг для обогащения урана-235 центрифужным методом, экономичность которого в 5 раз выше, чем у зарубежного термодиффузионного метода.

Разработаны также оригинальные технологии производства полуфабрикатов из сплава В96Ц на Каменск-Уральском металлургическом заводе: получения штамповок из литой заготовки с пониженной на 15% скоростью ползучести для длительной эксплуатации концевых деталей (диафрагм и крышек) – до 30 лет без текущих и капитальных ремонтов; обратного прессования труб для повышения на 20% и стабилизации прочностных характеристик роторов. Была создана научная и производственная кооперация (Лаборатория № 2 АН СССР, Сухумский физико-технический институт МСМ СССР, Институт физических проблем АН СССР, ГСПИ-11, Комбинат № 814 (Уральский электрохимический комбинат) МСМ СССР, ВИАМ, Каменск-Уральский металлургический завод Министерства цветной металлургии СССР и другие организации). Академик А.П. Александров каждый месяц проводил совещания в ВИАМ для оперативного решения вопросов.

Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов по настоящее время осуществляет авторский надзор за изготовлением полуфабрикатов и, основываясь на статистических данных заводов-производителей (ОАО “КУМЗ”, ВПО “Точмаш”, ОАО “Зид”), постоянно совершенствует технологию производства, в результате чего процент брака постоянно уменьшается и составляет на текущий момент менее 1%.

В России по центрифужной технологии производятся стабильные изотопы для ядерной медицины, атомной энергетики, электроники, физики, химии, биотехнологий, агрохимии. До настоящего времени ни одна страна в мире не может осуществить производство такого ассортимента изотопов, как Россия (40% мирового рынка).

Опыт убедительно показывает, что только научно-производственная кооперация в виде консорциумов науки, образования и бизнеса с привлечением государственно-частного партнёрства

позволяет реализовывать крупные инновационные проекты полного цикла. Такого же подхода требует и создание материалов нового поколения. Оно базируется на принципе единства “материал – технология – конструкция – высокотехнологичное оборудование” [3]. При этом применяется многоуровневый подход: моделирование материала на нано-, микро-, мезо- и макроуровнях, исследование механизмов поведения элементарных образцов с валидацией результатов для элементов конструкций и изделий. Такие разработки невозможны без применения компьютерного конструирования состава материалов и математических моделей их производства, что позволяет оптимизировать технологию изготовления деталей по условиям напряжённо-деформированного состояния, оценивать влияние исходного сырья на физико-механические характеристики будущего изделия.

Следует ещё раз подчеркнуть, что ключевая роль в создании материалов нового поколения принадлежит проектам полного инновационного цикла на базе консорциумов, в том числе в рамках государственно-частного партнёрства. При этом необходимо принятие решения по следующим направлениям.

1. Определение организации-лидера по приоритетному продуктовому направлению.
2. Наделение лидера правом формирования консорциума предприятий для выполнения крупных инновационных проектов полного цикла.
3. Предоставление финансового обеспечения для выполнения проекта.
4. Определение персональной ответственности руководителя консорциума за достижение поставленной задачи.

Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов как организация, ответственная за реализацию приоритетного технологического направления “Технологии материаловедения”, выполняет полный цикл работ – от фундаментальных, прикладных исследований до разработки материала, технологии, оборудования, выпуска нормативной документации и передачи лицензий производителю или организации малотоннажного производства. В настоящее время в институте действуют 25 малотоннажных инновационных производств по выпуску 253 наименований продукции.

Ключевую роль в совершенствовании технологического процесса изготовления деталей сложных технических систем играют цифровые и аддитивные технологии, позволяющие создавать детали высокого качества с наименьшими затратами посредством прямого синтеза (“добавления”) материала. Традиционные, “вычитающие” технологии (литьё, механообработка и т. д.) такими возможностями не обладают.

В ВИАМ разработаны технологии и организовано серийное производство высококачественных порошков припоев и порошковых композиций для аддитивных технологий отечественных сплавов (свыше 25 марок) с выпуском полного комплекта нормативной документации. Это позволило создать аддитивное производство полного цикла. Впервые в России для АО «Авиадвигатель» изготовлена по аддитивной технологии «боевая» деталь перспективного авиационного двигателя ПД-14 (завихритель фронтального устройства камеры сгорания), в полном объёме отвечающая требованиям конструкторской документации. Двигатель ПД-14, в составе камеры сгорания которого установлены эти детали, прошёл лётные испытания [4].

Для внедрения аддитивных технологий в промышленность Российской Федерации, в том числе в авиационное двигателестроение, по поручению председателя правительства РФ и Минпромторга России на базе ВИАМ совместно с государственными корпорациями «Росатом», «Роскосмос» и «Ростех» при участии Росстандарта, Фонда перспективных исследований, интегрированных структур, ведущих вузов и Российской академии наук разработан проект паспорта Подпрограммы «Развитие аддитивных технологий и создание цифровых производств» на период 2019–2025 гг. Проект необходимо рассмотреть на заседании межведомственной рабочей группы Минпромторга России по развитию аддитивных технологий в Российской Федерации, согласовать в установленном порядке с федеральными органами исполнительной власти и внести в правительство для утверждения. Необходимо также внесение изменений в Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» в части учёта в нём аддитивных технологий [5].

В целом для широкого внедрения аддитивных технологий ключевой задачей является повышение роли институтов РАН в постановке и реше-

нии фундаментальных и прикладных задач в области аддитивного производства, включая:

- моделирование температурных полей и процессов формирования материала при лазерном (электроннолучевом) синтезе для мультитрековой структуры (в настоящее время все модели отнесительно корректно описывают формирование лишь отдельного трека);
- разработку алгоритмов и принципов объективного контроля формирования синтезированного материала в процессе экспонирования;
- разработку новых методов неразрушающего контроля деталей аддитивного производства;
- разработку технологий получения высокочистых металлических и полимерных композиций, включая микролегирование редкоземельных металлов;
- разработку отечественного программного обеспечения, сканатора и контроллеров для аддитивного оборудования.

Взяв на себя ответственность за успешное решение перечисленных задач, Российская академия наук создаст необходимые условия для вхождения России в новый технологический уклад.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 5. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1(34). С. 3–33.
3. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения — основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // *Интеллект и технологии*. 2016. № 2(14). С. 16–21.
4. Каблов Е.Н. // ВИАМ: материалы нового поколения для ПД-14 // *Крылья Родины*. 2019. № 7–8. С. 54–58.
5. Каблов Е.Н. Нам очень нужен прорыв // *Известия*. 2018. 6 сентября.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В МЕДИЦИНЕ

© 2020 г. В. Н. Чарушин^{a,*}, Ю. А. Титова^{a,**}, Е. Р. Милаева^{b,***}

^aИнститут органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Екатеринбург, Россия

^bМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: charushin@ios.uran.ru

**E-mail: titova@ios.uran.ru

***E-mail: milaeva@med.chem.msu.ru

Поступила в редакцию 24.01.2020 г.

После доработки 15.02.2020 г.

Принята к публикации 17.02.2020 г.

В докладе приведён краткий обзор химических элементов, соединения которых находят применение в медицине: от широко распространённых органогенных элементов (углерод, водород, азот, кислород, сера и фосфор), входящих в структуру белков и нуклеиновых кислот клеток живых организмов и определяющих передачу наследственной информации, до редко встречающихся в живой природе органических соединений фтора — их синтетические производные всё более прочно входят в арсенал современных лекарственных средств. Значительное внимание уделено металлопротеинам, играющим важную роль в биохимии жизненно важных процессов, а также соединениям металлов, широко используемым в медицине. Особое внимание заслуживают химические элементы и их изотопы, соединения которых применяются в ядерной медицине для диагностики и лечения широкого круга заболеваний, прежде всего онкологических и сердечно-сосудистых.

Ключевые слова: органогенные элементы, макро- и микроэлементы, металлы жизни, металлопротеины, радиоактивные элементы, позитрон-эмиссионная томография (ПЭТ), боронейтронозахватная терапия, бета-лактамы антибиотики, гетероциклы, фторхинолоны.

DOI: 10.31857/S0869587320040039

Величайшее открытие Д.И. Менделеева — периодический закон — во многом изменило историю науки и открыло широкие возможности для развития новых научных направлений [1]. В данном обзоре обсуждается значение химических элементов периодической системы, играющих ключевую роль в жизнедеятельности живых организмов, а также элементов, соединения которых используются в медицине.

Лекарственные средства сопровождают человечество с незапамятных времен, и на ранних этапах развития медицины в её арсенале преобладали самые простые химические вещества (вода, винный спирт, глюкоза, поваренная соль, сода, поташ, сулема и др.), а также водные или спиртовые экстракты природных биологически активных соединений, терапевтическое действие которых устанавливалось эмпирическим путём.



ЧАРУШИН Валерий Николаевич — вице-президент РАН, председатель Уральского отделения РАН, директор ИОС УрО РАН. ТИТОВА Юлия Алексеевна — кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории гетероциклических соединений ИОС УрО РАН. МИЛАЕВА Елена Рудольфовна — доктор химических наук, заведующая кафедрой медицинской химии и тонкого органического синтеза химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.



Рис. 1. Эмблема Международного года Периодической таблицы химических элементов

Химический анализ, позволяющий надёжно устанавливать элементный состав веществ, появился лишь в середине XIX в. Сведения о химических элементах и их свойствах в то время были весьма ограниченными. При открытии периодического закона Д.И. Менделеевым в его таблице содержалось около 60 химических элементов, то есть немногим более половины известных сегодня элементов [1].

Из 118 элементов современной Периодической таблицы один — менделевий — получил название в честь российского учёного — автора таблицы, а ещё 6 имеют непосредственное отношение к российской науке самим фактом открытия. Первым из них стал названный в честь нашего Отечества рутений — 44 элемент таблицы. Его открыл профессор химии Казанского университета Карл Карлович Клаус при исследовании уральской платиновой руды в 1844 г. [1], то есть за четверть века до того как Д.И. Менделеев сформулировал основные положения периодического закона. В 1846 г. научное достижение К.К. Клауса было отмечено Демидовской премией (учреждена в 1832 г. уральским промышленником П.Н. Демидовым). Кстати, не так часто упоминается факт, что Дмитрий Иванович Менделеев удостоился звания лауреата Демидовской премии 1862 г. за написание первого российского учебника по органической химии. Что касается открытого К.К. Клаусом рутения, то в те годы никто не представлял, конечно, какое значение будут иметь в будущем комплексные соединения этого уникального элемента — аналога платины, как и самой платины для металлоорганического катализа, а также для медицины [1].

История открытия другого элемента — самария — также связана с Уралом. Он был выделен из минерала самарскита, обнаруженного рабочими инженера В.Е. Самарского-Быховца при прове-

дении горных работ в Ильменском заповеднике у южноуральского города Миасса в 1847 г. [1].

Открытие целой серии элементов (105 — дубний, 114 — флеровий, 115 — московий и 118 — оганесон) связано с работами знаменитой Флёрвской лаборатории Объединённого института ядерных исследований в Дубне. Вполне закономерно, что Демидовский научный фонд отметил вклад академика Ю.Ц. Оганесяна в открытие новых трансурановых элементов, присудив ему Демидовскую премию 2019 г.

Роль элементов в жизнедеятельности живых организмов. Органогенные элементы. Обратим внимание на те элементы, которые представлены на эмблеме Международного года Периодической таблицы: помимо 101-го элемента (менделевия), на ней изображены водород, углерод, азот и кислород. Это важнейшие органогенные элементы, к числу которых относят также фосфор и серу (рис. 1, табл. 1).

Именно органогенные элементы входят в состав биосферы нашей планеты (атмосферные вода, кислород, азот, углекислый газ, метан и другие природные источники углеводородов), а также определяют процессы фотосинтеза и другие важнейшие процессы в живой клетке, ведущие к созданию ключевых классов органических веществ, таких как аминокислоты, пептиды, белки, углеводы (простые и сложные), липиды и фосфолипиды (из которых построены клеточные мембраны) и многие биологически активные гетероциклические соединения [2]. Уникальность атомов углерода, их способность образовывать неограниченное число одинарных (C—C), двойных (C=C) и тройных (C≡C) связей, формировать циклические и каркасные соединения, олигомеры и полимеры, а также образовывать связи с другими элементами (C—H, C—N, C—O, C—S) предопределяют многообразие мира органических соединений. В качестве примера можно привести структуру гормона удовольствия *окситоцина*, состоящего из многих аминокислотных фрагментов и тех же органогенных элементов (рис. 2) [2, 3].

Те же элементы (C, H, N, O) входят в состав молекул кофермента “никотин-амидадениндинуклеотид” (НАД) и его восстановленной формы (НАД-Н), которые ответственны за важнейшие окислительно-восстановительные процессы в организме. Здесь появляется ещё один важнейший элемент — фосфор, входящий в виде остатков фосфорной кислоты в нуклеотидные фрагменты (рис. 3) [2, 3].

И, наконец, верх совершенства — структура ДНК, открывшая новую эру в биологии и медицине, собрана из тех же четырёх органогенных элементов (водород, углерод, азот, кислород) и фосфора из остатков фосфорной кислоты, которые связывают нуклеозиды в определённую по-

Таблица 1. Наиболее важные органогенные элементы

Элемент	Содержание в организме человека, %
Водород (H)	10
Углерод (C)	18
Азот (N)	3
Кислород (O)	65

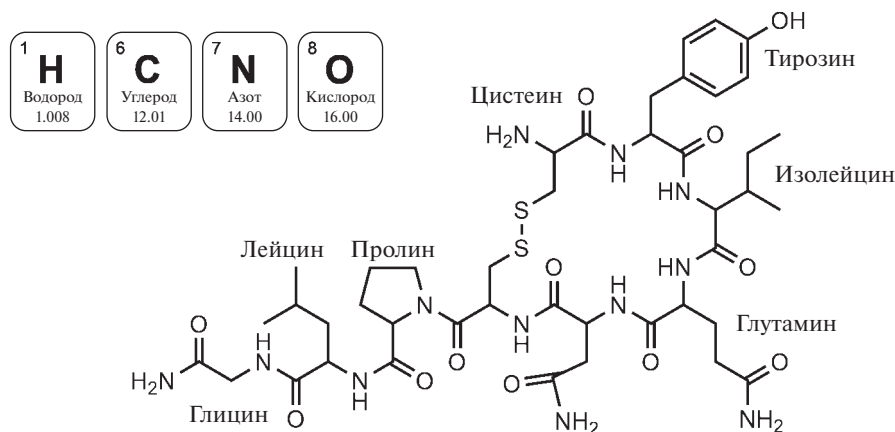
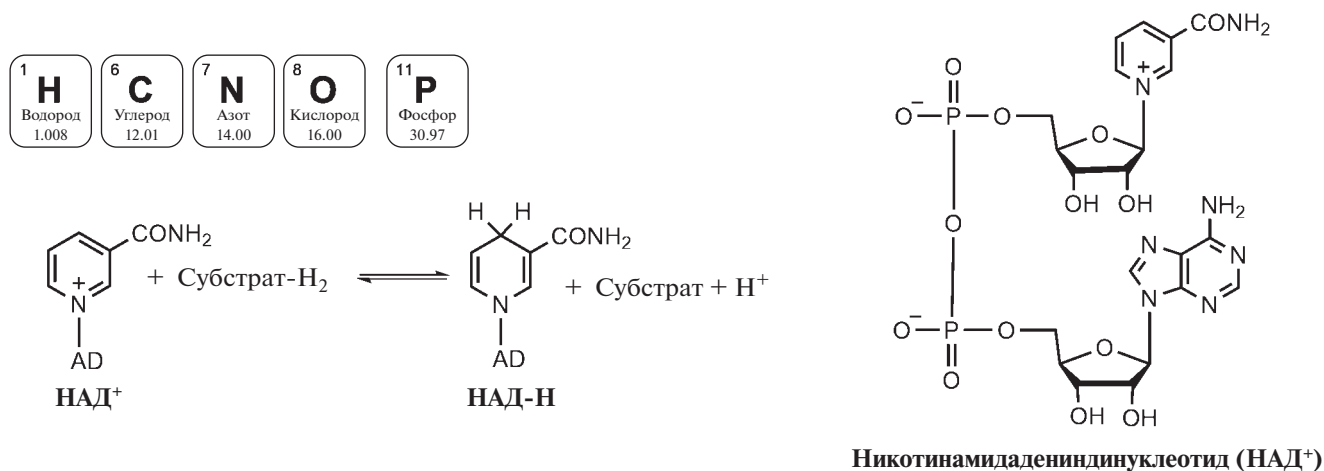


Рис. 2. Строение гормона окситоцина



Никотинамидадениндинуклеотид (НАД⁺)

Рис. 3. Структура коферментов НАД⁺ и НАД-Н

следовательность нуклеотидов. Именно гетероатомы в структуре ДНК определяют способность гетероциклических оснований (аденин, гуанин, тимин и цитозин) к образованию многочисленных водородных связей “кислород–водород” и “азот–водород” и формированию двойной спирали ДНК [2, 3].

“Металлы жизни”. Из 118 химических элементов периодической таблицы только 16 относят к так называемым элементам жизни. Мы уже отметили шесть неметаллов (H, O, N, C, P, S), составляющих основу биологически важных молекул и макромолекул. К ним следует добавить 10 жизненно важных металлов: Na, K, Mg, Ca, Zn, Cu, Co, Mn, Fe, Mo, которые также являются биогенными [4]. Из указанной десятки к макроэлементам относятся 4 металла (натрий, калий, кальций и магний). Каждый из этих элементов исключительно важен, и отклонение его содержания от нормы требует терапевтической корректировки (табл. 2).

Так, натрий (его содержание в организме взрослого человека составляет 150–200 г) отвечает за поддержание кислотно-щелочного баланса, осмотического давления, уровня pH крови и транспорт аминокислот и различных анионов через мембраны клеток. Существуют разнообразные лекарственные составы на основе солей на-

Таблица 2. Макроэлементы

Элемент	Содержание в организме человека, %
Натрий (Na)	0.15
Магний (Mg)	0.05
Калий (K)	0.35
Кальций (Ca)	2.00
Фосфор (P)	1.10
Сера (S)	0.25
Хлор (Cl)	0.15

трия, которые используются в медицине для коррекции отклонений (хлорид, бромид, иодид, сульфат, гидрокарбонат, никотинат, бензоат и др.).

Калий также входит в группу макроэлементов — его содержание в организме взрослого человека составляет около 120 г. Главная биологическая функция калия — формирование потенциалов на мембранах клеток, а также участие в передаче нервных импульсов и регуляции сердечных сокращений. Существуют препараты на основе солей калия, в том числе комбинированные смеси (например, аспарагинат калия и аспарагинат магния), поскольку магний также необходим для ритмичной работы сердца и передачи сигнала в нервной и мышечной тканях.

Из жизненно важных металлов к макроэлементам относится и магний, содержание которого в организме взрослого человека составляет около 25 г. Значительное количество магния содержится в костной ткани (депо магния). Существуют препараты на основе цитрата и оротата магния, например, *магнерот* — для лечения болей и спазмов мышц.

Самый распространенный в организме человека макроэлемент неорганической природы — кальций, который играет ключевую роль в физиологических и биохимических процессах клетки. Ионы кальция (Ca^{2+}) участвуют в процессах свертывания крови, а также регулируют самые разные внутриклеточные процессы — мышечное сокращение, экзоцитоз, секрецию гормонов и нейромедиаторов. В организме взрослого человека содержится примерно 1.2 кг кальция (2% от веса), из них 99% — в скелете и зубах человека. Его недостаток — прямой путь к остеопорозу и другим физиологическим отклонениям. Трудно переоценить роль соединений кальция в стоматологии.

Не менее важны и микроэлементы, играющие ключевую роль в катализе биохимических процессов [5]. Наиболее значимые из них представ-

Таблица 3. Наиболее важные микроэлементы

Элемент	Суточная потребность, мг
Марганец (Mn)	5
Железо (Fe)	18
Кобальт (Co)	0.2
Медь (Cu)	2
Цинк (Zn)	15
Молибден (Mo)	0.18
Фтор (F)	3
Бром (Br)	1
Иод (I)	0.15
Селен (Se)	0.04

лены рядом из 6 металлов (Fe, Cu, Zn, Mn, Co, Mo) и 4 неметаллов (фтор, бром, иод, селен) (табл. 3). Несмотря на низкое содержание микроэлементов-металлов в организме, они выполняют важнейшие функции, и этот ряд элементов обычно относят к “металлам жизни”. Как правило, в организме они находятся в виде катионов, координационно связанных с гетероатомами аминокислотных фрагментов или с гетероциклами.

Один из важнейших биогенных металлов — железо. Несмотря на незначительное количество в организме человека (4.5 г), он выполняет множество функций, входя в состав белков-транспортёров и ферментов. Так, комплекс ионов железа с порфирином составляет основу активных центров гемоглобина, способных обратимо связываться с кислородом, координируя 4 молекулы O_2 и обеспечивая его перенос в ткани через кровеносную систему (рис. 4). Содержание гемоглобина в крови человека колеблется в пределах 120–180 г/литр (в норме).

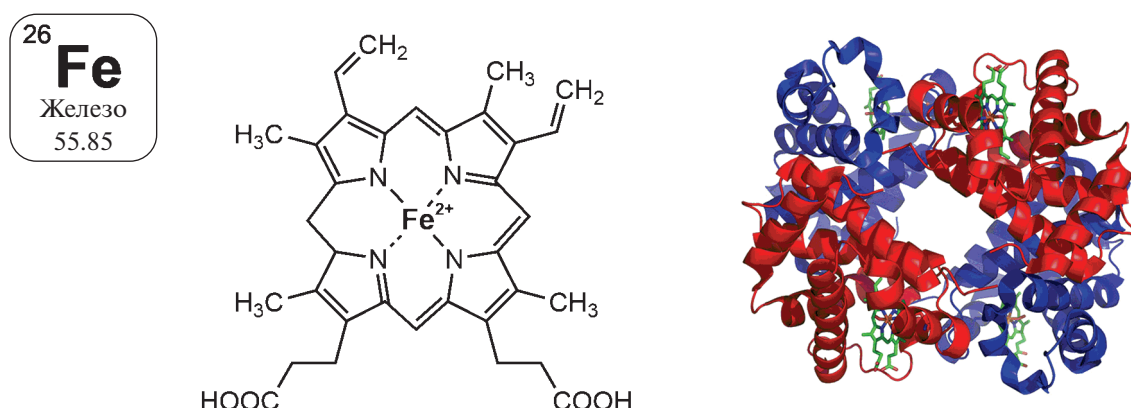


Рис. 4. Комплекс железа с протопорфирином и гемоглобин — железосодержащий белок, играющий важнейшую роль в процессах транспорта кислорода

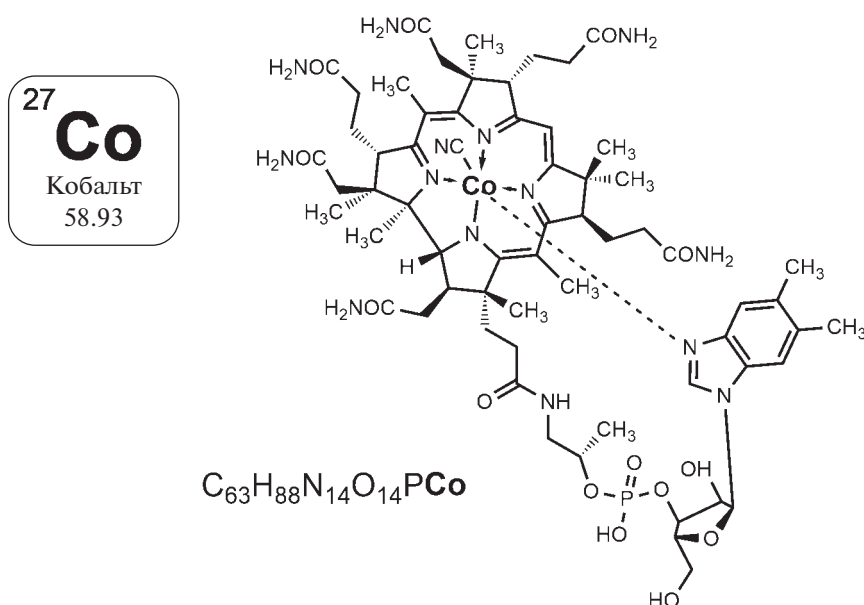


Рис. 5. Структура витамина B₁₂ (аденозилкобаламин)

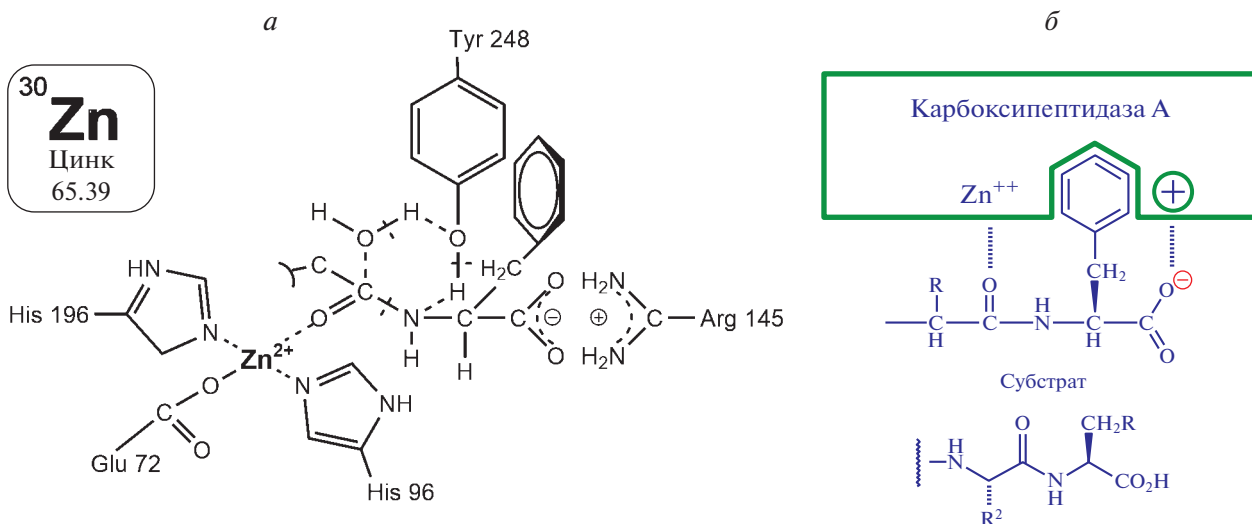


Рис. 6. Пример действия фермента, в состав которого входят ионы цинка:
a — активный сайт карбоксипептидазы А; *б* — пример действия карбоксипептидазы А

Широко распространены также многоцентровые металлоферменты. Важнейший фермент дыхания — цитохром-С-оксидаза — содержит и железо, и медь и осуществляет превращение молекулярного кислорода O₂ в воду. Другим примером служит витамин B₁₂ (рис. 5), который по своему строению относится к сложным координационным соединениям и представляет собой комплекс кобальта с коррином. Определение пространственной конфигурации, а также химической структуры молекулы витамина B₁₂ было выполнено в 1955 г. британским химиком и био-

химиком Дороти Кроуфут-Ходжкин, за что в 1964 г. она была удостоена Нобелевской премии. Витамин B₁₂ важен для здоровья мозга, нервной системы и синтеза ДНК.

Металлопротеины и, в частности, металлоферменты, играют ключевую роль в биохимии. Так, процессы гидролиза пептидных связей в белках катализируются карбоксипептидазой А — ферментом, в состав которого помимо 307 аминокислот входят ионы цинка (рис. 6). Окисление ксантина в мочевую кислоту эффективно происходит с участием фермента ксантиноксидазы, со-

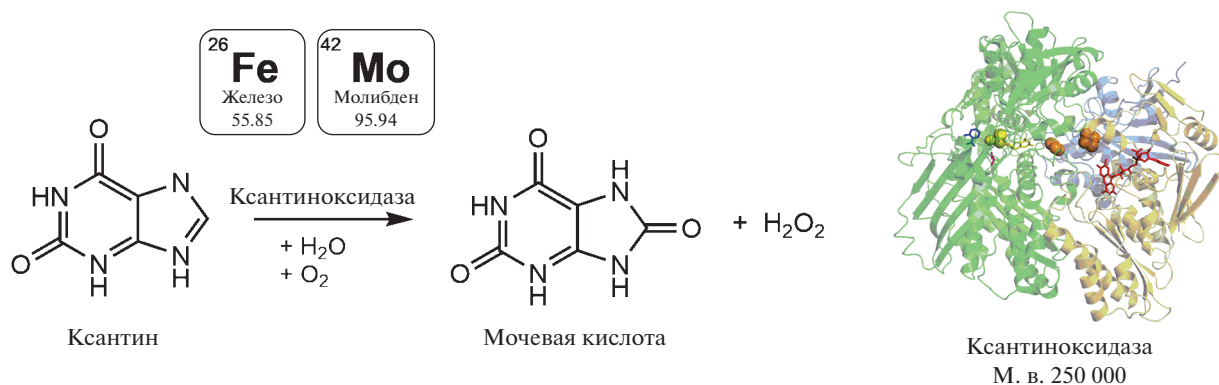


Рис. 7. Действие ксантиноксидазы — многоцентрового фермента, включающего 6 атомов железа и 2 атома молибдена

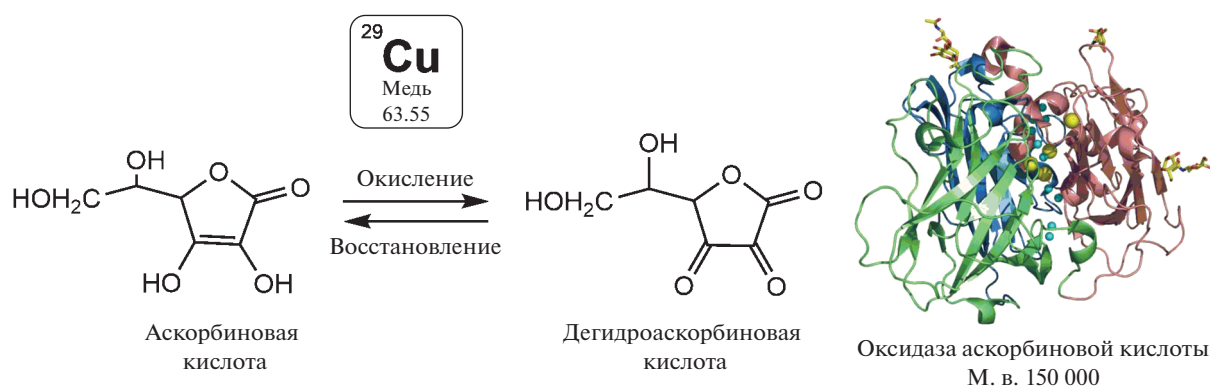


Рис. 8. Действие оксидазы аскорбиновой кислоты — многоцентрового фермента, включающего 6 атомов меди

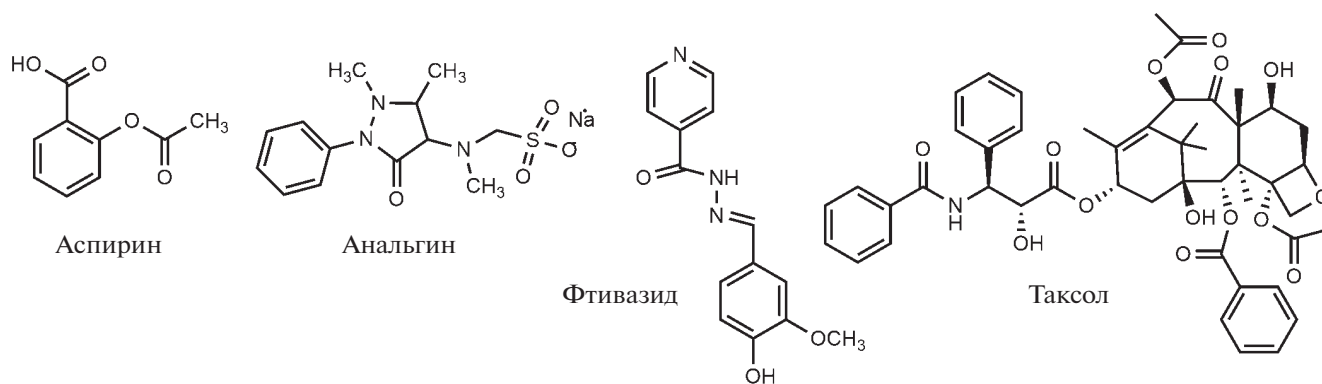


Рис. 9. Структуры некоторых лекарственных препаратов

держашей в своем составе атомы железа и молибдена (рис. 7), а окисление аскорбиновой кислоты — при действии соответствующей оксидазы, содержащей медь (рис. 8).

Элементы, соединения которых используются в медицине. В мире сегодня насчитывается несколько миллионов органических веществ, из них десятки тысяч обладают биологической активностью [6–8]. Именно из этих 4 элементов

(водород, углерод, азот, кислород) собраны структуры большинства лекарственных препаратов синтетического происхождения — таких простых, как *аспирин*, *анальгин*, *фтивазид*, и существенно более сложных, содержащих асимметрично замещённые (хиральные) атомы углерода, — так называемых энантиомерно чистых веществ, как, например, противоопухолевый препарат природного происхождения *таксол* (рис. 9) [6–8].

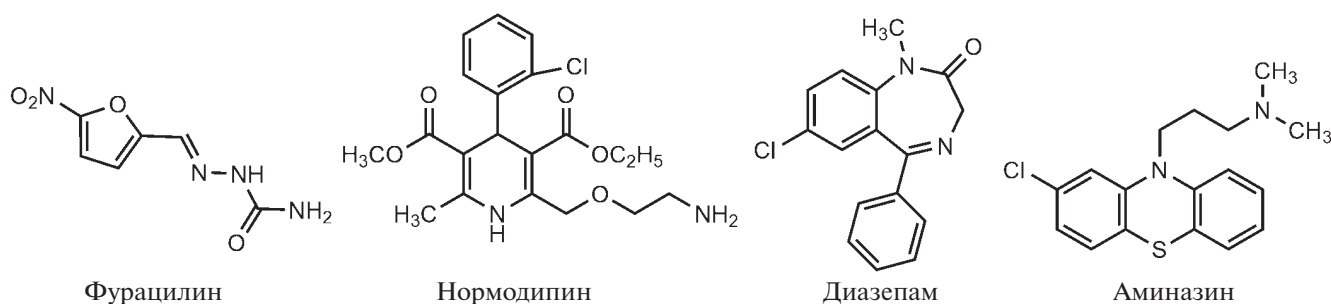
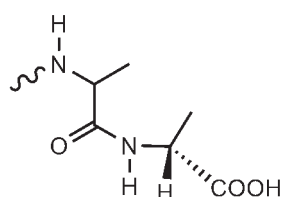
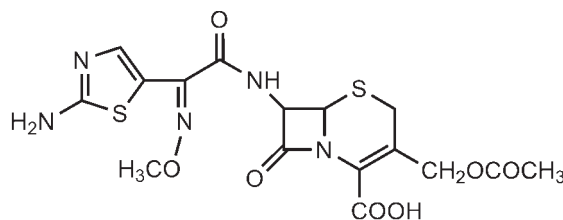
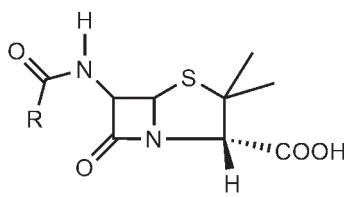


Рис. 10. Структуры некоторых препаратов, содержащих гетероциклические фрагменты

1 H Водород 1.008	6 C Углерод 12.01	7 N Азот 14.00	8 O Кислород 16.00	16 S Сера 32.06
-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	------------------------------------	---------------------------------



Конец пептидной цепи,
связывающийся
с транспептидазой



Цефотаксим

Рис. 11. Ключевые структуры бета-лактамных антибиотиков

Поразительно, что столь ограниченный круг химических элементов периодической системы (водород, углерод, кислород, азот, фосфор, сера и кремний) оказывается достаточным для получения столь внушительного разнообразия органических веществ — лекарственных препаратов, диагностикумов, полимеров и медицинских изделий самого различного назначения. Исключительно важно наличие в этом ряду гетероатомов (азота, кислорода и серы), поскольку в медицинской химии особая роль принадлежит соединениям, содержащим гетероциклический фрагмент. Они вносят самый весомый вклад (более 60%) в арсенал разнообразных лекарственных средств [6–10]. Хорошо известны, к примеру, антибактериальные препараты нитрофуранового ряда (*фурацилин*, *фурадонин*, *фуразолидон*), вазодилаторы и антигипертензивные средства дигидропиридинового типа (*никардипин*, *нифедипин*, *фелодипин*), транквилизаторы группы 1,4-бензодиазепа (*диазепам*, *оксазепам*, *нитразепам*, *феназепам*, *элениум*), нейрорепаранты фенотиазинового ряда (*аминазин*, *пропазин*, *левомепазин*) (рис. 10) [6–10]. Гетероциклический мотив выражен и в ряду антибиотиков, таких как открытый известным английским бактериологом А. Флемингом *пеницил-*

лин или полусинтетические аналоги пенициллинов и цефалоспоринов (рис. 11) [6–10].

Всё большее значение приобретает наличие атома фтора в биологически активных соединениях [11, 12]. В органическом мире практически нет природных фторсодержащих органических соединений. В то же время более 20% всех создаваемых в мире препаратов содержат атом фтора, который придаёт им повышенную проницаемость через клеточные мембраны и, как правило, повышает активность. Современный арсенал антибактериальных препаратов уже невозможно представить без *левофлоксацина*, *моксифлоксацина* и других производных семейства фторхинолонов (рис. 12) [12].

В настоящее время интенсивно развивается направление, получившее название “неорганической медицинской химии” [13]. Кроме “металлов жизни” в сферу внимания попадают многие другие элементы и соединения на их основе.

Применение металлосодержащих средств для диагностики и терапии открывает уникальные возможности для борьбы с теми видами патологий, которые не поддавались лечению известными классическими препаратами органической

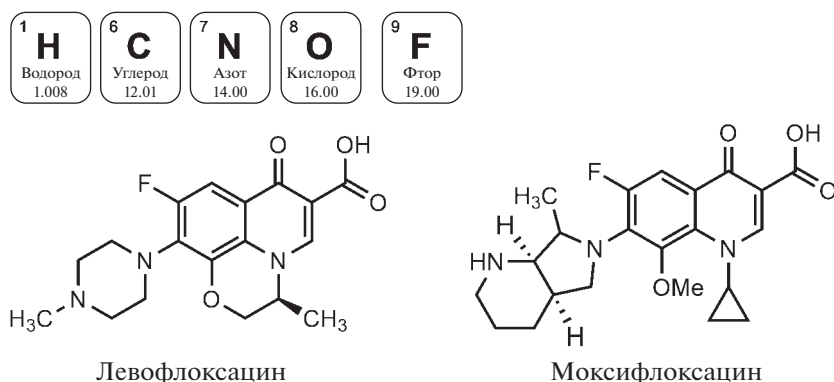


Рис. 12. Структуры важнейших фторхинолонов

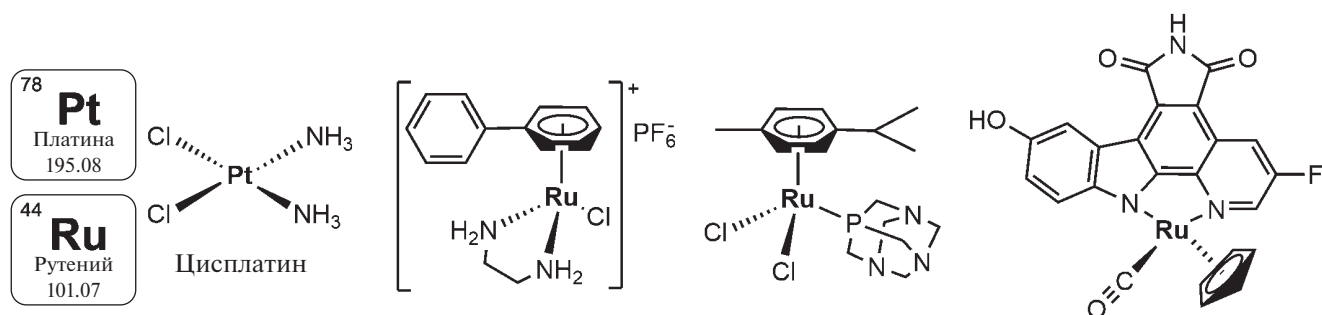


Рис. 13. Цисплатин и комплексные соединения рутения, используемые в медицине

природы. К наиболее известным относятся соединения платины, золота, лития, олова, гадолиния, лантана, введенные в клиническую практику в XX в. [14]. В качестве примера можно назвать первое антибактериальное средство – препарат *сальварсан* – органическое соединение мышьяка, созданное в 1907 г. лауреатом Нобелевской премии П. Эрлихом – выдающимся немецким учёным, одним из основателей химиотерапии.

Весомый вклад в развитие неорганической медицинской химии внёс выдающийся российский химик академик АН СССР А.Н. Несмеянов, который, в частности, впервые в 1971 г. ввёл в медицинскую практику отечественный препарат *ферроцерон* на основе металлоорганического соединения – ферроцена как средство для лечения железодефицитной анемии [15].

В клиническую практику прочно вошли антидепрессанты на основе карбоната лития (например, препарат *седалит* и его аналоги), а сульфат бария много лет используется в диагностике как рентгеноконтрастное вещество. Хорошо известны гастропротекторы и препараты для лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта на основе соединений висмута (*де-нол*, *десмол*).

Применение препаратов на основе соединений золота получило название “кризотерапия”.

Такие лекарства, как *кризанол* (ауротиопропанол-сульфонат кальция), *миокризин* (натриевая соль ауротиояблочной кислоты) и *ауранофин* (комплекс триэтилфосфинзолота с тиоглюкозой), активно используются в терапии ревматоидного артрита.

С момента открытия в 1965 г. американским биофизиком Б. Розенбергом антипролиферативной активности *цисплатина* и его введением в 1978 г. в клинику в качестве препарата для лечения онкологических заболеваний успешно используются соединения платины: *цисплатин* и его аналоги – *оксалиплатин*, *карбоплатин*, *недаплатин*, *лобоплатин*, *гептаплатин*. Проводятся клинические испытания для ряда комплексных соединений рутения, проявивших высокую противоопухолевую активность (рис. 13).

Комплексные соединения гадолиния занимают особое место в диагностике, поскольку препараты на их основе (*гадопентетовая кислота*, *гадодиамид*, *гадотеровая кислота*) широко применяются в магнитно-резонансной томографии (МРТ) (рис. 14). Контрастные МРТ снимки с применением комплексов гадолиния позволяют диагностировать аномалии, которые не видны при использовании других методов визуализации.

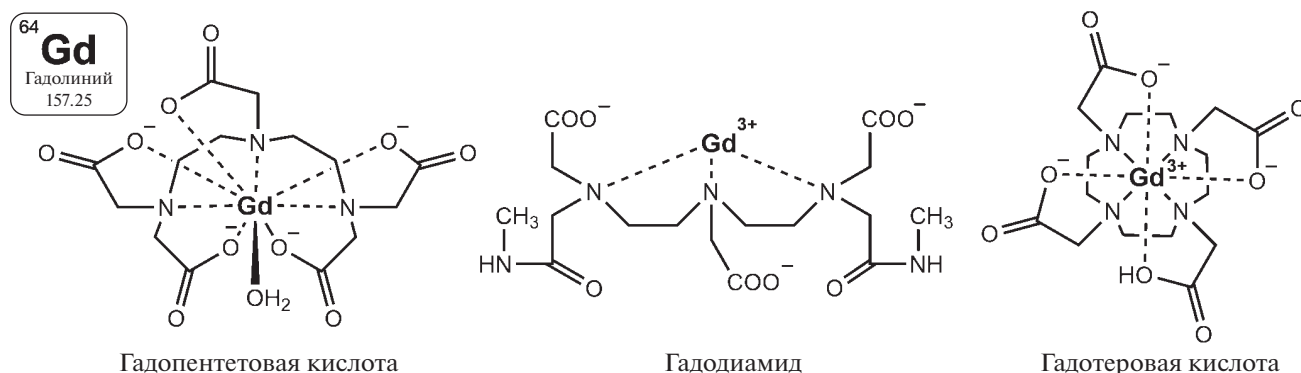


Рис. 14. Контрастные реагенты на основе комплексов гадолиния для МРТ

Диагнос-тика	9 F Фтор 19.00	26 Fe Железо 55.85	29 Cu Медь 63.55	31 Ga Галлий 69.72	32 Ge Германий 72.59	37 Rb Рубидий 85.47	39 Y Иттрий 88.91	40 Zr Цирконий 91.22	43 Tc Технеций 98.91	49 In Индий 114.82	53 I Иод 126.90	54 Xe Ксенон 131.29	56 Ba Барий 137.33	64 Gd Гадолиний 157.25
Радио-терапия	27 Co Кобальт 58.93	38 Sr Стронций 87.62	55 Cs Цезий 132.91	83 Bi Висмут 208.98	85 At Астат (210)	88 Ra Радий (226)	62 Sm Самарий 150.36	67 Ho Гольмий 164.93	71 Lu Лютеций 174.97	89 Ac Актиний (227)				

Рис. 15. Элементы, используемые в радиодиагностике и ядерной медицине

Изотопы элементов в медицине. Важнейшим и бурно развивающимся направлением является ядерная медицина [16]. Десятки химических элементов и радиоактивных изотопов уже сегодня находят применение в диагностике или терапии различных заболеваний, и этот ряд непрерывно растёт (рис. 15) [16].

Радиоактивные изотопы отличаются по характеру излучения (альфа-, бета-распад или жёсткие гамма-кванты), широко варьируется период их полураспада (от минут и часов до многих лет), и, конечно, каждый из методов ядерной медицины имеет свою специфику. Так, в позитронно-эмиссионной томографии в качестве позитрон-излучающих изотопов используют углерод-11 ($T_{1/2} = 20.4$ мин.); азот-13 ($T_{1/2} = 9.96$ мин.); кислород-15 ($T_{1/2} = 2.03$ мин.); а также фтор-18 ($T_{1/2} = 109.8$ мин.).

ПЭТ-сканирование с использованием фтор-дезоксиглюкозы (рис. 16а) широко используется в клинической онкологии. Метод основан на том, что быстрорастущие клетки опухоли интенсивно потребляют глюкозу, что позволяет зарегистрировать при помощи ПЭТ-сканера участки накопления препарата. Препарат на основе метастабильного 99-технеция позволяет выявить функциональные нарушения в деятельности сердечной мышцы (рис. 16б). Для визуализации рака простаты эффективен препарат на основе галлия-68 (рис. 16в), который образует комплекс со специфическим пептидом. Метод ПСМА (простатический специ-

фический мембранный антиген) ПЭТ с галлием-68 позволяет классифицировать рак простаты на любой стадии.

И, конечно, новые горизонты открывают достижения альфа-терапии с использованием актиния-225, преимущество которого состоит в распаде с выделением 4 альфа-частиц.

К ядерной медицине относится также метод бор-нейтронозахватной терапии, в основе которого лежит уникальная способность ядер бора-10 к захвату нейтронов (рис. 17).

Мы видим, какой широкий круг элементов (металлы, неметаллы, радиоизотопы) находит применение в медицине. Даже инертным газам, которые, как известно, обладают наркотическим эффектом, отводится важное место в лечебной практике. По силе своего воздействия наркотический эффект благородных газов убывает в следующем ряду: ксенон-54 – криптон-36 – аргон-18 – неон-10 – гелий-2. Известно также, что гелий в смеси с кислородом используется в медицине для лечения бронхиальной астмы и других заболеваний дыхательных путей.

Полимеры в медицине. В жизни нас всё в большей мере окружают изделия из полимерных материалов. Конечно, они проникли и в медицину, где используются для изготовления протезов костей, зубов, искусственных клапанов, сосудов, других медицинских изделий и материалов [17]. Особое значение имеют биodeградируемые полимеры, которые используются для производства

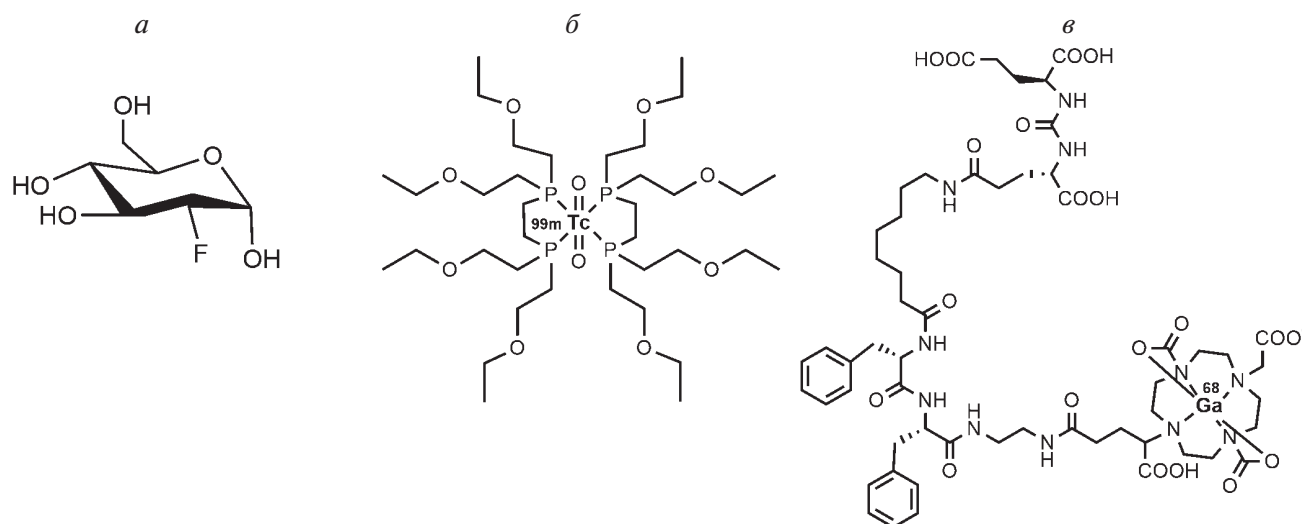


Рис. 16. Примеры радиоактивных веществ, используемых в ядерной медицине:

a — фтордезоксиглюкоза (радиоактивный индикатор — ^{18}F); *b* — препарат на основе метастабильного технеция-99; *c* — препарат на основе галлия-68

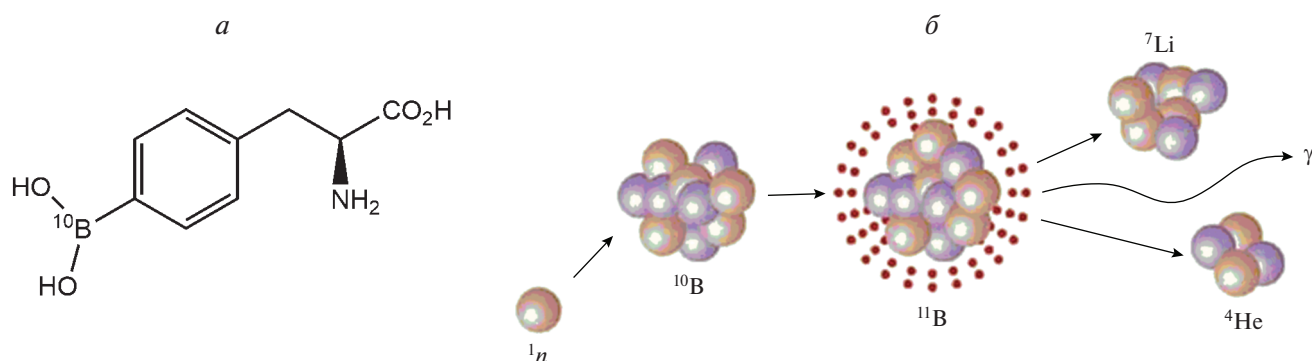


Рис. 17. Иллюстрация метода бор-нейтронозахватной терапии:

a — структура L-борфенилаланина — ^{10}B -содержащего препарата; *b* — схема захвата нейтронов соединениями бора, ведущего к выделению гамма-квантов и разрушению опухоли

рассасываемых хирургических нитей и других медицинских материалов. Большинство из них относится к полимерам органической природы, таким как поливинилпирролидон, карбоксилатные сополимеры, сульфовинол, сульфодекстран, N-окись поливинилпиридина [18].

Известны комплексы полимеров с йодом, которые обладают высокой бактерицидной активностью. Их применяют как в виде водных растворов, так и в виде гелей, пленок, нитей. Препарат *йодинол* (раствор йодного комплекса поливинилового спирта) используется в медицине и ветеринарии, а йодные комплексы поливинилпирролидона служат эффективными антисептиками.

Важно также отметить особую роль веществ, содержащих кремний, учитывая близость кремния к углероду и совместимость этих веществ с

биотканями. Полимеры на основе кремнийорганических соединений — олиго- и полиорганосилоксаны используются в пластической хирургии, как имплантаты, шунты и катетеры, в виде силиконовых жидкостей и как антикоагулянты.

* * *

В заключение хотелось бы отметить, что невозможно переоценить роль всех химических элементов (более 80) и соединений на их основе, применяемых в современной лечебной практике. Тем более что медицина давно уже не ограничивается использованием экстрактов природных органических соединений, построенных из органических элементов (что было характерно для

медицины в древности), или их использованием в чистом виде.

В последние десятилетия сформировалось новое междисциплинарное направление науки — медицинская химия. Устойчивое существование и интенсивное развитие данного направления обусловлено активным выходом на мировой фармацевтический рынок низкомолекулярных лекарственных препаратов, полученных химическим путём.

В арсенале современных лекарственных средств доминируют синтетические или полусинтетические препараты как органической, так и неорганической природы. В целом грань между органической и неорганической ветвями медицинской химии постепенно стирается, вовлекая в медицинскую диагностику и терапию все большее разнообразие химических элементов и соединений на их основе.

Сегодня перед научным сообществом стоят новые вызовы, связанные с возникновением резистентности к антибиотикам, появлением новых и мутацией известных вирусов. Это, в свою очередь, диктует необходимость уделять большее внимание развитию органического синтеза и медицинской химии, а также консолидировать усилия химиков, биологов и фармакологов в рамках междисциплинарных программ, чтобы общими усилиями найти адекватные ответы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Популярная библиотека химических элементов / Под ред. И.В. Петрянова-Соколова. 2-е изд., в 2 кн. М.: Наука, 1977.
2. Нельсон Д., Кокс М. Основы биохимии Ленинджера. В 3-х томах. М.: Лаборатория знаний, 2019.
3. Биохимия человека / Под ред. Р. Марри, Д. Греннера, П. Мейеса, В. Родуэлла. М.: Мир, 2004.
4. Уильямс Д. Металлы жизни. М.: Мир, 1975.
5. Биологическая неорганическая химия / Под ред. И. Бертини. В 2-х томах. М.: БИНОМ, 2013.
6. Солдатенков А.Т., Колядина Н.М., Шендрик И.В. Основы органической химии лекарственных веществ. М.: БИНОМ, 2007.
7. Граник В.Г. Основы медицинской химии. М.: Вызовская книга, 2001.
8. Pozarskii A.F., Soldatenkov A.T., Katritzky A.R. Heterocycles in Life and Society. An Introduction to Heterocyclic Chemistry, Biochemistry and Applications. John Wiley and Sons, 2011.
9. Пожарский А.Ф., Солдатенков А.Т. Молекулы — перстни. М.: Химия, 1993.
10. Гудман М., Морхауз Ф. Органические молекулы в действии. М.: Мир, 1977.
11. Fluorine in Heterocyclic Chemistry. V. I and II / Ed. V. Nenajdenko. Heidelberg-New York-Dodrecht-London: Springer, 2014.
12. Чарушин В.Н., Носова Э.В., Липунова Г.Н., Чунахин О.Н. Фторхинолоны. Синтез и применение. М.: Физматлит, 2014.
13. Medicinal Inorganic Chemistry / Eds. J.L. Sessler, S.R. Doctrow, T.J. McMurtry, S.J. Lippard. New York: Acad. Press. 2004.
14. Dabrowiak J.C. Metals in Medicine. New York: Wiley, 2009.
15. Биометаллоорганическая химия / Под ред. Ж. Жаузена. М.: БИНОМ, 2017.
16. Бекман И.Н. Ядерная медицина. Физические и химические основы. М.: Юрайт, 2018.
17. Марычев С.Н., Калинин Б.А. Полимеры в медицине. Владимир: ВГУ, 2001.
18. Полимеры в биологии и медицине / Под ред. М. Дженкинса. М.: Научный мир, 2011.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В КОСМОСЕ

© 2020 г. А. А. Лутовинов

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

E-mail: lutovinov@iki.rssi.ru

Поступила в редакцию 03.02.2020 г.

После доработки 22.02.2020 г.

Принята к публикации 25.02.2020 г.

Астрофизические наблюдения дают учёным важнейшую информацию о процессах и “темпах производства” элементов в природе, их обилию во Вселенной. Самые лёгкие элементы периодической таблицы: водород, гелий и частично литий появились в первые секунды после рождения Вселенной. Из них “собрались” первые звёзды, в процессе эволюции обогатившие Вселенную более тяжёлыми элементами, с участием которых впоследствии сформировались “современные” звёзды, которые, в свою очередь, служат естественными фабриками синтеза тяжёлых элементов не только на протяжении своей жизни, но и при гибели, во время вспышек сверхновых. Недавнее открытие слияния нейтронных звезд и последующие исследования его послесвечения позволили выяснить особенности процесса образования во Вселенной сверхтяжёлых элементов вплоть до золота и урана.

Ключевые слова: звёзды, эволюция, термоядерное горение, сверхновые, слияния нейтронных звёзд.

DOI: 10.31857/S0869587320040076

В изначальной модели Большого взрыва, идейным вдохновителем которой был Г. Гамов [1], предполагалось, что большинство известных химических элементов возникло в первые минуты после Большого взрыва. Однако довольно скоро стало понятно, что эта теория сталкивается с серьёзными и непреодолимыми трудностями — отсутствие в природе стабильных элементов с массами 5 и 8 не позволяло, судя по расчётам, произвести в имеющихся в те минуты условиях более тяжёлые элементы. Для этого требовались другие физические условия, другие объекты, и этими объектами стали первые звёзды, которые и стали первыми фабриками тяжёлых элементов.



ЛУТОВИНОВ Александр Анатольевич — доктор физико-математических наук, профессор РАН, заместитель директора по научной работе ИКИ РАН.

Таким образом, согласно современным представлениям, в первые минуты после рождения Вселенной появились лишь водород, гелий и немного лития, а большинство остальных элементов Периодической системы — продукт звёздного нуклеосинтеза, теория которого впервые была сформулирована в работе [2]. Звёзды служат естественными фабриками по производству тяжёлых элементов (вплоть до элементов группы железа) не только на протяжении своей жизни, но и в момент своей гибели, во время вспышек сверхновых. В свою очередь, вспышки сверхновых — это мощнейшие фабрики по производству ещё более тяжёлых элементов. Недавнее открытие слияния нейтронных звезд [3] и последующие исследования его послесвечения позволили установить особенности процесса образования во Вселенной сверхтяжёлых элементов вплоть до золота и урана.

Кратко рассмотрим этапы эволюции звёзд разных типов, а также представим результаты наблюдений, показывающих, как и с помощью каких инструментов астрофизикам удаётся достаточно точно определять качественный и количественный состав элементов во Вселенной.

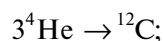
Образование звёзд и звёздный нуклеосинтез. По разным оценкам, первые звёзды сформировались спустя 300–400 млн лет после Большого взрыва,

хотя некоторые астрофизики считают, что это произошло гораздо раньше — уже через 30–70 млн лет. Первые звёзды должны были быть очень большими, по некоторым оценкам их массы могли достигать 300 или даже 500 масс Солнца (для сравнения: большинство современных звёзд представляют собой объекты с массами сопоставимыми с солнечной или меньше её). Они были чрезвычайно яркими и светили в миллионы раз ярче Солнца. Время жизни первых звёзд составляло несколько миллионов лет, они очень быстро прогорали и в финале своего существования взрывались сверхновыми.

Вспышки первых сверхновых стали важной вехой в эволюции Вселенной, приведя к её “загрязнению” углеродом, кислородом, азотом, железом и другими элементами (в астрономии элементы тяжелее водорода и гелия называют металлами). Все звёзды последующих поколений формировались из газовых облаков, содержащих металлы, источником которых стало, по крайней мере, одно поколение звёзд, взрывающихся в виде сверхновых. Появление металлов в ранней Вселенной изменило условия последующего звездообразования. В присутствии металлов или пыли облака газа стали охлаждаться более эффективно, что привело к возможности коллапса более мелких облаков и, следовательно, к образованию звёзд меньших масс.

Считается, что источником энергии излучения звёзд и их огромной светимости выступают термоядерные реакции, протекающие в их недрах. Суть заключается в том, что в ядре звезды из-за огромных давлений и температур создаются оптимальные условия для реакций термоядерного синтеза и образования новых элементов. В самой первой, самой длинной фазе горит водород, в итоге образуется гелий. В результате такой ядерной реакции 4 протона (или ядра водорода) сливаются, формируя ядро гелия. На последующей стадии горения два ядра гелия (α -частицы) превращаются в бериллий ${}^8\text{Be}$, время жизни которого чрезвычайно мало ($\sim 10^{-15}$ с). Однако в плотном и горячем ядре звезды этого времени может оказаться достаточным для того, чтобы образовавшийся бериллий успел захватить ещё одну α -частицу, превращаясь в углерод в так называемом тройном α -процессе. Посредством дополнительных захватов α -частиц ядра углерода превращаются в кислород. Примеры таких реакций приведены ниже:

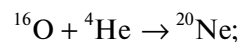
3 атома гелия, сливающиеся с образованием атома углерода:



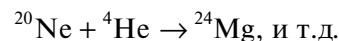
атом углерода + атом гелия, сливающийся с образованием атома кислорода:



атом кислорода + атом гелия, сливающийся с образованием атома неона:



атом неона + атом гелия, сливающийся с образованием атома магния:



Таким образом, в результате процессов звёздного нуклеосинтеза образуются все элементы Периодической таблицы, вплоть до железа, которое имеет наибольшую энергию связи на один нуклон. Как только в центре массивной звезды образуется железное ядро, нуклеосинтез прекращается, становится невозможным получение энергии путём дальнейших ядерных реакций, и звезда лишается источника энергии, необходимого для её существования. Как следствие, она больше не может поддерживать состояние равновесия и начинает разрушаться под действием собственной гравитации — происходит коллапс, сопровождающийся гигантской вспышкой сверхновой.

Как уже отмечено, такова была судьба самых первых массивных звёзд. Такова судьба массивных звёзд и в наши дни. Существенное отличие в том, что “современные” массивные звёзды могут иметь массу, в 20–30 раз превышающую массу Солнца, что позволяет в результате финального коллапса образовать так называемую нейтронную звезду — чрезвычайно плотный объект (плотность в центре может превышать ядерную в несколько раз) размером в 10–20 км и массой 1.2–2.0 массы Солнца. Существование последних оказывается чрезвычайно важным для производства тяжёлых элементов во Вселенной.

Вместе с тем характерное время жизни звёзд меньших масс (несколько масс Солнца) составляет миллиарды лет. Внутренних температур и давлений в таких объектах оказывается недостаточно для запуска реакций производства тяжёлых элементов, поэтому, как правило, большая часть реакций заканчивается на образовании углерода. Таким образом, в конце своей долгой жизни звёзды с малой массой превращаются в белые карлики (объекты, состоящие практически полностью из углерода с небольшой примесью кислорода и, возможно, неона, имеющие радиус в несколько тысяч километров и предельно возможную массу — 1.4 массы Солнца, так называемый предел Чандрасекара). Если белый карлик находится в двойной системе с обычной звездой, и происходит перетекание вещества от этой звезды к белому карлику, то масса последнего растёт и в какой-то момент может превысить предел Чандрасекара,

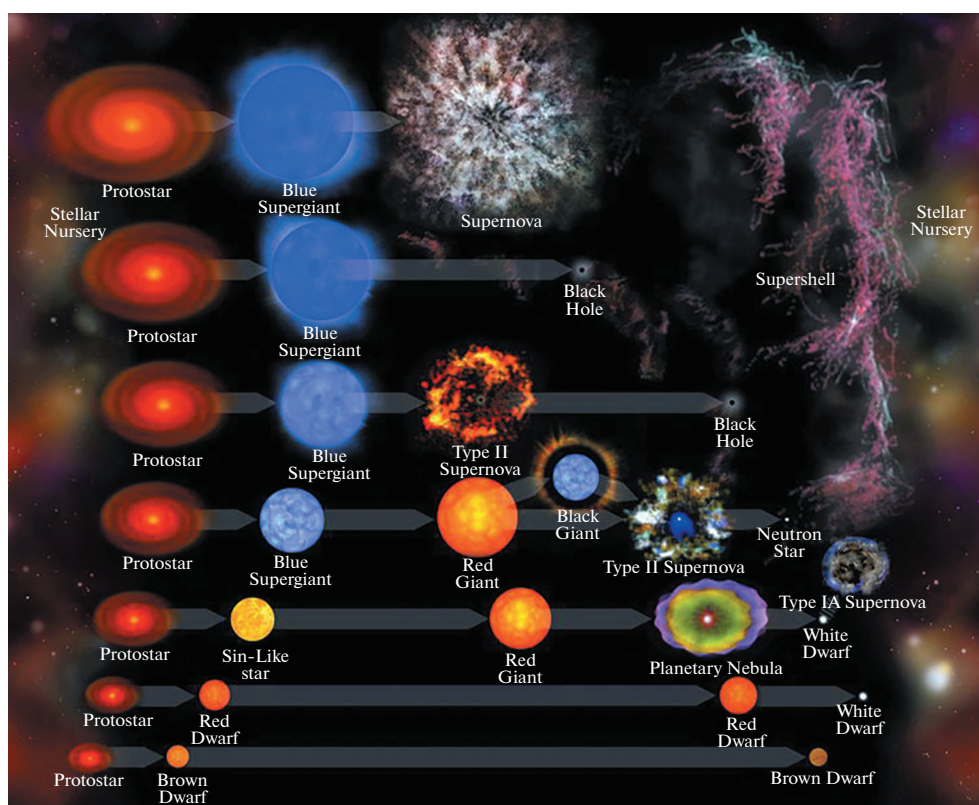


Рис. 1. Эволюция звёзд в зависимости от их начальной массы

Источник: Credit: NASA/CXC/M.Weiss.

что приведёт к коллапсу белого карлика и термоядерному взрыву. В итоге вспыхнет сверхновая типа Ia, в процессе взрыва которой будут синтезированы тяжёлые элементы. Учитывая преобладание в современной Вселенной звёзд малой массы, считается, что железо производится в основном в ходе именно этого процесса, а не в результате взрыва массивных звёзд, как в ранней Вселенной. Схематически эволюция звёзд разных масс показана на рисунке 1.

Появление в ранней Вселенной тяжёлых элементов кардинально изменило условия для последующего звездообразования. Из ядерной физики известно, что элементы тяжелее железа образуются посредством захвата нейтронов затравочными ядрами, если окружающая среда обогащена нейтронами. Такие условия могут возникать при определённых видах взрывов сверхновых. Например, если ядра железа чрезвычайно быстро бомбардируются большим количеством нейтронов до β -распада ядер, их ядра захватывают больше нейтронов, создавая тяжёлые, богатые нейтронами и нестабильные изотопы, которые потом превращаются в новые, более тяжёлые элементы. Из-за быстрой бомбардировки этот процесс называется r -процессом. Приблизительно половина всех стабильных изотопов элементов,

более тяжёлых, чем цинк, производится таким образом.

Другая часть изотопов тяжёлых элементов создаётся в так называемом s -процессе, где более медленная нейтронная бомбардировка (в течение более длительного периода времени, чем процесс β -распада) приводит к последовательному накоплению тяжёлых элементов. Этот процесс происходит в пульсирующих внешних оболочках некоторых звёзд — красных гигантов.

Вспышки сверхновых — механизм генерации новых элементов. Как уже сказано, взрыв сверхновой — финальная стадия существования звезды, при которой её ядро коллапсирует под действием гравитации, а выделившаяся энергия выбрасывает внешнюю оболочку в пространство вместе с образовавшимися в ходе жизни звезды химическими элементами. Наиболее убедительным свидетельством правильности понимания процессов, происходящих в недрах звёзд, служит регистрация излучения от распада различных радиоактивных элементов, образующихся во время вспышек сверхновых. В частности, впервые распад радиоактивного никеля ^{56}Ni в кобальт ^{56}Co и далее в железо ^{56}Fe был зарегистрирован в сверхновой SN1987A, вспыхнувшей в ближайшей к нам галактике Большое Магелланово облако в

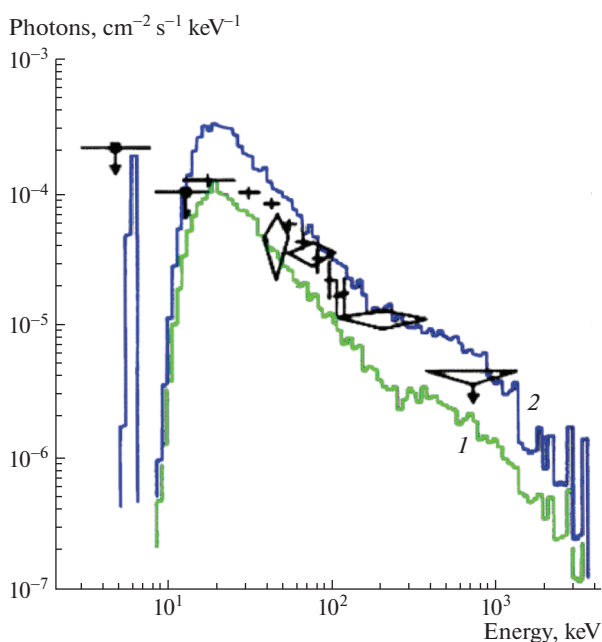


Рис. 2. Спектр сверхновой SN1987A, измеренный обсерваторией “Рентген” (крестики, ромбы). Гистограммами показаны результаты теоретических предсказаний спектра источника через 180 (обозначена цифрой 1) и 240 (обозначена цифрой 2) дней после вспышки

Источник: [4].

феврале 1987 г. Как показывали теоретические расчёты, гамма-излучение, обусловленное распадом радиоактивного кобальта ^{56}Co , образовавшегося во время взрыва, должно выходить наружу сквозь расширяющуюся оболочку примерно через полгода после взрыва. Наблюдения, проведённые в августе 1987 г. советской обсерваторией “Рентген”, установленной на модуле “Квант” орбитальной станции “Мир”, позволили впервые зарегистрировать жёсткое рентгеновское из-

лучение из области сверхновой SN1987A, с высокой точностью измерить её спектр и получить оценки количества произведённого во время вспышки сверхновой радиоактивного никеля и кобальта (рис. 2) [4].

Спустя 25 лет сверхновая SN1987A вновь подарила российским учёным открытие. На этот раз от остатка её вспышки удалось зарегистрировать излучение в линиях распада радиоактивного титана ^{44}Ti , имеющего период полураспада ~ 85 лет. Измерения были проведены с помощью орбитальной обсерватории “Интеграл” — её инструменты позволили зарегистрировать жёсткое рентгеновское излучение от этого остатка в линиях радиоактивного распада ^{44}Ti на энергиях 67.9 и 78.4 кэВ (рис. 3) [5]. Это стало первым прямым доказательством образования титана в момент взрыва уникальной сверхновой. Измеренные потоки излучения на этих энергиях соответствуют массе синтезированного ^{44}Ti около 0.0002 массы Солнца, что вполне достаточно для объяснения её оптического и ультрафиолетового излучения, наблюдавшегося в течение последних 30 лет.

Если сверхновая SN1987A относится к так называемым сверхновым II типа — они образуются в результате коллапса массивной звезды, которая уже сильно проэволюционировала, и в её недрах в результате реакций термоядерного горения образовались многие тяжёлые элементы, то для сверхновых типа Ia процесс их возникновения до недавнего времени не был столь очевидным. Как уже отмечено выше, сверхновые типа Ia — это результат термоядерного взрыва углеродно-кислородного белого карлика. После взрыва происходит та же цепочка распадов, что и при коллапсе массивной звезды: радиоактивный никель ^{56}Ni превращается в кобальт ^{56}Co , который затем распадается в железо, в ходе чего рождаются многочисленные гамма-фотоны. За более полувека космической эры доступными для современных исследовате-

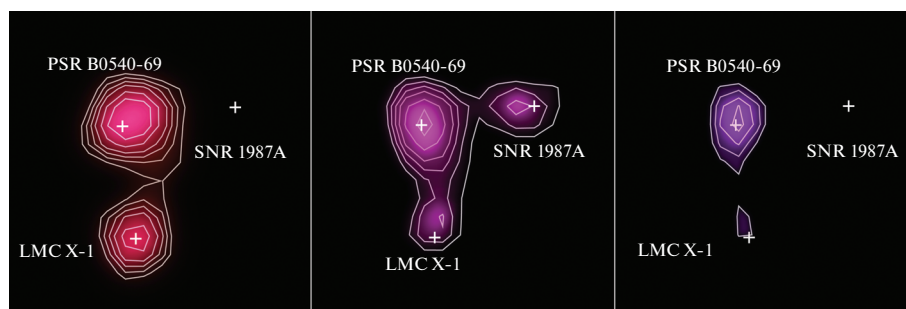


Рис. 3. Изображения участка неба, содержащего остаток вспышки сверхновой SN1987A по данным обсерватории “Интеграл” в разных энергетических диапазонах

Средняя панель соответствует диапазону энергий 65–82 кэВ, включающего обе линии распада радиоактивного титана ^{44}Ti

Источники: [5] и сайт ЕКА.

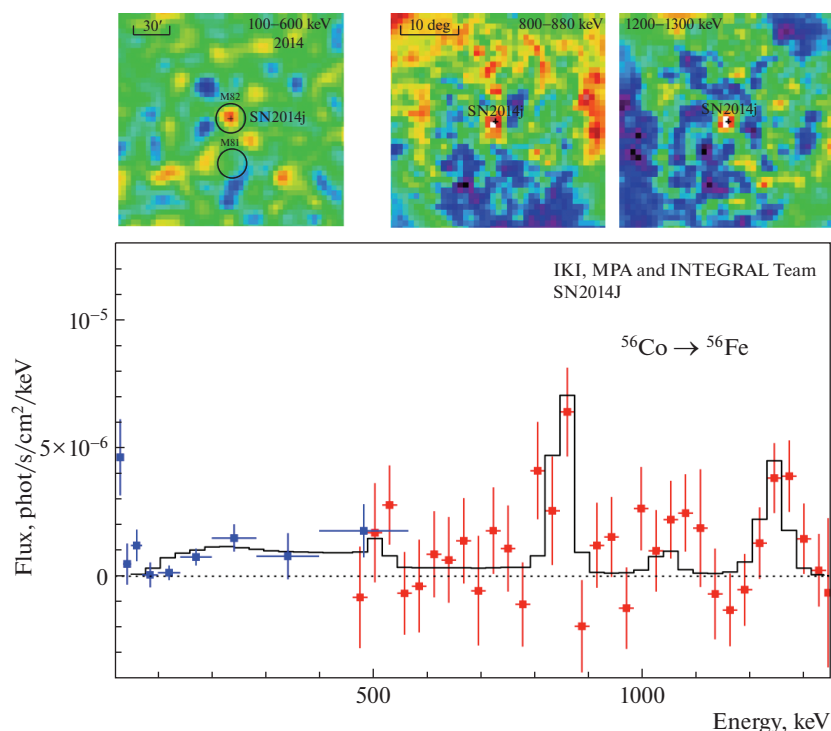


Рис. 4. Наблюдения обсерватории “Интеграл” сверхновой SN2014J

Источники: Credit: ИКИ РАН / Е. Чуразов, см. также [6].

лей средствами наблюдения не зафиксировано ни одного взрыва сверхновой типа Ia ни в одной из ближайших к нам галактик, поэтому вышесказанное оставалось на уровне теоретических расчётов и предположений.

Ситуация изменилась в январе 2014 г., когда в галактике M82 вспыхнула сверхновая SN2014J, относящаяся к типу Ia. Эта галактика расположена достаточно близко к Земле (11 млн световых лет), что позволило обсерватории “Интеграл” впервые напрямую обнаружить излучение от сверхновой и полностью подтвердить теоретическую концепцию, рассматривающую сверхновые типа Ia как гигантские термоядерные взрывы. В частности, наблюдения обсерватории “Интеграл” позволили надёжно зарегистрировать излучение в двух наиболее мощных гамма-линиях распада радиоактивного кобальта ^{56}Co на энергиях 847 и 1237 кэВ, а также континуум на энергии в сотни кэВ (рис. 4). Измеренный поток излучения свидетельствует, что в процессе взрыва была синтезирована масса радиоактивного никеля, составляющая около 0.6 массы Солнца [6].

Слияние нейтронных звёзд — эффективный путь обогащения Вселенной тяжёлыми элементами. Как уже упоминалось, нейтронные звёзды представляют собой конечный этап эволюции массивных звёзд. Они чрезвычайно компактны и имеют плотность, в несколько раз превышающую ядер-

ную. Точное уравнение состояния вещества при таких экстремальных условиях пока не известно, решить его — одна из ключевых задач не только современной астрофизики, но и фундаментальной физики в целом.

Если в ходе эволюции массивной двойной системы и последовательных вспышек сверхновых система не разрушится, то могут образоваться две нейтронные звёзды, которые будут вращаться друг вокруг друга. При этом они будут постепенно сближаться, теряя энергию в виде излучающихся гравитационных волн [7]. Такая система может существовать сотни миллионов лет, пока звёзды не сблизятся настолько, что под действием сил притяжения и приливных сил не начнут разрушаться и не произойдёт процесс слияния, который будет сопровождаться вспышкой гравитационно-волнового излучения и коротким гамма-всплеском. При этом во время слияния нейтронных звёзд может образоваться значительное количество тяжёлых элементов [8].

Впервые такое событие было зарегистрировано 17 августа 2017 г., когда гравитационно-волновой сигнал был сначала обнаружен установками LIGO (США) и Virgo (Италия), а через ~ 1.7 с после этого орбитальные обсерватории “Интеграл” (ЕКА) и Fermi (НАСА) наблюдали короткий гамма-всплеск (рис. 5) [3, 9]. Практически сразу же стало понятно, что оба сигнала представ-

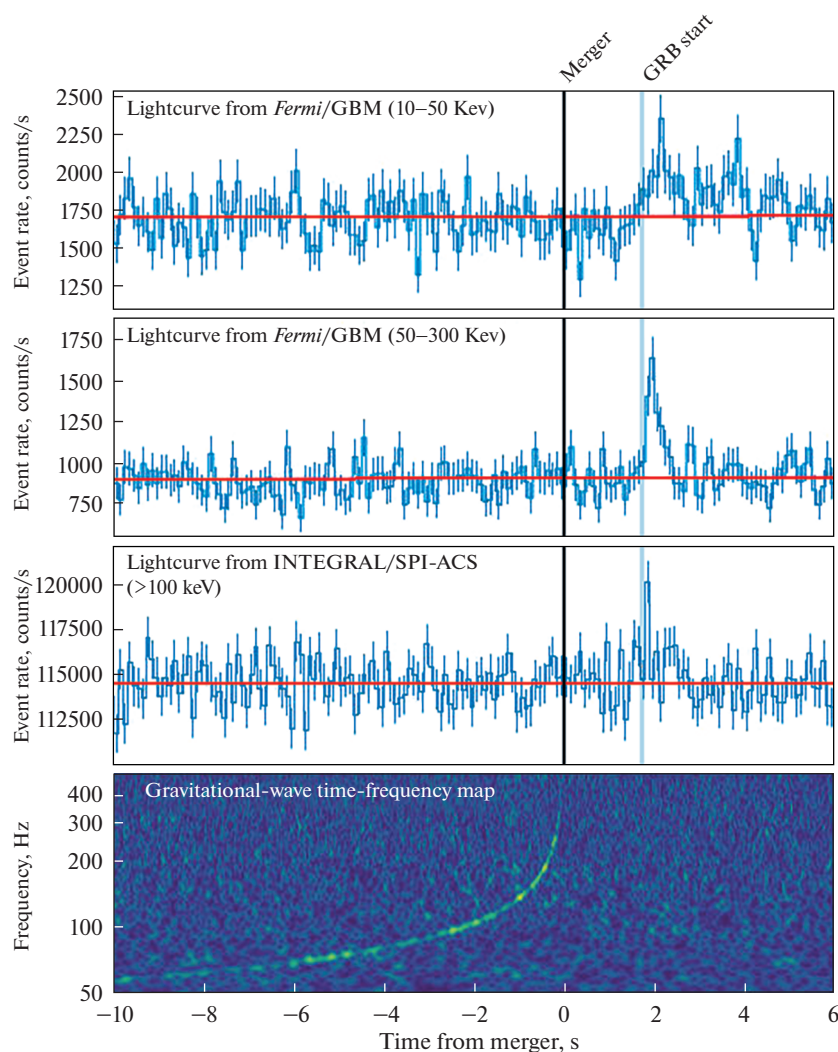


Рис. 5. Регистрация гравитационно-волнового события GW170817 (нижняя панель) и одновременного короткого гамма-всплеска

Два верхних графика отражают данные космической гамма-обсерватории *Fermi*, третий сверху график — данные обсерватории «Интеграл». Чёрная вертикальная линия — момент слияния нейтронных звёзд, серая вертикальная линия — момент регистрации гамма-излучения. По горизонтали — время от момента слияния в секундах.

Источник: [3].

ляют собой разные проявления одного и того же события, связанного со столкновением двух нейтронных звёзд. Менее чем через 11 ч. после этого оптические телескопы позволили обнаружить новый объект на краю близкой к нам галактики NGC4993 и установить, что событие слияния нейтронных звёзд произошло на расстоянии примерно 130 млн световых лет от нас.

Теоретические расчёты показывали, что во время такого слияния небольшая часть вещества нейтронной звезды будет выброшена в окружающее пространство, а благодаря огромной концентрации нейтронов в этом облаке выброшенного вещества будет происходить синтез тяжёлых эле-

ментов. Проведённые наблюдения блестяще подтвердили эту гипотезу, позволили диагностировать наличие тяжёлых элементов в остатках от слияния. Так, наблюдения, выполненные крупнейшими обсерваториями мира, в частности, *Gemini* (США), европейским Очень Большим Телескопом (VLT) и космическим телескопом им. Хаббла (HST), показали наличие недавно синтезированного материала, включая золото и платину, а также ряд радиоактивных элементов, таких как уран, тем самым давая ответ на загадку многих десятилетий, как в космосе синтезируется около половины всех элементов тяжелее железа [10].

В докладе использованы материалы и иллюстрации с сайтов НАСА, ЕКА, LIGO/Viro Caltech, ИКИ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Alpher R.A., Bethe H., Gamov G.* The Origin of Chemical Elements // *Phys. Rev.* 1948. V. 73. P. 803–804.
2. *Burbidge E., Burbidge G., Fowler W., Hoyle F.* Synthesis of the Elements in Stars // *Reviews of Modern Physics.* 1957. V. 29. P. 547–650.
3. *Abbott B.P. et al.* Gravitational Waves and Gamma-Rays from a Binary Neutron Star Merger: GW170817 and GRB 170817A // *The Astrophysical Journal Letters.* 2017. V. 848. L13.
4. *Sunyaev R., Kaniovsky A., Efremov V. et al.* Discovery of hard X-ray emission from supernova 1987A // *Nature.* 1987. V. 330. P. 227–229.
5. *Grebenev S.A., Lutovinov A.A., Tsygankov S.S., Winkler C.* Hard X-ray emission lines from the decay of ^{44}Ti in the remnant of supernova 1987A // *Nature.* 2012. V. 490. P. 373–375.
6. *Churazov E., Sunyaev R., Isern J. et al.* ^{56}Co gamma-ray emission lines from the type Ia supernova SN2014J // *Nature.* 2014. V. 512. P. 406–408.
7. *Taylor J.H.* Nobel Prize Lecture. 1993. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1993/taylor/lecture/>
8. *Eichler D., Livio M., Piran T., Schramm D.N.* Nucleosynthesis, neutrino bursts and γ -rays from coalescing neutron stars // *Nature.* 1989. V. 340. P. 126–128.
9. *Savchenko V., Ferrigno C., Kuulkers E. et al.* Integral Detection of the First Prompt Gamma-Ray Signal Coincident with the Gravitational-wave Event GW170817 // *The Astrophysical Journal Letters.* 2017. V. 848. L15.
10. *Metzger B.* arXiv:1710.05931. 2017. <https://arxiv.org/abs/1710.05931>

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”

ЗЕЛЁНАЯ ХИМИЯ И ХЕМОФОБИЯ

© 2020 г. Н. П. Тарасова^{a,b,*}, А. С. Макарова^{a, **}

^a Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

^b Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

*E-mail: tarasnp@muctr.ru

**E-mail: annmakarova@mail.ru

Поступила в редакцию 30.11.2019 г.

После доработки 09.01.2020 г.

Принята к публикации 20.01.2020 г.

Проблема хемофобии обусловлена всё возрастающей химической нагрузкой на окружающую среду, с одной стороны, и недостаточным уровнем химической грамотности населения — с другой. В статье, подготовленной по материалам доклада на научной сессии Общего собрания членов РАН 14 ноября 2019 г., приводятся данные социологических исследований, раскрывающие отношение к химии в различных странах. Эффективным средством преодоления хемофобии и её разновидности — агрохемофобии может стать зелёная химия. Это не новое неизвестное ранее направление. Скорее, компактная формулировка принципов мышления хорошо подготовленного и социально ответственного химика — учёного или технолога. Последний тезис подтверждается активным практическим использованием подходов зелёной химии промышленностью, в том числе российской. Однако не только бизнес-сообщество, но и политики самого высокого уровня стараются придерживаться этого способа мышления. Организацией Объединённых Наций отмечено, что зелёная химия — ключевое направление развития науки.

Ключевые слова: Периодическая таблица химических элементов, планетарные границы, хемофобия, зелёная химия, химические вещества, химическая грамотность.

DOI: 10.31857/S0869587320040131

Организация Объединённых Наций провозгласила 2019 год Международным годом Периодической таблицы химических элементов, подчёркивая,



ТАРАСОВА Наталия Павловна — член-корреспондент РАН, заведующая кафедрой ЮНЕСКО “Зелёная химия для устойчивого развития” РХТУ им. Д.И. Менделеева. МАКАРОВА Анна Сергеевна — доктор технических наук, доцент кафедры ЮНЕСКО “Зелёная химия для устойчивого развития” РХТУ им. Д.И. Менделеева..

что ровно 150 лет назад, в 1869 г., великий русский учёный Дмитрий Иванович Менделеев опубликовал свою первую схему Периодической таблицы в журнале Русского химического общества [1]. Периодический закон Д.И. Менделеева, как и его графическая иллюстрация — Периодическая таблица химических элементов, расширил границы химии, прочно соединив все естественнонаучные, точные и гуманитарные представления о нашем меняющемся мире в единую целостную систему, указав направление движения научного познания. Всеобщий характер периодических процессов в природе открывает безграничные возможности их использования для изучения физических, биологических, астрономических проблем, эффективного решения задачи интеграции естественнонаучных знаний.

Мероприятия в рамках Международного года Периодической таблицы химических элементов значительно оживили интерес к химии, показав её значение для современного общества, и ярко продемонстрировали роль фундаментальной нау-

ки и естественнонаучного образования в достижении Целей устойчивого развития. Дома, одежда, пища, лекарства, да и сами люди существуют благодаря сложной совокупности химических превращений. Цемент и бетон — это химия, отбеливание и окрашивание тканей, даже натуральных, — это тоже химия, при росте любого растения протекают сложные процессы образования и деградации химических веществ, жизнь как таковая — цепь биохимических реакций. Естественно, у каждого разумного человека возникает вопрос: “Как можно не любить химию, если химия — это то, что представляет собой наш мир и мы сами?”. Тем не менее хемофобия — объективная реальность, и никакие мероприятия, которых было особенно много в Международный год Периодической таблицы химических элементов (они прошли в Конгрессе США, Европейском парламенте, во Франции, провозгласившей 2019-й годом химии, в нашей стране, где День российский науки проводился под знаком химии), не могут преодолеть эти страхи. Так что же такое хемофобия? Какие объективные причины способствовали её возникновению?

По нашему мнению, хемофобия (иррациональная боязнь химических соединений) связана с особенностями развития человеческой цивилизации, её прогрессом, при котором деятельность человека (в том числе направленная на совершенствование химической промышленности) стала оказывать значимое влияние на окружающий мир [2]. Современная эпоха даже получила новое название — антропоцен [3]. По различным оценкам, человек разумный появился на Земле около 70–100 тыс. лет назад. За это время из существа, приспосабливающегося к природным условиям, он превратился в мощную преобразующую силу, оказывающую давление на процессы в окружающей среде. Начавшаяся в XVIII в. промышленная революция, которая заключалась в массовом переходе от аграрного общества к индустриальному, сопровождалась урбанизацией и демографическими изменениями. Человек развернул масштабную деятельность, при этом остро встал вопрос о его влиянии на состояние биосферы и судьбу планеты. По образному выражению В.И. Вернадского, “человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой”. Это привело прежде всего к экспоненциальному росту численности народонаселения и, как следствие, к изменениям в окружающей среде: увеличению концентрации CO₂, уменьшению биоразнообразия, нарушению циклов биогенных элементов — азота и фосфора. Повышая урожайность сельскохозяйственных культур, защищая их от вредителей, получая новые материалы и продукты, развивая транспорт, создавая медикаменты, человечество наносило непреднамеренный вред планете. В связи с этим в 1960–1970-

е годы стали появляться научные работы, посвящённые истощаемости природных ресурсов и отрицательному влиянию человеческой деятельности на окружающую среду. По данным некоммерческих организаций Всемирный экологический след (Global Footprint Network) и Всемирный фонд дикой природы (World Wildlife Fund), на протяжении более чем 40 лет, начиная с 1970 г., потребление природных ресурсов превышало способность нашей планеты к их воспроизводству. Это породило дефицит биоёмкости — возможности экосистем Земли производить определённые биологические материалы и утилизировать отходы антропогенной деятельности. По оценкам экологов, в 2018 г. потребности человечества превосходили возможности природы в 1.5 раза. В 2019 г. ресурсы Земли, рассчитанные на год, были исчерпаны 29 июля. При сохранении данной тенденции для удовлетворения потребностей человечества к 2050 г. потребуется уже три планеты Земля.

Логическим продолжением накопления научных знаний стала концепция устойчивого развития, согласно которой экономическое и социальное развитие должно сочетаться с сохранением живой природы: защитой структуры, функций и разнообразия природных систем Земли. В научный обиход вошло понятие “планетарные границы” [4]. Это направление активно развивается последние 10 лет. Описано девять планетарных границ, в том числе изменение климата, потеря биоразнообразия, изменение экосистем суши [5]. Для большинства границ были установлены численные значения. Однако все попытки количественно определить пределы химического загрязнения и содержания аэрозолей в атмосфере пока результатов не дали [6]. Не удастся вычислить, какое количество загрязняющих веществ может привести к необратимым изменениям в биосфере, какова судьба аэрозолей и каков предел их содержания в атмосфере, безопасный для планеты. Эту неопределённость, по нашему мнению, можно рассматривать как одну из причин расцвета хемофобии.

В марте 2019 г. на 4-й сессии Ассамблеи ООН по окружающей среде в Найроби был представлен отчёт “Глобальная перспектива в области химических веществ — II: от устаревших методов к инновационным решениям”, основной вывод которого звучал так: “Глобальная цель по сведению к минимуму неблагоприятного воздействия химических веществ и отходов не будет достигнута к 2020 году. Эта задача может быть решена, но для этого требуются безотлагательные и более масштабные действия всех заинтересованных сторон по всему миру” [7].

Отметим, что в 2018 г. в мировом торговом обороте находилось от 40000 до 60000 промыш-



Рис. 1. Результаты опроса в Великобритании (выборка 2104 респондентов) [10]

ленных химических веществ, причём на долю 6000 из них приходилось более 99% от общего объёма мирового рынка. Согласно данным Европейского агентства по окружающей среде за 2018 г., около 62% от общего объёма химических веществ, потреблённых в Европе в 2016 г., представляли опасность для здоровья. С 2000 по 2017 г. мировой производственный потенциал химической промышленности (за исключением фармацевтических препаратов) вырос почти в 2 раза — примерно с 1.2 до 2.3 млрд т. С учётом лекарственных средств совокупный объём продаж в 2017 г. составил 5.68 трлн долл. США, что ставит химическую промышленность на второе место в мире среди обрабатывающих отраслей. Согласно прогнозам, с 2017 по 2030 г. данный показатель практически удвоится. При этом темпы роста производства и оборота химических веществ почти в 3 раза опережают темпы роста численности населения планеты.

Таким образом, с одной стороны, мы наблюдаем ускоренное развитие за счёт огромного массива знаний, приобретённых человечеством, и достижений науки, в том числе химии, а с другой — экспоненциально возрастающее количество потенциально опасных для человека и окружающей среды химических веществ. В 2018 г. ВОЗ измерила бремя болезни — годы жизни, утраченные в результате преждевременной смерти и нетрудоспособности (Disability-adjusted life year — DALY). Выяснилось, что в 2016 г. примерно 1.6 млн человеческих жизней и около 45 млн лет жизни с поправкой на инвалидность можно было сохранить благодаря рациональному регулированию и сокращению присутствия опасных химических веществ в окружающей среде [8]. Причинами нетрудоспособности стали хронические болезни почек и врождённые дефекты развития (1.9%), отравления (5%), причинение вреда, например, под действием химических веществ, вызывающих заторможенность и/или наркозоподобные состояния (10.7%), онкологические заболевания (19.8%), хронические обструктивные заболевания лёгких (26.7%), пневмокониоз (1.4%), сердеч-

но-сосудистые заболевания (32.7%). Из этого следует, что химия и химические технологии, влияющие на развитие современной цивилизации, могут представлять серьёзную опасность для человека и окружающей среды, если вспомнить о планетарных границах. В результате возникает своеобразная дихотомия: с одной стороны, химия — это наша жизнь и наше будущее, с другой — причина обоснованных опасений жителей планеты (хемофобия).

Определить уровень хемофобии можно, опираясь на данные социологических исследований. Однако их результаты различаются от страны к стране, поскольку в значительной степени сам предмет изучения сильно зависит от освещения в СМИ, системы образования и других особенностей конкретного государства. Явно выраженное отрицательное отношение к химии — в Швеции (около 80% населения высказываются негативно), сходная ситуация во Франции [9]. В Великобритании преобладает нейтральное отношение к химии и химической технологии [10]. Более того, её население зачастую воспринимает химию позитивнее, чем сами учёные. Например, 59% жителей считают, что она приносит скорее благо, чем вред, в то время как всего 55% учёных придерживаются такого мнения [9]. Причину можно понять, обратившись к результатам социологического опроса (рис. 1).

В основном отношение к химии формирует школа, поэтому важное значение имеет содержание школьных программ и учебников. В Великобритании, например, в 1990-х годах ведущие учёные Йоркского университета под руководством профессора Дэвида Уоддингтона написали великолепный учебник — “Солтерсовская химия”, в котором предмет показан во взаимосвязи с природой, человеком, культурой и медициной. В США в 1980-х годах по инициативе Американского химического общества появился учебник “Химия и общество”. Оба пособия переведены на русский язык при активном участии РХТУ им. Д.И. Менделеева и изданы достаточно боль-

шими тиражами. Однако российские образовательные реформы остановили их распространение в школах.

Недостаточная химическая грамотность ведёт к хемофобии, и ряд красноречивых примеров подтверждают этот тезис.

В конце 1990-х появился электронный ресурс, быстро набравший популярность¹. Он содержал обширную информацию о веществе под названием “дигидроген монооксид”, также известном как гидроксильная кислота. На сайте сообщалось, что это химическое соединение является компонентом кислотных дождей, способствует парниковому эффекту, ускоряет коррозию многих металлов. Его пары могут вызвать серьёзные ожоги. Вещество обнаружено во всех опухолях, удалённых у пациентов с терминальной стадией рака.

Узнав о столь опасном химическом соединении, многие политические и общественные деятели разных стран пытались запретить его распространение. В 2001 г. сотрудник новозеландского офиса Партии зелёных Сью Кедгли заявила, что она “полностью поддерживает кампанию по запрещению этого токсичного вещества” [11]. В марте 2004 г. в г. Алисо Вьехо, штат Калифорния, местные власти выступили с инициативой не использовать пластик во время массовых городских мероприятий, потому что дигидроген монооксид — компонент его производства. Помощник судьи попросил включить данный вопрос в повестку дня заседания Городского совета. Позже это обращение объяснили “плохим исследованием” [12]. В феврале 2011 г. в преддверии парламентских выборов в Финляндии кандидаты рассуждали, следует ли ограничить доступность “водородной кислоты, также известной как дигидроген монооксид”. В пользу ограничения высказались 49% кандидатов [13].

Между тем дигидроген монооксид — это всего лишь нетривиальное название воды, H_2O , и приведённые о соединении данные правильны. Действительно, вода есть в опухолях, горячая вода вызывает ожоги и т.д. Проблема заключается в химической грамотности людей, получивших доступ к данной информации.

Другой пример недостаточной химической грамотности — приверженность лозунгу “Всё природное — хорошо!”. Однако природное — не значит без химии и химических веществ и, следовательно, безопасно. Так, природное вещество асбест — причина многих случаев раковых лёгочных заболеваний — внесено в Стокгольмскую конвенцию по стойким органическим загрязнителям. Самые опасные в мире яды имеют природное происхождение, многие вещества, содержащиеся в цветах и определяющие

их запах, — аллергены. Проблема опасности/безопасности химии — не в природных и/или синтезированных человеком веществах, а в ответственности человека разумного за всё, что делает наше общество, включая осознанное и регулируемое обращение химических веществ. Часто учёные сначала синтезируют новое вещество, создают технологии, установки, производят продукцию, а потом общество (в том числе его академическая часть) начинает кампанию по запрету или ограничению его использования, тратя на борьбу драгоценные человеческие ресурсы. Примеров великое множество: озоноразрушающие вещества, полихлорированные (а теперь и полибромированные) бифенилы, перфторсоединения. Или новый вызов человечеству — так называемый микропластик. Уже установлено, что микропластики пластика весьма опасны и обнаруживаются практически везде, включая внутреннюю среду человека [14].

Рассмотрим другое явление — агрохемофобию, которая является разновидностью хемофобии. Если вернуться к планетарным границам, то одна из них напрямую связана с биогенными элементами — фосфором и азотом. Но фосфор, азот и калий — основные составляющие минеральных удобрений, на долю которых в мире и в Российской Федерации приходится большой процент от всей производимой химической продукции. В настоящее время отрасль ощущает значительное давление со стороны средств массовой информации и экологических организаций, ставящих вопрос об ограничении использования удобрений и других химикатов в сельском хозяйстве. Однако без химии в современном мире невозможно прокормить и одеть более 7.7 млрд человек. Мы не можем отказаться от удобрений, но способны использовать их разумно. В июне 2019 г. Международная ассоциация производителей удобрений приняла специальный Кодекс поведения, который предписывает учитывать воздействие удобрений на окружающую среду.

Необходимо отметить, что планетарные границы для биогенных элементов рассчитываются не в целом по планете, а по регионам, для которых составляют так называемые карты фосфорной и/или азотной нагрузки. На большинстве карт, появляющихся в публикациях, Россия выглядит как “серая” зона [15] с недостаточно достоверной информацией. Научно обоснованный подход к применению достижений химии и химической технологии состоит в ликвидации таких зон. Это даст возможность оценить уровень риска негативного воздействия на окружающую среду и/или здоровье человека при использовании тех или иных химических веществ и принять обоснованные управленческие решения. Для Российской Федерации, где прошло соответствующее исследование, составлены карты фосфорной нагрузки по отдельным регионам [16]. Ориенти-

¹ <https://www.snopes.com/fact-check/dangers-dihydrogen-monoxide/>

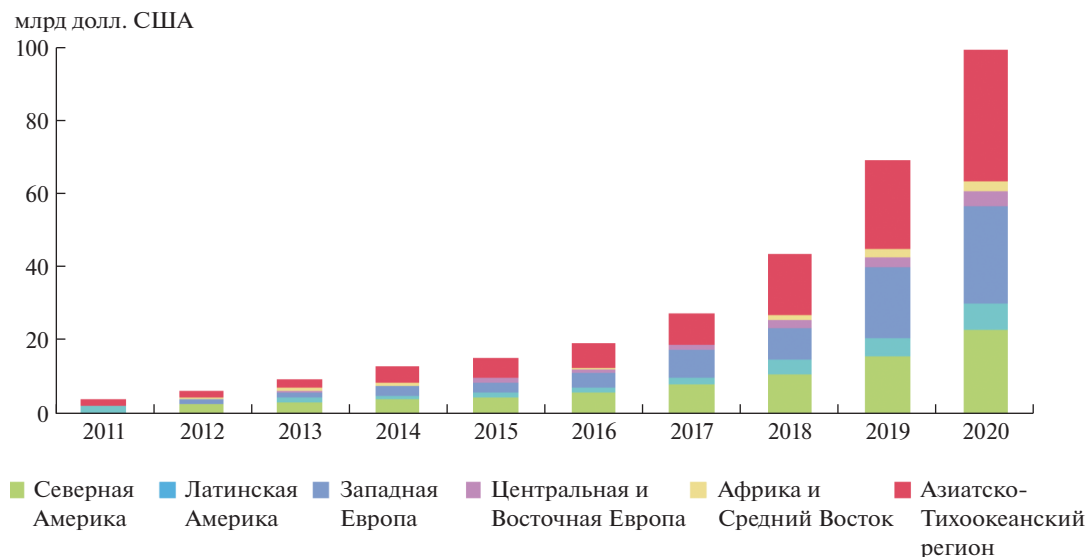


Рис. 2. Объёмы рыночной торговли зелёной химией, 2011–2020 гг. [21]

руясь на них, а также на данные по основным источникам поступления соединений фосфора [17], можно не только оценить риск достижения планетарной границы, но и управлять им.

Таким образом, главное сегодня — разъяснять общественности, политикам важность химической грамотности и суть глобальных процессов, в которые вовлечены используемые человечеством химические вещества, а также создавать их регулируемое производство и потребление. Эти положения отмечены в Целях устойчивого развития, принятых на Генеральной ассамблее ООН 25 сентября 2015 г. (раздел “Устойчивое производство и потребление”) [18].

Одним из инструментов успешного достижения этой цели стала зелёная химия [19]. Это своего рода лекарство от хемофобии, созданное химическим сообществом — учёными и представителями химической промышленности, осознавшими все опасности и вызовы, навеянные распространившимися страхами. Основой зелёной химии являются 12 принципов [20]. Их можно рассматривать как набор правил, позволяющих удовлетворить потребности современного общества в новых материалах, продуктах, процессах и системах без вреда для последующих поколений. Этим правилам всегда следуют хорошо подготовленные и экологически ответственные химики, учёные или технологи. Например, принцип № 2 гласит: “Рациональное (эффективное) использование исходных реагентов/атомная эффективность: методы синтеза должны разрабатываться таким образом, чтобы в состав конечного продукта включалось как можно больше атомов применяемых исходных реагентов”. Ещё в 1949 г. в СССР был внедрён кумольный способ синтеза фенола и

ацетона из бензола — пример процесса со 100%-ной атомной эффективностью. Технология разработана на кафедре Московского химико-технологического института, а её автор, Петр Гаврилович Сергеев, отмечен Сталинской премией. Принцип № 7 сформулирован так: “Использование возобновляемого сырья: во всех случаях, когда это технически возможно и экономически допустимо, следует отдавать предпочтение возобновляемому сырью”. В СССР в конце 1960-х годов появились первые в мире промышленные производства биотоплив из биомассы: биоводород, биометан, биобутанол, биоацетон и биоэтанол.

Сегодня зелёная химия востребована промышленностью, в том числе российской, что хорошо иллюстрируют данные по объёмам рыночной торговли 2011–2020 гг. [21] (рис. 2). В 2014 г. авторы статьи провели социологические исследования, которые показали, что до 80% российских предприятий внедряют или считают целесообразным внедрять принципы зелёной химии [22]. Отдельно отметим деятельность российской компании “ФосАгро” по развитию и продвижению идей зелёной химии. В рамках совместной программы ЮНЕСКО, “ФосАгро” и IUPAC “Зелёная химия для жизни” она выделила 2.5 млн долл. на распространение принципов зелёной химии среди молодых исследователей.

Созвучна с концепцией зелёной химии международная добровольная инициатива химической промышленности — программа “Ответственная забота”. Глобальные компании-лидеры, активно поддерживающие и продвигающие её, в свою очередь, интересуются и зелёной химией, что находит отражение в корпоративных отчётах. В Российской Федерации адаптацией и внедрением

программы занимается Российский союз химиков. Разработки, включая создание механизма по оценке экологической эффективности программы [23] и его практической реализации в формате конкурса “5 звезд. Лидеры химической промышленности”, получили признание европейских и международных организаций.

Однако не только бизнес-сообщество, но и политики самого высокого уровня поддерживают зелёную химию, названную ООН ключевым направлением развития науки. Так, профессор Ирина Бокова, выступая в 2017 г. на Петербургском международном экономическом форуме, сказала: “Зелёная химия нужна для учёта возможностей нашей планеты, стимулирования прогресса на пути к устойчивому развитию”.

Заметим, что хемофобия, как любая другая фобия, не может способствовать устойчивому развитию. Лекарство от этого “заболевания” — всеобщая химическая грамотность, формируемая со школьной скамьи, и ответственное обращение с химическими веществами, в том числе в быту. Для специалистов-химиков, выпускаемых высшими учебными заведениями, кодексом поведения должны стать принципы зелёной химии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Менделеев Д.И. Соотношение свойств с атомным весом элементов // Журнал Русского химического общества. 1869. № 1. С. 60–77.
2. Waters C.N., Zalasiewicz J., Summerhayes C. et al. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene // Science. 2016. V. 351. № 6269. P. 137.
3. Steffen W., Grinevald J., Crutzen P., McNeill J. The Anthropocene: Conceptual and historical perspectives // Philos. Trans. R. Soc. London Ser. 2011. V. 369. P. 842–867.
4. Rockstrom J., Steffen W., Noone K. et al. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity // Ecology and Society. 2009. V. 14. № 2 [online]. <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
5. Rockstrom J., Steffen W., Noone K. et al. A safe operating space for humanity // Nature. 2009. V. 461. P. 472–475.
6. Тарасова Н.П., Макарова А.С. Оценка уровня химического загрязнения в контексте планетарных границ // Известия Академии наук. Серия химическая. 2016. № 5. С. 1383–1394.
7. UNEP/EA.4/21. Ассамблея Организации Объединённых Наций по окружающей среде Программы ООН по окружающей среде. Найроби, 11–15 марта 2019 г.
8. World Health Organization (2018). The Public Health Impact of Chemicals: Knowns and Unknowns — Data Addendum for 2016. <http://www.who.int/ipcs/publications/chemicals-public-health-impact/en/>
9. Moreau N.J. Public Images of Chemistry // Chemistry International. 2005. V. 27. № 4. P. 6–9.
10. Edwards J., Ceci C., Ratcliffe E. What the Public Really Thinks About Chemistry // Chemistry International. 2016. V. 38. № (3–4). P. 16–19.
11. Megan G. MP tries to ban water // New Zealand Herald. September 14, 2007. https://www.nzherald.co.nz/nz/news/article.cfm?c_id=1&objectid=10463579
12. Local officials nearly fall for H₂O hoax. NBC-News.com. March 15, 2004. http://www.nbcnews.com/id/4534017/ns/technology_and_science-science/t/local-officials-nearly-fall-ho-hoax/
13. Pitäisikö lakia tiukentaa vetyhapon saatavuuden ja käytön osalta? (in Finnish). Sosiaalinen Vaalikone. February 25, 2011. Archived from the original on May 29, 2013. <https://web.archive.org/web/20130529114948/http://old.sosiaalinenvaalikone.com/kysymykset.php?id=12894>
14. Smith M., Love D.C., Rochman C.M., Neff R.A. Microplastics in seafood and the implications for human health // Curr. Environ. Health Rep. 2018. V. 5. № 3. P. 375–386.
15. Helmes R.J.K., Huijbregts M.A.J., Henderson A.D., Jolliet O. Spatially explicit fate factors of phosphorous emissions to freshwater at the global scale // Int. J. Life Cycle Assess. 2012. V. 17. P. 646–654.
16. Tarasova N.P., Makarova A.S., Vasileva E.G., Savolova D.D. Estimation of the phosphorus loading with consideration for the planetary boundaries (for the Russian Federation as an example) // Pure and Applied Chemistry. 2017. V. 89. P. 287–292.
17. Тарасова Н.П., Макарова А.С., Васильева Е.Г. и др. Оценка фосфорной нагрузки на пресные водоёмы субъектов Российской Федерации: моделирование миграции фосфора и его соединений между компонентами окружающей среды // Доклады Академии наук. 2018. № 6. С. 717–721.
18. UN. The General Assembly WG Report on Sustainable Development Goals. A / 68/970. 12.08.2014.
19. Tundo P., Anastas P., Black D. StC. et al. Synthetic pathways and processes in green chemistry. Introductory overview // Pure and Applied Chemistry. 2000. V. 72. № 7. P. 1207–1228.
20. Нефёдов О.М., Лунин В.В., Тарасова Н.П. Химия и проблемы устойчивого развития и сохранения окружающей среды // Успехи химии. 2010. № 6. С. 491–492.
21. Pike Research. Green chemistry: biobased chemicals, renewable feedstocks, green polymers, less-toxic alternative chemical formulations, and the foundations of a sustainable chemical industry // Industrial Biotechnology. 2011. V. 7. № 6. P. 431–433.
22. Тарасова Н.П., Макарова А.С., Вавилов С.Ю. и др. Зелёная химия и российская промышленность // Вестник РАН. 2013. № 12. С. 1068–1075.
23. Makarova A.S., Xuexiu J., Kruchina E.B. et al. Environmental performance assessment of the chemical industries involved in the Responsible Care® Program: Case study of the Russian Federation // Journal of Cleaner Production. 2019. V. 222. P. 971–985.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”

ВЫСТУПЛЕНИЯ УЧАСТНИКОВ НАУЧНОЙ СЕССИИ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

DOI: 10.31857/S0869587320040088

АКАДЕМИК РАН А.М. МУЗАФАРОВ

По моему мнению, в текст постановления Научной сессии следует включить пункт о необходимости создания в структуре Отделения химии и наук о материалах РАН коллегии экспертов, работающих на штатной основе, для разработки Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 г. и для проведения экспертизы, взаимодействия с межведомственными советами и т.п.

Дело в том, что уровень организации экспертной работы не соответствует возложенным на нас обязанностям по проведению экспертизы. На нас обрушился вал экспертизы: видимо, предполагается, что академики, после того как у них отобрали институты, ничего не делают. В действительности они продолжают руководить институтами, лабораториями, пишут книги, работают с научной молодёжью. Более того, они не всегда подготовлены к тому, чтобы быть профессиональными экспертами, поскольку зачастую являются специалистами в узких областях. Надо иметь в виду, что учёный и учёный-эксперт – это разные функции. Экспертизу на РАН возложили, а вот инструментария для её выполнения у нас нет.

Считаю, что в порядке эксперимента для разработки государственной научно-технической программы по современному химическому комплексу необходимо создать штат экспертов при отделении из представителей Научных советов, функционирующих при отделении. Тогда у нас появилась бы структура, которая организовывала бы экспертизу, распределяла её по Научным советам, чтобы в зависимости от уровня заявки оценку проектов, программ и исследований осуществлял доктор наук и только в особых случаях – член академии.

Прошу внести предложение об организации коллегии экспертов в качестве модельного эксперимента в решение нашего собрания.

Реплика академика А.М. Сергеева: Я крайне удивлён этим выступлением. В марте 2014 г. Российская академия наук подавляющим числом голосов приняла новый Устав. В нём Академия наук определена как экспертная организация. А теперь нам говорят, что она не должна заниматься экспертизой. Согласен с тем, что экспертная работа,

по которой нас оценивают, ведётся у нас не очень хорошо. Мы пытались наладить её через наши специализированные советы – не получилось. Были организованы экспертные советы в отделениях, но и к ним есть большие претензии.

АКАДЕМИК РАН В.И. КОЛЕСНИКОВ

Все без исключения прозвучавшие доклады очень интересные, их надо распространять в школах, техникумах, вузах. Прошу записать это моё предложение в резолюцию Научной сессии.

Хотел бы отметить, что учёные Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН используют в своих исследованиях все достижения химиков, физиков, материаловедов. Что касается периодического закона, он живёт и воплощается в инновационных технологиях по созданию материалов с учётом их совместимости. Мы провели исследование по совместимости неживых элементов, используя квантохимические расчёты. Изучались сегрегационные явления, удалось показать распад кластера из 30 атомов на кластер из чистого железа и адсорбционный кластер, рассчитаны как адсорбционные кластеры, которые включают в себя одно зерно и граничный слой, так и энергия связи сегрегационных кластеров, представлена энергия распада. Оказалось, что энергия связи атомов углерода, бора, марганца больше, чем чистого железа. Аналогичные результаты получены и для Миллеровской системы, причём здесь уже проявляется связь с периодическим законом – периодическая зависимость величины энергии распада от атомного номера химического элемента для всех рассмотренных 54 случаев. По сравнению со связью железо–железо химическая связь начальных элементов любого периода слабая, но с ростом номера элемента она сначала возрастает, а затем убывает.

Подчеркну, что, как оказалось, совместимость присутствует и в неживой природе, подчиняясь периодическому закону. Создавая новые материалы, следует исходить из этого факта. Мы уже использовали данный принцип в разработках авиационного и железнодорожного транспорта. Например, если добавить в тормозную колодку определённые элементы, то разрушительный процесс трения может превратиться в укрепляющий.

АКАДЕМИК Ю.В. ЦВЕТКОВ

В своём докладе член-корреспондент РАН Н.П. Тарасова рассказала нам о хемофобии. А мне хотелось бы сказать о фобии в науке. Недавно мы получили из Минобрнауки за подписью академика Г.В. Трубникова предложение о пересмотре номенклатуры специальностей, где отсутствуют металлургия, материаловедение, прикладная физика. Нам только что продемонстрировали историю Атомного проекта, к которому очень широко привлекались металлурги. И сейчас ведущим институтом атомной промышленности является институт имени А.А. Бочвара, имени металлурга. Но в номенклатуре эта специальность не предусмотрена.

Необходимо преодолеть такого рода фобию. Я сам металлург и считаю, что указанные направления обязательно должны быть сохранены в перечне специальностей. Следует иметь это в виду и при распределении вакансий при выборах в члены академии. На нынешних выборах наша секция наук о материалах стала рекордсменом — у нас было 13 человек на одно место! Пришлось отклонить немало достойных кандидатов, которые могли бы и украсить академию, и поддержать важнейшие научные направления. Но мы приняли правильное решение, избрав металлурга по своей секции.

АКАДЕМИК РАН М.П. ЕГОРОВ

В Международный год Периодической системы химических элементов, думаю, следует поговорить о роли химии вообще. К сожалению, сейчас у нас химия находится не в лучшем состоянии, особенно это касается производства полезных продуктов, практически отсутствует малотоннажная химия. Правда, сейчас стали появляться крупные химические комплексы. Я был на двух таких комбинатах: один принадлежит “СИБУРу” (под Тобольском), второй комплекс — “ГосАгро” (в Череповце). Но эти огромные заводы куплены за рубежом, наших технологий там нет.

Вместе с тем в советское время воплощались в жизнь три крупнейшие программы химизации народного хозяйства. Начиналось всё в 1928 г., затем была программа 1958 г., третья, самая впечатляющая программа выполнялась в течение 15 лет, когда министром химической промышленности был Л.А. Костандов. Тогда за 15 лет в Советском Союзе удалось построить свыше 400 химических комплексов. Как правило, это были не единичные объекты по производству какого-то соединения, а группа объектов, на которых синтезировались исходные продукты.

Сегодня у нас реализуется одна межведомственная программа “Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса до 2030 г.” Минэкономразвития и Минэнерго, принятая в

2014 г., в 2016 г. в неё были внесены некоторые коррективы. В ней сказано, что доля химической промышленности в ВВП России составляет лишь 1.1%, в то время как в развитых странах — больше 9%. К 2030 г., согласно этой Стратегии, планируется лишь удвоить долю химической промышленности в ВВП, то есть довести её до 2.2%. Этого явно недостаточно.

Если посмотреть на семь приоритетов Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, то в каждом из них присутствует химия в том или ином виде. Считаю нужным обратиться от имени Общего собрания РАН к властям нашей страны с предложением создать государственную программу развития химического комплекса. Отделение химии и наук о материалах готово принять самое активное участие в подготовке такого документа. Закончу своё выступление словами Л.А. Костандова: “Какова химия, такова и жизнь”.

Реплика академика А.М. Сергеева: Что касается программы, то, конечно, можно включить такой пункт в постановление. Но мы живём в условиях совсем другой реальности, чем советская. У нас капитализм, и экономика, промышленность действуют по капиталистическим законам. Известно, что многие компании и заказывают разработки за рубежом, и организуют собственные сильные инженерно-исследовательские подразделения. В каком-то смысле это вопрос к нам: почему мы оказались ненужными? Отраслевая наука у нас отнюдь не мертва, но она живёт и развивается по другим законам — капиталистическим.

Наверное, здесь лучше использовать те реальные инструменты, которыми мы располагаем и которые даны нам властью, — наши советы по приоритетам. Как вы знаете, советы по приоритетам сейчас формируют новые комплексы и научно-технические программы, которые уже начали финансироваться. Это и есть инструмент нашего влияния.

Другое дело, что в Стратегии научно-технологического развития России, где сформулированы вызовы, с которыми сталкивается страна, почему-то не были учтены предложения академии относительно того, как следует на них отвечать с точки зрения науки и технологий. Новые материалы — один из критически важных вызовов для всего человечества. Давайте искать выход из этого положения. Честно говоря, я не вижу того механизма, благодаря которому можно было бы усилить наше влияние.

Может быть, в число наших советов по приоритетам ввести ещё один совет — по науке о материалах, и действовать через него. Тут есть ресурс, будут деньги, но это предполагает составление цепочек, включая промышленность, которая должна проявить интерес и готовность финансировать проекты.

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА –
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ”**

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

DOI: 10.31857/S0869587320040118

В соответствии с резолюцией Генеральной Ассамблеи Организации Объединённых Наций от 20 декабря 2017 г. 2019 год объявлен Международным годом Периодической таблицы химических элементов (далее – Международный год), что имеет принципиальное значение для международной науки. 150 лет тому назад, в 1869 г., великий русский учёный Д.И. Менделеев опубликовал свою первую схему Периодической таблицы. Его труды открыли новые возможности в фундаментальной науке, а идеи опередили своё время и проложили дорогу в будущее. Вот уже более 150 лет теория Дмитрия Менделеева составляет основу для новых научных изысканий и открытий.

Для проведения Международного года в нашей стране распоряжением Правительства РФ от 29 декабря 2018 г. № 3015-р “О проведении в 2019 году Международного года Периодической таблицы химических элементов” был образован оргкомитет, который возглавил Председатель Правительства РФ Д.А. Медведев. Организационный комитет подготовил и реализовал обширный план мероприятий. По инициативе Российской академии наук, Министерства науки и высшего образования РФ, Российского химического общества им. Д.И. Менделеева 21 октября 2019 г. в Париже на 207-й сессии Исполнительного совета ЮНЕСКО было принято решение об учреждении международной премии ЮНЕСКО-Россия им. Д.И. Менделеева за достижения в области фундаментальных наук.

Важным этапом явилась научная сессия Общего собрания членов РАН, посвящённая Международному году. На научной сессии были заслушаны семь докладов – академиков РАН Ю.А. Золотова, Ю.Ц. Оганесяна, А.Ю. Цивадзе, Е.Н. Каблова, В.Н. Чарушина, члена-корреспондента РАН Н.П. Тарасовой, профессора РАН А.А. Лутовинова, в которых рассмотрены исторические аспекты открытия и развития Периодического закона Д.И. Менделеева, отражены перспективы открытия новых сверхтяжёлых элементов и границы применимости Периодического закона Д.И. Менделеева, современные направления развития химической науки и технологий, многие актуальные разработки, намечены перспективы их использования. Отмечена роль химических элементов в медицине и в процессе перехода к устойчивому развитию в решении широкого круга задач – от изучения молекулярных основ жизни и факторов устойчивости окружающей природной среды до создания новых материалов и источников энергии. Продемонстриро-

вана стимулирующая роль прогнозов и предсказаний Д.И. Менделеева по Периодической таблице в развитии и создании инновационных технологий, в частности для разделения близких по свойствам химических элементов и выделения особо чистых редких, рассеянных и редкоземельных элементов, рассмотрена связь Периодической таблицы с исследованиями космоса и происхождением жизни во Вселенной. Руководствуясь Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642, и с учётом предложений, высказанных в ходе обсуждений на настоящей Научной сессии Общее собрание членов РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Поручить президиуму РАН и Отделению химии и наук о материалах РАН принять активное участие в организации работы в рамках учреждённой ЮНЕСКО премии им. Д.И. Менделеева, в том числе в ежегодной организации научных и выставочных мероприятий, посвящённых Д.И. Менделееву и Периодическому закону, а также его современному применению для решения проблем, стоящих перед учёными мира.

2. Поручить президиуму РАН проработать вопрос о создании Международного фонда им. Д.И. Менделеева для поддержки крупных научных проектов в области естественных наук, которые выполняются консорциумами учёных нескольких стран на основе принципа государственно-частного партнёрства с привлечением прозрачной международной экспертизы проектов.

3. Поручить президиуму РАН обратиться в органы государственной власти Российской Федерации с предложением о создании междисциплинарного совета по химическим технологиям и новым материалам в дополнение к существующим советам по приоритетам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

4. Президиуму РАН обратиться в Минпромторг России с просьбой о подготовке предложений по внесению изменений в Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 “Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации” в части учёта в нем аддитивных технологий, наукоёмких технологий производства высококачественных материалов широкого назначения, энергоресурсоэффективных экологически безопасных химических, нефтегазохимиче-

ских, биохимических, фармацевтических и металлургических технологий.

5. Поручить президиуму РАН инициировать разработку программы совместных с Минобрнауки России, Минпромторгом России и госкорпорацией “Росатом” ориентированных междисциплинарных исследований с целью поиска конкурентоспособных на мировом рынке технологических решений для создания инновационных производств стратегически важных редких, рассеянных и редкоземельных металлов, позволяющих занять в этой области лидирующие позиции в мире.

6. Поручить Отделению химии и наук о материалах РАН разработать предложения по механизмам прогнозирования развития в Российской Федерации химических технологий и технологий создания новых материалов.

7. Считать одной из важнейших задач Отделения химии и наук о материалах РАН участие в распространении научно обоснованной информации о химии, её роли и значении в жизни, экономике, в вопросах сохранения окружающей среды, с целью формирования в обществе положительного образа химии, объективного представления о химических процессах, технологиях, химических материалах и продуктах.

8. Поручить Научно-издательскому совету РАН совместно с Отделением химии и наук о материалах РАН подготовить материалы научной сессии Общего собрания членов РАН “Периодическая таблица элементов — универсальный язык естествознания” для последующего издания в установленном порядке в виде отдельной книги, а также размещения их электронного варианта на официальном сайте РАН.

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

Об избрании академика-секретаря отделения РАН

В соответствии с федеральными законами от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ “О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” и от 29 июля 2017 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”»,

а также уставом федерального государственного бюджетного учреждения “Российская академия наук”, утверждённым постановлением Правительства РФ от 27 июня 2014 г. № 589, Общее собрание членов РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

избрать академика РАН **Красникова Геннадия Яковлевича** академиком-секретарём Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН.

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

О позиции РАН к форме и стилю действий правоохранительных органов в отношении Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Заслушав и обсудив выступление академика РАН **И.А. Щербакова** о сложившейся в конце октября 2019 г. ситуации в ФГБУ науки Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН), Общее собрание членов РАН выразило обеспокоенность формой и стилем действий правоохранительных органов в отношении ФИАН и его директора члена-корреспондента РАН **Н.Н. Колачевского**, наносящих репутационный ущерб одной из ве-

дущих научных организаций страны и всей российской науке. Общее собрание членов РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

Президиуму РАН разработать и представить в Правительство РФ предложения о совершенствовании механизма координации проведения экспертиз проектов, связанных с экспортом наукоемкой продукции.

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

О недопустимости ограничений при обмене научными идеями с иностранными учёными

Заслушав и обсудив выступление академика РАН **И.А. Щербакова** по вопросу обмена научными идеями с иностранными учёными, который является необходимым условием развития меж-

дународного научного сотрудничества, Общее собрание членов РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

обратиться в Министерство науки и высшего образования РФ о необходимости отмены приня-

того в феврале 2019 г. ведомственного акта, регламентирующего приём иностранных учёных в на-

учных организациях и образовательных организациях высшего образования.

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН О работе Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований и Комиссии РАН по борьбе с лженаукой в период выборов в Российскую академию наук в 2019 г.

Заслушав и обсудив выступления члена-корреспондента РАН **Е.А. Запесоцкого** и академика РАН **Е.М. Хазанова** в отношении работы Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований и Комиссии РАН по борьбе с лженаукой в период выборов в Российскую академию наук в

2019 году, Общее собрание членов РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

Президиуму РАН в двухмесячный срок заслушать информацию о работе Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований (академик РАН **В.А. Васильев**) и Комиссии РАН по борьбе с лженаукой (академик РАН **Е.Б. Александров**).

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН О предполагаемой реорганизации работы российских научных фондов

Заслушав и обсудив выступление академика РАН **В.А. Рубакова** о направлениях реорганизации работы научных фондов, участники Общего собрания членов РАН выразили крайнюю озабоченность возможной передачей значительной части функций Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) Российскому научному фонду (РНФ). Научные фонды являются одним из основных механизмов реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642, поэтому соответствующие решения имеют важнейшее значение для огромного количества научных коллективов и отдельных учёных. Однако эти инициативы готовятся без участия РАН, в задачи которой входит разработка предложений по формированию и реализации государственной научно-технической политики (в соответствии с п. 1 ч. 1

ст. 7 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ), и обсуждения с научной общественностью. Поддерживая позицию президиума РАН по данному вопросу, выраженную в постановлении президиума РАН от 10 сентября 2019 г. № 141, Общее собрание членов РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

поручить члену президиума РАН академику РАН **В.Я. Панченко** в месячный срок проинформировать президиум РАН о мерах, принятых по результатам официального диалога с Министерством науки и высшего образования РФ по вопросу проведения широкого обсуждения предложений по изменению задач и функций РФФИ и РНФ, экспертизы проекта управленческих решений в этой области со стороны РАН, а также последующего принятия решения Советом при Президенте РФ по науке и образованию.

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН Об открытии Представительства ФБГУ “Российская академия наук” на территории Самарской области

В соответствии со статьёй 55 Гражданского кодекса Российской Федерации, частями 1 и 6 статьи 14 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ “О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”, пунктами 86, 87 устава ФБГУ “Российская академия наук”, утверждённого постановлением Правительства РФ от 27 июня 2014 г. № 589, Общее собрание членов РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Открыть Представительство федерального государственного бюджетного учреждения “Российская академия наук” на территории Самарской области в городе Самаре.
2. Принять, что Правительство Самарской области предоставит в установленном порядке помещение для Представительства ФБГУ “Российская академия наук” на территории Самарской области по адресу: г. Самара, Студенческий пер., 3А.
3. Утвердить Положение о Представительстве ФБГУ “Российская академия наук” на территории Самарской области.

ОЦЕНКА ЖУРНАЛОВ RSCI ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ НАУКАМ В КОНТЕКСТЕ СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ИНДЕКСА ЦИТИРОВАНИЯ

© 2020 г. О. В. Третьякова

Вологодский научный центр РАН, Вологда, Россия

E-mail: olga.tretyackova@yandex.ru

Поступило в редакцию 15.08.2019 г.

После доработки 22.10.2019 г.

Принято к публикации 10.01.2020 г.

Создание национальной наукометрической базы данных научной периодики в России может решить проблему выделения ведущих научных журналов. Первым шагом на пути к её формированию стала разработка индекса цитирования Russian Science Citation Index (RSCI). Чтобы прояснить, устранены ли противоречия первой его версии, вышедшей в 2015 году, в статье дан анализ количественных показателей, в том числе библиометрических, 28 экономических журналов, включённых в 2018 г. во вторую версию Russian Science Citation Index (RSCI-2018). Полученные данные сопоставлены с результатами общественной экспертизы. Для полноты охвата перечня журналов проанализированы количественные и качественные показатели нескольких изданий, не введённых в RSCI-2018. Показано, что недостатки предыдущей версии перечня не устранены. Сделан вывод о неполноте списка, непрозрачности и несоблюдении некоторых критериев при его составлении, а также о недостаточности параметров, которые используются для отбора изданий. Результаты исследования, позволяющие оценить потенциал RSCI для создания национальной наукометрической базы данных научной периодики, ставят вопрос о необходимости консолидации усилий научного и экспертного сообщества для установления прозрачных процедур отбора журналов. Полученные данные могут учитываться официальными структурами при оценке эффективности деятельности научных организаций и способствовать повышению уровня периодических изданий.

Ключевые слова: национальный индекс цитирования, наукометрическая база данных, научная периодика, экономический журнал, библиометрический показатель, общественная экспертиза журналов, Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), Russian Science Citation Index, список RSCI-2018, Web of Science.

DOI: 10.31857/S0869587320040143

Сегодня в России издаётся более тысячи журналов по экономике и их число ежегодно увеличивается. В этих условиях дискуссия о выборе ведущих изданий не только не теряет актуальности, но и усиливается под воздействием различных



ТРЕТЬЯКОВА Ольга Валентиновна — кандидат филологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом редакционно-издательской деятельности и научно-информационного обеспечения ВолНЦ РАН.

факторов, в том числе связанных с оценкой эффективности деятельности научных организаций. Полемика о необходимости публиковать результаты исследований прежде всего в высокорейтинговых журналах обострилась с запуском в 2018 г. национального проекта «Наука», когда перед научными коллективами были поставлены амбициозные задачи по кратному увеличению публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science Core Collection (WoS) или в альтернативной Scopus, и расширению перечня индексируемых в них российских журналов [1].

За последние несколько лет количество отечественных экономических журналов, включённых в международные наукометрические базы, выросло. На сегодняшний день их доля в WoS составляет около 1.4% от общего числа экономической периодики. Расширение перечня изданий с

международной сертификацией стало возможным благодаря появлению в 2015 г. нового индекса Emerging Sources Citation Index (ESCI) в составе WoS. И хотя рост журнальной продукции в международных базах данных свидетельствует об улучшении “видимости” российских исследователей в глобальной науке, эксперты всё чаще сходятся во мнении, что необходимо создавать свою национальную реферативно-библиографическую базу. Президент Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ) О.В. Кириллова считает, что включение в международные наукометрические базы данных должно стать “естественным достижением наиболее качественных журналов, которые будут иметь высокие показатели и авторитет в международном сообществе”, но при этом следует формировать “пул качественных журналов национального и международного уровней, поддерживаемых и развиваемых внутри страны” [2]. В России есть все предпосылки для создания собственной национальной базы научной периодики, но, к сожалению, пока они не использованы в полной мере.

Разработка российского индекса научного цитирования не переросла в создание национальной базы данных, которая аккумулировала бы все издаваемые в стране качественные научные журналы, поскольку РИНЦ начал индексировать их без применения к периодике жёстких критериев отбора. Это привело к тому, что в базе оказались разные по качеству и уровню научного влияния журналы, в том числе те, которые используют неэтичные издательские практики. И хотя РИНЦ предлагает набор инструментов для сбора библиометрических данных по каждому изданию, их применение затруднено по причине качественных различий журналов, а также наличия в системе изданий с показателями, полученными в результате манипулирования цитированием и принятия других неэтичных решений.

В 2015 г. была предпринята попытка выделить наиболее значимые российские издания по всем направлениям исследований. Но процедура отбора журналов, которые вошли в базу Russian Science Citation Index (RSCI), размещённую на платформе Web of Science, получила в экспертной среде неоднозначные оценки [3], что помешало RSCI претендовать на статус национального индекса.

В 2018 г. вышла вторая редакция списка RSCI. В совокупности с российскими журналами, индексируемыми в WoS и Scopus, издания из перечня RSCI-2018 попали в информационно-аналитическую систему “Ядро РИНЦ”. Её показатели (число публикаций и совокупная цитируемость организации) стали официально учитываться в мониторинге результативности научных институтов и центров [4]. В этом контексте очевидным становится значение, которое в настоящее время приобрела база данных RSCI. С учётом официального статуса, полученного показателями по ядру РИНЦ, включающему базу данных RSCI, можно

говорить о том, что на сегодняшний день Russian Science Citation Index претендует на роль национального наукометрического индекса. В связи с этим остро встают вопросы определения критериев отбора журналов для включения в пул самых лучших и качественных российских изданий, а проблема создания в России национальной наукометрической базы данных научной периодики набирает новый виток.

В 2016 г. мы опубликовали результаты исследования экономических журналов, включённых в RSCI, на предмет его полноты и объективности критериев отбора, где были отмечены слабые места процедуры формирования перечня и сделан вывод о необходимости её совершенствования [5]. С целью выяснить, устранены ли противоречия, содержащиеся в первой редакции списка RSCI, комплексному анализу подверглись экономические журналы, попавшие в новый перечень в 2018 г. Для этого были изучены количественные показатели, в том числе библиометрические, 28 экономических журналов из списка RSCI-2018. Полученные данные сопоставлены с результатами общественной экспертизы, дана оценка журналов на предмет соответствия международным стандартам качества. Чтобы понять полноту охвата перечня, проанализированы также количественные и качественные показатели нескольких журналов, не включённых в RSCI-2018. Результаты исследования позволяют подойти к вопросу об оценке потенциала Russian Science Citation Index для создания национальной наукометрической базы данных научной периодики.

ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Международная практика показала, что эффективное развитие национальных наукометрических систем способствует повышению уровня научных изданий внутри страны и позволяет объективно оценивать результативность научных коллективов.

Созданный в середине XX в. американским учёным Ю. Гарфилдом указатель цитирования научной литературы внёс значительный вклад в развитие мировой науки [6]. Расширение географии индекса породило проблему неравномерной представленности в нём отдельных стран. По мнению экспертов, дисбаланс, сложившийся в региональном распределении исходных журналов, включённых в глобальный индекс цитирования, с одной стороны, обусловлен различным уровнем развития науки в разных странах, с другой — не даёт возможность получить объективную оценку качества научной деятельности учёных, представляющих эти страны [7, 8]. Нерепрезентативность некоторых национальных изданий в базах ISI (The International Statistical Institute) стала

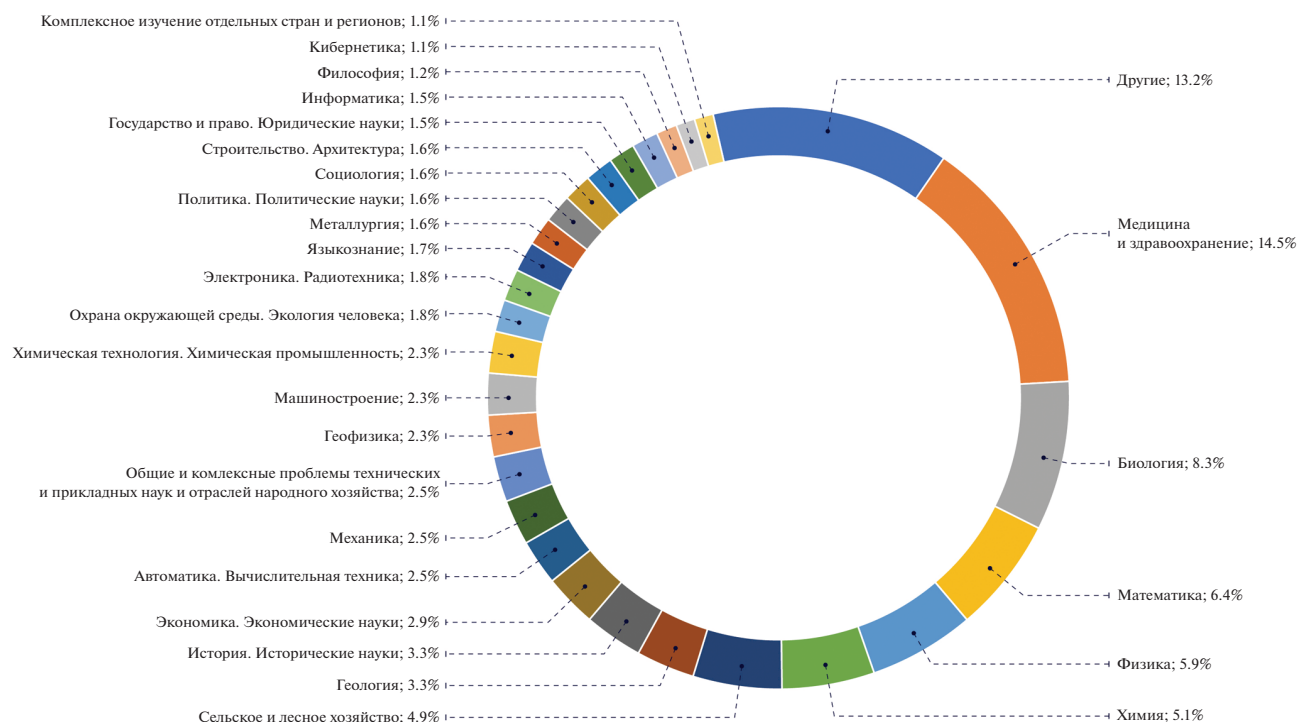


Рис. 1. Распределение журналов RSCI-2018 по предметным рубрикам

Источник: построено автором по данным НЭБ на сентябрь 2018 г.

главной причиной появления локальных индексов, собирающих сведения о цитировании в рамках одной страны или географического региона [9].

Государства, где уже созданы национальные индексы — Chinese Science Citation Database (CSCD) [7] и China Scientific and Technical Papers and Citations (CSTPC) [10] в Китае, Citation Database for Japanese Papers (CJP) в Японии [11], Brazil's National Database of Research and Science Resumes (BNDRSR) в Бразилии, — сегодня добились больших успехов в демонстрации научных достижений. По оценкам экспертов, разработка собственных индексов цитирования позволила значительно улучшить международную «видимость» национальных исследований и повысить эффективность оценки развития науки в стране [7].

В России вопрос о создании национального индекса цитирования, который мог бы стать альтернативой зарубежным базам данных, тоже стоит на повестке дня [12]. Предприняты попытки разработать национальный индекс цитирования. Так, Научная электронная библиотека (НЭБ) eLIBRARY.RU совместно с Российской академией наук реализовала проект Russian Science Citation Index на платформе Web of Science. Первая версия RSCI, появившаяся в 2015 г., представляла собой перечень из 653 изданий, позиционированных разработчиками как пул лучших российских научных журналов. Между тем исследователи установили, что попавшая в список периодика неравномерно и недостаточно объективно пред-

ставлена с позиций библиометрических показателей и распределения по тематическим рубрикам. Непрозрачные алгоритмы формирования, по мнению экспертов, создали «предпосылки для ошибочного понимания роли базы данных для отечественной науки» и, следовательно, невозможности её использования для принятия эффективных государственных решений в области науки [3]. Кроме того, как отмечают эксперты, научный уровень RSCI-2015 оказался недостаточно высоким, поэтому публикации в журналах списка не получили того же статуса, что и статьи в периодике, включённой в Web of Science, для отчётности по государственным заданиям и грантам [13].

В 2018 г. вышла вторая версия Russian Science Citation Index (RSCI-2018). В перечень, по данным РИНЦ на конец декабря 2018 г., вошли 777 научных журналов. В работе проанализирована только часть списка, включающая экономические журналы, чтобы, с одной стороны, оценить их уровень и степень соответствия международным стандартам, а с другой — полноту охвата перечня и объективность отбора.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЖУРНАЛОВ, ВКЛЮЧЁННЫХ В RSCI-2018

Распределение журналов RSCI-2018 по тематике. На рис. 1 показано распределение изданий по предметным рубрикам Государственного рубри-

катора научно-технической информации (ГРНТИ). Диаграмма отражает сведения о сгруппированных по предметным областям журналах, доля которых в общем числе изданий, включённых в RSCI-2018, превышает 1%. При этом 13% приходится на тематические рубрики, представленные меньшим количеством журналов (доля не более 1%).

Данные, обобщённые в диаграмме, свидетельствуют, что в списке RSCI-2018 в большом количестве представлены издания по медицинской тематике, их доля составляет почти 15%. В предыдущей редакции RSCI также преобладали журналы в области медицины и здравоохранения, что, по мнению экспертов, нехарактерно для российских публикаций в Web of Science или Scopus, где медицина занимает далеко не лидирующую позицию [14]. Согласно статистическим данным, полученным из системы WoS, в 2018 г. больше всего статей, имеющих аффилиации с организациями из России, приходилось на точные и естественные науки: прикладную физику (более 6 тыс. ед.), материаловедение (более 5 тыс.), оптику (более 4 тыс.), электронную инженерию (более 4 тыс.), физику (междисциплинарная, 3.5 тыс.), химию (междисциплинарная, около 3 тыс.), математику (более 2.5 тыс.). Журналы естественнонаучного профиля занимают значительное место и в базе данных RSCI-2018: биология — 8.3% от общего числа; математика — 6.4%; физика — 5.9%; химия — 5.1%. В списке достаточно много журналов по сельскому и лесному хозяйству, их доля составляет почти 5% от общего числа изданий. По отдельным общественным и гуманитарным дисциплинам цифры существенно меньше: история — 3.3%, языкознание — 1.7%, политические науки — 1.6%, социология — 1.6%, философия — 1.2%. Что касается экономических изданий, то их доля менее 3% (28 ед.).

Таким образом, с точки зрения распределения периодики по тематическим рубрикам перечень RSCI-2018 неравномерен. В списке заметно пре-

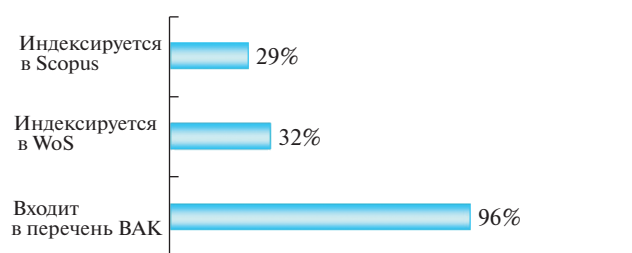


Рис. 2. Сводные данные о включении экономических журналов списка RSCI-2018 в Перечень ВАК и об их индексации в международных наукометрических базах данных

Источник: построено автором по данным МНБД, НЭБ на сентябрь 2018 г.

валируют издания по медицинским, естественным и точным наукам, в то время как журналы общественного и гуманитарного профиля представлены слабо. Это, с одной стороны, отражает их положение в современной структуре науки, с другой — демонстрирует тот факт, что научные коллективы, ведущие исследования в области общественных и гуманитарных наук, оказались в неравных условиях с организациями других профилей. В итоге формируются неблагоприятные условия для развития исследований, результаты которых неразрывно связаны с процессами социально-экономической модернизации общества и направлены на создание точек роста экономики и повышение качества жизни граждан — ключевых факторов суверенитета и безопасности государства.

Общая характеристика экономических журналов, включённых в RSCI-2018. Экономические журналы из списка оценивались по соответствию требованиям, предъявляемым к изданиям, согласно принятому Регламенту RSCI [15], а также международным стандартам, поскольку данные RSCI размещаются в интерфейсе WoS. Одновременно анализировались полнота охвата перечня, количественные и качественные показатели нескольких журналов, не вошедших в список.

В таблице 1, где представлен полный перечень журналов, индексируемых в РИНЦ по тематике “Экономика. Экономические науки” и отобранных в RSCI-2018, обобщены выходные сведения об изданиях, информация об их индексации в международных наукометрических базах, изучены показатели, полученные в ходе библиометрического анализа и общественной экспертизы, в которой принимали участие более 40 тыс. высокоцитируемых в РИНЦ учёных. Итоговый список включает 28 наименований изданий, ранжированных по значению интегрального показателя и месту в рейтинге Science Index-2017.

Практически все экономические журналы из списка RSCI-2018 (за исключением одного) входят в Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК), в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата и доктора наук. Сравнение RSCI-2018 с перечнями российских экономических журналов, размещённых в международных наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, выявило некоторые пересечения. По данным на сентябрь 2018 г., 9 изданий индексируются в WoS (Emerging Sources Citation Index) и 8 — в Scopus, из них 6 включены в обе базы (рис. 2). Тем не менее не все издания, охваченные WoS и Scopus, включены в RSCI-2018, хотя их вхождение в глобальные индексы цитирования свидетельствует о соответствии качества публикаций мировому уровню. Так, за пределами RSCI-2018 остались экономические журналы

Таблица 1. Сведения о журналах, индексируемых в РИНЦ по тематике “Экономические науки” и включённых в список RSCI-2018

Журнал	Учредитель/издатель	Город	Отметка о включении в Перечень ВАК, ГИЦ	Интегральный показатель Science Index-2017	Место в рейтинге Science Index-2017 по тематике “Экономика” / в общем рейтинге (квартиль)	Средняя оценка по результатам общественной экспертизы	Место в рейтинге по результатам общественной экспертизы по тематике “Экономика” / в общем рейтинге
Вопросы экономики	НП «Редакция журнала “Вопросы экономики”»	Москва	BAK WoS Scopus	17.373	1/4(1)	3.595	1/60
Форсайт	НИУ “Высшая школа экономики”	Москва	BAK WoS Scopus	8.634	3/13(1)	3.155	16/361
Проблемы прогнозирования/Studies on Russian Economic Development	Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН	Москва	BAK Scopus	4.137	6/57(1)	3.542	2/79
Journal of Institutional Studies (Журнал институциональных исследований)	ООО “Гуманитарные перспективы”	Ростов-на-Дону	BAK WoS	4.502	5/43(1)	2.661	77/1146
Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 8: Менеджмент	Санкт-Петербургский государственный университет. Высшая школа менеджмента	Санкт-Петербург	BAK	2.789	11/115(1)	3.096	22/421
Мировая экономика и международные отношения	РАН. Институт мировой экономики и международных отношений РАН	Москва	BAK WoS Scopus	2.754	12/118(1)	3.541	3/80
Экономическая политика	Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ; Институт экономической политики им. Е.Т. Гайдара	Москва	BAK WoS Scopus	2.731	13/122(1)	2.771	61/911
Экономический журнал Высшей школы экономики	НИУ “Высшая школа экономики”	Москва	BAK	2.696	15/126(1)	3.177	13/346
Российский журнал менеджмента	Санкт-Петербургский государственный университет. Высшая школа менеджмента	Санкт-Петербург	BAK	2.532	17/143(1)	3.183	12/339
Деньги и кредит	Центральный банк Российской Федерации	Москва	BAK	2.402	19/159(1)	3.123	20/394

Таблица 1. Продолжение

Журнал	Учредитель/издатель	Город	Отметка о включении в Перечень ВАК, ГИЦ	Интегральный показатель Science Index-2017	Место в рейтинге Science Index-2017 по тематике “Экономика” / в общем рейтинге (квартиль)	Средняя оценка по результатам общественной экспертизы	Место в рейтинге по результатам общественной экспертизы по тематике “Экономика” / в общем рейтинге
Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика	НИУ “Высшая школа экономики”	Москва	BAK WoS Scopus	1.829	25/229(1)	2.765	63/924
Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика	Санкт-Петербургский государственный университет	Санкт-Петербург	BAK WoS	1.666	32/269(1)	3.189	11/330
Регион: экономика и социология	СО РАН; Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН	Новосибирск	BAK Scopus (в составе переводной версии)	1.587	38/293(1)	3.135	18/381
ЭКО	Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН	Новосибирск	BAK	1.406	45/350(1)	3.127	19/389
Экономическая наука современной России	Центральный экономико-математический институт РАН	Москва	BAK	1.387	47/359(1)	3.039	25/507
Контурсы глобальных трансформаций: политика, экономика, право	Ассоциация независимых экспертов “Центр изучения кризисного общества”	Москва	BAK	1.357	49/377(1)	2.125	249/2569
Вестник Московского университета: Серия 6: Экономика	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова	Москва	BAK	1.309	53/395(1)	3.246	8/276
Бизнес-информатика	НИУ “Высшая школа экономики”	Москва	BAK WoS	1.264	56/409(1)	2.536	109/1433
Журнал Новой экономической ассоциации	АНО “Журнал Новой экономической ассоциации”	Москва	BAK WoS Scopus	1.233	61/424(1)	3.257	6/265
Проблемы управления	Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН	Москва	BAK	1.181	62/449(1)	2.410	141/1779
Прикладная эконометрика	Московский финансово-промышленный университет “Синергия”	Москва	BAK	1.154	64/463(1)	2.425	135/1738
Журнал экономической теории	Институт экономики УрО РАН	Екатеринбург	BAK	0.933	76/586(1)	3.020	29/538

Таблица 1. Окончание

Журнал	Учредитель/издатель	Город	Отметка о включении в Перечень ВАК, ГИЦ	Интегральный показатель Science Index-2017	Место в рейтинге Science Index-2017 по тематике “Экономика” / в общем рейтинге (квартиль)	Средняя оценка по результатам общественной экспертизы	Место в рейтинге по результатам общественной экспертизы по тематике “Экономика” / в общем рейтинге
Экономика и математические методы	РАН	Москва	ВАК	0.918	78/604(1)	3.149	17/366
Корпоративные финансы	НИУ “Высшая школа экономики”	Москва	ВАК	0.728	90/797(1)	2.802	56/851
Университетское управление: практика и анализ	НП «Журнал “Университетское управление: практика и анализ”»	Екатеринбург	ВАК	0.549	110/1073 (2)	2.776	59/900
Финансы и бизнес	Издательство “Проспект”	Москва	ВАК	0.196	206/2108 (3)	2.420	138/1754
Прикладная информатика	Московский финансово-промышленный университет “Синергия”	Москва	ВАК	0.142	234/2396 (3)	2.261	196/2185
Russian Journal of Economics	НП «Редакция журнала “Вопросы экономики”»	Москва					

Источник: построено автором по данным НЭБ на 25 сентября 2018 г.

“Terra Economicus”, “Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast”, “Journal of Tax Reform”, “Regional Research of Russia”, “Управленец”, “Экономика региона” и “Современная Европа”, отражённые в международных наукометрических базах данных.

В предыдущей редакции RSCI-2015 наблюдалась сходная ситуация. Эксперты указывали на необходимость включения в новый перечень либо всех отечественных журналов, индексируемых в WoS, поскольку отбор туда осуществляется по наиболее строгим критериям, либо только тех изданий, которые не вошли в международную базу [3, с. 325]. Но рекомендации не были учтены, и в версии RSCI-2018 данная проблема осталась нерешённой. По нашему мнению, если список позиционируется в качестве значимого содержательного компонента информационно-аналитической системы “Ядро РИНЦ”, то в него определённо должны входить все журналы, индексируемые в Web of Science и Scopus, как наиболее влиятельные в своих научных направлениях и соответствующие высоким стандартам качества научного контента.

Оценка журналов по библиометрическим параметрам. Согласно Регламенту библиографической базы данных RSCI, для принятия решения о включении в неё того или иного издания учитываются показатели формального библиометрического анализа и результаты общественной экспертизы российских журналов. При этом в количественном анализе используется расширенный набор инструментов — до 50 библиометрических показателей, что даёт возможность провести корректное междисциплинарное сравнение уровня изданий, минимизировав влияние отдельных индикаторов. Результаты комплексного библиометрического анализа отражены в ранжировании журналов в рейтинге Science Index за соответствующий год. Как заявлено в Регламенте, по итогам распределения выделяются 25% лучших изданий с максимальными значениями комплексной библиометрической оценки, которые составляют первый квартиль рейтинга Science Index [15].

Из Регламента следует, что на этом этапе значение интегрального показателя Science Index берётся за последний полный год, то есть для редакции RSCI-2018 использованы показатели 2017 г. По данным РИНЦ было установлено, что в 2017 г.



Рис. 3. Распределение экономических журналов списка RSCI-2018 по квартилям в рейтинге Science Index

Источник: построено автором по данным НЭБ на 25 сентября 2018 г.

в первый квартиль рейтинга Science Index должны войти 882 журнала по разным дисциплинам с интегральным показателем от 0.668 и выше. Среди них 96 изданий по экономической тематике, из которых только 24 включены в список RSCI-2018. Обращает на себя внимание группа журналов из второго и третьего квартиля (значения интегрального показателя находятся в пределах 0.272–0.667 и 0.107–0.271 соответственно), которые вошли в перечень, несмотря на средние и даже низкие библиометрические показатели. Общая доля такой периодики составляет 11% (рис. 3). Так, журнал “Университетское управление: практика и анализ” входит только во вторую тысячу из 3530 изданий по показателю Science Index, ранжируемых в рейтинге Science Index-2017. Ещё два издания (“Финансы и бизнес” и “Прикладная информатика”) входят в третью тысячу этого списка. Журналы из второй и третьей тысячи имеют низкие библиометрические показатели, недостаточные для их включения в RSCI. Эксперты считают, что в таких случаях положительные решения о их размещении в базе данных необходимо сопровождать детальным объяснением методики отбора [3, с. 325]. Разделяем эту точку зрения и полагаем, что в Регламенте библиографической базы данных RSCI используемые критерии отбора должны быть максимально прозрачными. Очевидно, что не соответствующие заявленным параметрам издания не должны в неё входить.

Чтобы оценить уровень экономической периодики, включённой в RSCI-2018, был проанализирован не только интегральный показатель Science Index-2017, но и импакт-фактор издания как индикатор его влияния, коррелирующий с мнением исследователей о важности той или иной журнальной продукции в соответствующих дисциплинах [16] и отражающий воздействие научного издания на научное сообщество, его полезность для других учёных [17, с. 43], значимость и престиж [18, с. 7].

Сопоставление двухлетнего импакт-фактора РИНЦ без самоцитирования в группе журналов по тематике “Экономика. Экономические науки” за 2017 г. с медианным значением этого показателя¹ позволяет сделать вывод, что у большинства журналов импакт-фактор выше медианного значения по дисциплине (рис. 4). Но только у 10 журналов импакт-фактор больше 1.000, то есть доля высокоцитируемых изданий составляет всего 36% в общем числе экономических журналов списка RSCI-2018.

Таким образом, если рассматривать цитирование как инструмент для измерения влияния, которое работа оказывает на сообщество в целом [19, 20], можно говорить о наполненности перечня экономических журналов RSCI-2018 изданиями с высоким авторитетом лишь на треть. При этом, как видно из графика, в список попал один низкоцитируемый журнал: его импакт-фактор ниже медианного показателя. И если высокий импакт-фактор по причине уязвимости перед потенциальным манипулированием [21, с. 133] не всегда служит гарантом качества журнала, то низкое значение этого показателя может косвенно свидетельствовать о локальности издания, то есть о его “выпадении” из “основного научного потока” [22, с. 75], малой привлекательности для читателей и недостаточном авторитете.

Локальность проявляется в ориентированности журнала на узкий круг авторов, которые, как правило, аффилированы с материнской организацией. По мнению экспертов, публикации в локальных журналах малоинтересны для ведущих экономистов, что приводит к вытеснению вполне качественных изданий на “периферию интересов научной общественности” [23, с. 193]. Следует отметить, что в РИНЦ используется показатель, при помощи которого можно выявить локальные журналы. Имеется в виду индекс Херфиндала по организациям авторов. Его величина зависит от числа учреждений, с которыми аффилированы исследователи, и равномерности распределения между ними статей. Как констатируют специалисты в области ранжирования научных журналов, высокие значения этого индекса свидетельствуют

¹ Медиана распределения 370 журналов, имеющих в 2017 г. импакт-фактор больше 0, составила 0.295.



Рис. 4. Распределение экономических журналов, включённых в RSCI-2018, по значению двухлетнего импакт-фактора РИНЦ без самоцитирования за 2017 г.

Цифрами на графике обозначены следующие журналы: 1 — Вопросы экономики; 2 — Журнал Новой экономической ассоциации; 3 — Форсайт; 4 — Проблемы прогнозирования; 5 — Мировая экономика и международные отношения; 6 — Экономическая политика; 7 — Journal of Institutional Studies (Журнал институциональных исследований); 8 — Деньги и кредит; 9 — Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика; 10 — Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика; 11 — Экономический журнал Высшей школы экономики; 12 — Russian Journal of Economics; 13 — Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 8: Менеджмент; 14 — Регион: экономика и социология; 15 — ЭКО; 16 — Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика; 17 — Российский журнал менеджмента; 18 — Проблемы управления; 19 — Экономика и математические методы; 20 — Университетское управление: практика и анализ; 21 — Журнал экономической теории; 22 — Прикладная эконометрика; 23 — Бизнес-информатика; 24 — Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право; 25 — Экономическая наука современной России; 26 — Прикладная информатика; 27 — Корпоративные финансы; 28 — Финансы и бизнес

Источник: построено автором по данным НЭБ на 25 сентября 2018 г.

об узости круга авторов и читателей, становятся своего рода мерой “местечковости” издания [21, с. 137, 138].

Для выявления локальных экономических журналов список RSCI-2018 был проанализирован по дополнительному параметру — индексу Херфиндаля по организациям авторов. С учётом значений индекса за 2017 г. проведена градация изданий на три категории: нелокальные журналы с широким кругом авторов (индекс меньше 1000); журналы с довольно высоким уровнем локальности (1000—1800); журналы с очень высоким уровнем локальности (1800—10000).

Судя по данным, представленным на графике (рис. 5), доля локальных журналов в перечне RSCI-2018 составляет 43%. Ещё 39% изданий имеют довольно высокую степень локальности авторского коллектива, хотя на текущий момент некоторые издания уже не входят в эту категорию (например, “Форсайт”, где доля статей, аффилированных с материнской организацией, вследствие изменения редакционной политики резко

уменьшилась в 2018 г., составив всего 21%). Учитывая широко распространённое экспертное мнение о том, что локальные издания не могут претендовать на роль общероссийских или международных [21, с. 138; 23, с. 189], можно задаться вопросом, имеется ли у них потенциал для продвижения в интернациональном пространстве, поскольку даже на национальном уровне они ограничены интересами материнских организаций.

Отдельного внимания заслуживает выявленное противоречие между регламентом отбора журналов для включения в список RSCI, позволяющим отсеять локальные издания, и получившимся результатом. Процедура ориентирована на выбор журналов с высоким авторитетом в научной среде. Согласно принятым критериям, по заключению экспертизы, проводимой Тематическим экспертным советом, “локальные, домашние” журналы не должны оцениваться как издания, имеющие наибольший авторитет в профессиональном сообществе [15]. Между тем итоговый список более чем на 80% состоит из ло-

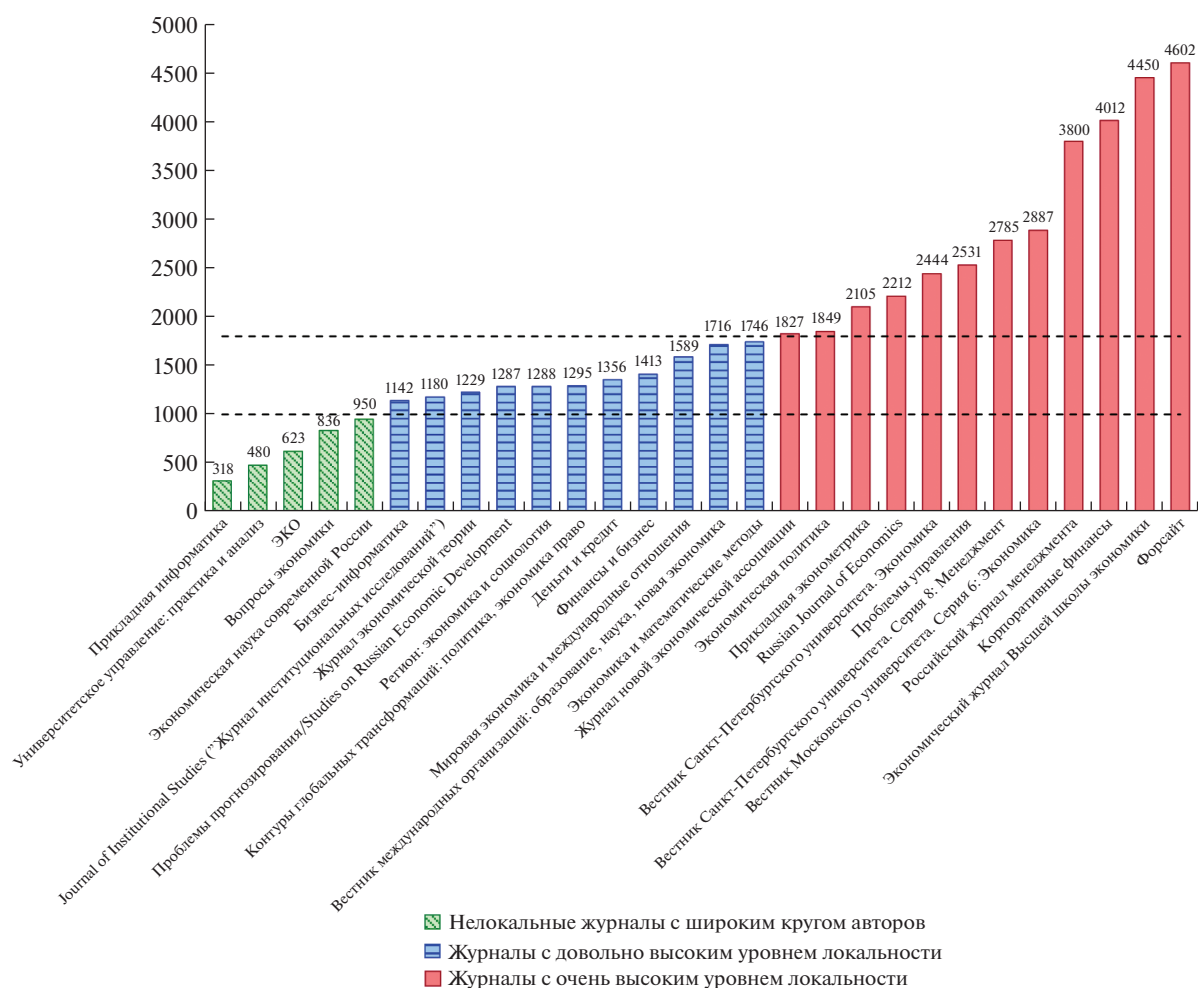


Рис. 5. Распределение экономических журналов, включённых в RSCI-2018, по значению индекса Херфиндаля по организациям авторов, за 2017 г.

Источник: построено автором по данным НЭБ на 25 сентября 2018 г.

кальных журналов. Это заставляет сомневаться в объективности экспертной оценки по данному критерию и свидетельствует о несовершенстве и непрозрачности процедуры формирования перечня экономических изданий для включения в RSCI.

Оценка журналов по результатам общественной экспертизы. Чтобы снять субъективизм, возникающий в малых экспертных группах, к которым относятся тематические советы и Рабочая группа, при отборе журналов в RSCI используются данные общественной экспертизы. Издания оценивают ведущие российские учёные, имеющие научную степень и показатели в системе РИНЦ, соответствующие установленным пороговым значениям. Эксперты определяют уровень, отражающий, по их мнению, качество журнала [15].

Согласно общественной экспертизе, состоявшейся в 2017 г., сформирован рейтинг журналов,

ранжированных по средней оценке экспертов. Выполнен анализ средних оценок экономических журналов из списка RSCI-2018 (см. табл. 1) и проведена градация изданий по трём категориям. К первой отнесены журналы, соответствующие международному уровню (средняя оценка 3.5–4 балла). Большинство экспертов оценили их как достойные включения в международные наукометрические базы данных Web of Science и Scopus. Во вторую категорию вошли издания, соответствующие национальному уровню (2.5–3.4 балла). Большая часть экспертов посчитала, что они, безусловно, достойны включения в Russian Science Citation Index. И, наконец, к третьей категории отнесены журналы, соответствующие среднему уровню (1.5–2.4 балла), которые, по мнению экспертов, могут претендовать на включение в RSCI.

Из диаграммы (рис. 6) видно, что большинство экономических журналов списка RSCI-2018 при-

числены экспертами к изданиям национального уровня, их доля составляет 70%. Всего три журнала (“Вопросы экономики”, “Проблемы прогнозирования”, “Мировая экономика и международные отношения”) получили высокие оценки и были охарактеризованы как издания международного уровня, достойные включения в глобальные индексы цитирования. Следует подчеркнуть, что пятую часть перечня составляют журналы, получившие невысокие оценки экспертов. Два из них (“Финансы и бизнес” и “Прикладная информатика”), кроме того, имеют низкие библиометрические показатели. Таким образом, при формировании перечня экономических журналов заявленные критерии отбора в RSCI-2018 жёстко не соблюдались. Это свидетельствует о непрозрачности процедуры оценки.

Оценка журналов на предмет соответствия международным стандартам. По мнению экспертов, в первой редакции перечня RSCI-2015 не были учтены международные стандарты, предъявляемые к научным журналам. В результате, по оценке О.В. Кирилловой, в список попали издания, неготовые к представлению контента международному научному сообществу по причине отсутствия данных, переведённых на английский язык [24].

В ходе анализа изданий по тематике “Экономика. Экономические науки”, включённых в RSCI-2018, на предмет их соответствия основным критериям, позволяющим интегрировать научный контент в зарубежное информационное пространство, были выделены четыре наиболее значимых параметра: наличие англоязычной версии; оформление метаданных статей (аннотация достаточного объёма на английском языке, то есть содержащая не менее 150–250 слов [25, с. 35], список литературы — References — на латинице); наличие у журнала англоязычного сайта; наличие у статьи цифрового идентификатора DOI. Все данные о периодике приводятся по состоянию на конец 2018 г.

Результаты анализа переводного контента показали, что издания используют четыре модели (рис. 7). Некоторые имеют полнотекстовые версии на английском языке (6 изданий) либо публикуют отдельные статьи в переводных журналах, таких как “Problems of Economic Transition”; “Regional Research of Russia” (3 издания). Две другие модели охватывают русскоязычные издания, в которых на английском языке даются выборочные статьи (9 журналов) либо только метаданные каждой публикации (10 журналов).

Анализ метаданных статей выявил, что два журнала (“Проблемы управления”, “Журнал экономической теории”) не публикуют списки литературы на латинице. Это препятствует корректному учёту ссылок в глобальных индексах цити-



Рис. 6. Распределение экономических журналов списка RSCI-2018 по научному уровню на основе результатов общественной экспертизы

Журналы международного уровня: Вопросы экономики; Проблемы прогнозирования; Мировая экономика и международные отношения.

Журналы национального уровня: Форсайт; Журнал Новой экономической ассоциации; Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика; Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика; Российский журнал менеджмента; Экономический журнал Высшей школы экономики; Экономика и математические методы; Регион: экономика и социология; ЭКО; Деньги и кредит; Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 8: Менеджмент; Экономическая наука современной России; Журнал экономической теории; Корпоративные финансы; Университетское управление: практика и анализ; Экономическая политика; Вестник международных организаций: образование; наука; новая экономика; Journal of Institutional Studies (Журнал институциональных исследований); Бизнес-информатика.

Журналы среднего уровня: Прикладная эконометрика; Финансы и бизнес; Проблемы управления; Прикладная информатика; Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право.

Журнал без оценки: Russian Journal of Economics.

Источник: построено автором по данным НЭБ на 25 сентября 2018 г.

рования. Кроме того, судя по данным (рис. 7), практически в половине изданий (46%) все или отдельные статьи сопровождаются аннотациями недостаточного объёма, что не соответствует стандартам международных наукометрических баз данных, поскольку такие системы являются реферативными и не размещают полные тексты статей. Именно поэтому к ним предъявляются повышенные требования с точки зрения объёма и содержания аннотаций.

Следует отметить, что только шесть журналов имеют функциональные сайты на английском



Рис. 7. Модели издания переводного контента

*Издания, в которых все статьи имеют англоязычные аннотации достаточного объема, то есть не менее 150–250 слов.

языке, содержащие полнотекстовые архивы статей: “Форсайт”, “Проблемы прогнозирования”/“Studies on Russian Economic Development”, “Деньги и кредит”, “Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика”, “Бизнес-информатика”, “Russian Journal of Economics”. У пяти изданий — “Российский журнал менеджмента”, “Экономический журнал Высшей школы экономики”, “Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика”, “Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика право”, “Корпоративные финансы” — есть англоязычные сайты, где размещаются метаданные и полные тексты отдельных статей. Остальные публикуют только метаданные статей либо вообще не имеют отдельных сайтов на английском языке, ограничиваясь созданием англоязычной страницы с общей информацией об изданиях. Разумеется, отсутствие таких сайтов лишает журнал возможности увеличить свою международную видимость. В этом случае одна из главных задач базы данных Russian Science Cita-

tion Index, заключающаяся в представлении международной общественности лучших российских журналов, становится трудновыполнимой для блока экономических изданий.

При оценке технологического качества экономических журналов из списка RSCI-2018 прошли проверку на предмет наличия в статьях цифрового идентификатора — Digital Object Identifier (DOI), который присваивается публикациям с целью повышения их доступности и открытости в международном информационном пространстве. Сегодня DOI признается всеми ведущими зарубежными издательствами как важнейший атрибут научных статей, он позволяет “идентифицировать, находить полный текст статьи и правильно его цитировать, безошибочно связывая публикации и ссылки на них” [26, с. 61].

В исследуемой группе 24 издания (86%) присваивают DOI каждой публикации. Журналы “Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика”, “Прикладная информатика”, “При-

кладная эконометрика”, “Экономическая наука современной России” на момент включения в перечень RSCI-2018 г. не снабжали статьи таким указателем.

Согласно базовым требованиям [15], в Russian Science Citation Index должны включаться журналы, у которых есть уникальные цифровые идентификаторы на само издание и отдельные публикации. Между тем в RSCI-2018 попали журналы, не имеющие таких обозначений, но им Регламент рекомендовал получить коды до конца первого квартала 2019 г. Налицо ещё одно противоречие в процедуре отбора изданий. Полагаем, что при формировании национальной базы данных научной периодики нужно ориентироваться на международные наукометрические индексы с жёсткими критериями отбора, согласно которым журналы, не отвечающие базовым критериям, автоматически не допускаются к дальнейшей экспертизе.

Таким образом, не все экономические издания из списка RSCI-2018 в полной мере готовы представить свой контент международной аудитории. Только треть из них выпускается в полнотекстовых версиях на английском языке. Почти половина журналов публикует аннотации недостаточного объёма, ряд изданий не имеет качественных функциональных сайтов на английском языке. Всё это затрудняет продвижение российской экономической периодики за рубежом.

Поскольку база данных Russian Science Citation Index размещается на международной платформе, полагаем, что перечень критериев отбора журналов должен быть расширен за счёт дополнительных параметров, позволяющих оценивать издания и их сайты на соответствие основным международным стандартам и степень адаптивности для зарубежной аудитории.

Анализ полноты охвата перечня экономических журналов из RSCI-2018. Значительной проблемой остаётся крайне узкая география данного корпуса научных изданий (рис. 8). В RSCI-2018 включены журналы, в подавляющем большинстве выпускаемые в Москве и Санкт-Петербурге; их доля превышает 80%. Из региональной периодики в базу RSCI-2018 вошли только два издания из Новосибирска, два — из Екатеринбурга и одно — из Ростова-на-Дону. Таким образом, Центральный и Северо-Западный федеральные округа представлены журналами, которые выпускаются в их центрах. Несколько федеральных округов вообще отсутствуют в этом списке, тогда как в регионах расположено значительное количество научных институтов и исследовательских центров, ведущих масштабные работы. По данным Российского научно-исследовательского института экономики, политики и права в научно-технической сфере, в 2017 г. лидерами по научной продуктив-

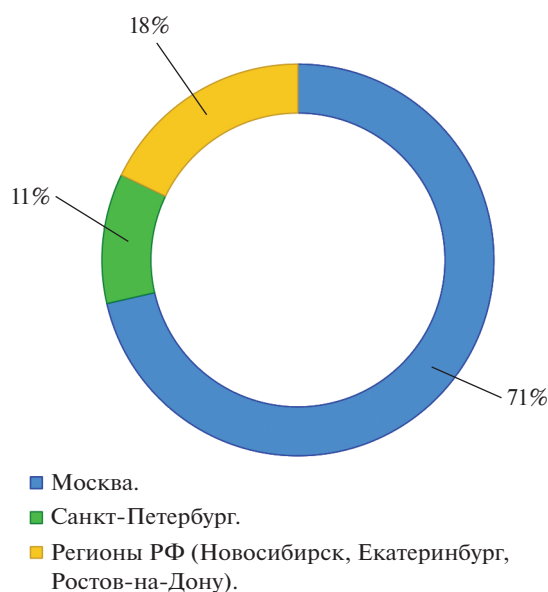


Рис. 8. География экономических журналов списка RSCI-2018

Источник: построено автором по данным НЭБ на 25 сентября 2018 г.

ности в WoS в расчёте на 100 учёных стали Сибирский и Дальневосточный федеральные округа (25.7 и 19.8 статей на 100 исследователей соответственно; в Москве и Центральном федеральном округе — 12.8 и 11.3 статей на 100 исследователей соответственно) [27].

Если оценивать экономические журналы с точки зрения двух характеристик — географии, ограниченной главным образом Москвой и Санкт-Петербургом, и доли среди них локальных изданий (более 80%), то можно сделать вывод, что региональные научные организации практически лишены возможности публиковать результаты своих исследований по экономике в журналах, включённых в RSCI. И причины этого не связаны с качеством статей. Сложившаяся ситуация требует оперативного решения. Возможно, нужны дополнительная экспертиза списка экономической периодики, вошедшей в RSCI-2018, и последующее его расширение.

Обращает на себя внимание невысокая (20%) доля в перечне RSCI-2018 журналов, аффилированных с Российской академией наук. Она не изменилась по сравнению с предыдущей версией списка 2015 г. [5, с. 218]. Вместе с тем эксперты полагают, что принадлежность журнала к РАН — это пример следования академическим традициям [28, с. 111], который служит своеобразным показателем качества издания [29, с. 173]. Более того, ряд экономических журналов, выходящих в научных центрах и институтах РАН, существенно опережает большинство изданий из списка

Таблица 2. Сравнительная характеристика параметров журналов институтов и центров РАН, не включённых в список RSCI-2018

Журнал	Учредитель/издатель	Город	Отметка о включении в Перечень ВАК. ГИЦ	Интегральный показатель Science Index-2017	Место в рейтинге Science Index по тематике “Экономика” / в общем рейтинге (квартиль)	Средняя оценка по результатам общественной экспертизы	Место в рейтинге по результатам общественной экспертизы по тематике “Экономика” / в общем рейтинге
Экономика региона	Институт экономики УрО РАН	Екатеринбург	ВАК WoS Scopus	8.820	2/12(1)	3.334	4/207
Пространственная экономика	Институт экономических исследований ДВО РАН	Хабаровск	ВАК	4.820	4/36(1)	3.038	26/510
Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз	Вологодский научный центр РАН	Вологда	ВАК WoS	3.545	7/73(1)	2.836	52/797
Вестник Института экономики РАН	Институт экономики РАН	Москва	ВАК	1.606	35/287(1)	3.162	14/357
Проблемы развития территории	Вологодский научный центр РАН	Вологда	ВАК	1.573	39/298(1)	2.568	95/1344

Источник: построено автором по данным НЭБ на 25 сентября 2018 г.

RSCI-2018 по библиометрическим показателям и оценкам общественной экспертизы. Это видно из сравнительного анализа параметров нескольких журналов РАН, не включённых в данный список (табл. 2).

По итогам комплексной библиометрической оценки эти издания входят в первый квартиль рейтинга Science Index-2017. Журналы “Экономика региона”, “Пространственная экономика”, “Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз” — высокоцитируемые и находятся в первой десятке рейтинга в своей дисциплине: их интегральный показатель Science Index выше, чем у большинства журналов из списка RSCI-2018. В ходе общественной экспертизы РИНЦ эксперты выделили их как издания национального уровня (средняя оценка 2.5–3.4 балла), достойные включения в Russian Science Citation Index. Они входят в Рейтинг ведущих экономических журналов России-2019 (рейтинг Балацкого—

Екимовой) [30], составленный на основе анализа библиометрических параметров и экспертных оценок научного уровня. Журнал Института экономических исследований ДВО РАН “Пространственная экономика” занимает 24 место, а журналы Института экономики УрО РАН “Экономика региона” и Вологодского научного центра РАН “Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз” включены в Алмазный список рейтинга, который образуют 13 лучших российских экономических изданий, занимая третье и десятое место соответственно.

Журнал “Пространственная экономика” входит в рейтинг экономических изданий, разработанный под руководством А.Я. Рубинштейна на основе социологического измерения мнения о журналах сообщества экономистов [31], и находится на 11 месте. Четырнадцатую строчку в нём занимает “Вестник Института экономики Российской академии наук”.

Журналы “Вестник Института экономики Российской академии наук” и “Проблемы развития территории” также относятся к первому квартилю рейтинга экономических изданий Science Index-2017; их интегральный показатель выше, чем у 50% журналов по экономике, включённых в RSCI-2018. В результате общественной экспертизы РИНЦ оба эти издания признаны достойными включения в список Russian Science Citation Index.

Научный авторитет журналов обеспечивается традиционно строгой системой рецензирования, публикацией результатов работ ведущих экономистов, следованием международным стандартам. Так, “Экономика региона” и “Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз” входят в глобальные индексы цитирования, что говорит о подтверждении их качества независимым экспертным мнением на международном уровне. Несмотря на это, а также на высокие библиометрические показатели и следование академическим стандартам, ни один из проанализированных журналов не был отобран в RSCI-2018.

Важно оценивать эффект от присутствия изданий в Russian Science Citation Index, который способен повлиять на их конкурентоспособность. Очевидно, что воздействие этого фактора на журналы, индексируемые в базах данных Web of Science и Scopus, будет минимальным. Они занимают сейчас лидирующие позиции, аккумулируя самые качественные публикации ведущих исследователей страны и не испытывая дефицита редакционных портфелей. Единственный негативный эффект от их отсутствия в системе RSCI — репутационный. Получилось, что журналы, фактом вхождения в международные наукометрические базы данных подтвердившие соответствие мировым стандартам, не вошли в национальную базу ведущих научных журналов.

В то же время невключение изданий в RSCI может крайне негативно сказаться на журналах без международной сертификации. Научная политика в стране, основывающаяся на оценке результативности деятельности научных организаций, побуждает учёных публиковаться прежде всего в тех изданиях, которые принимаются к отчётам по грантам и государственным заданиям. Остальные начинают терять своих авторов и, не выдерживая конкуренции, вытесняются на периферию. Недопустимо, когда в их число попадают качественные журналы, поддерживающие академические стандарты научных исследований и публикаций, но пока не имеющие международной сертификации и не входящие в национальный индекс, размещённый на платформе Web of Science. Между тем, как свидетельствуют результаты анализа, на текущий момент нет объектив-

ных причин, объясняющих отсутствие ряда изданий в перечне RSCI. В статье детально проанализированы только несколько случаев, но таких примеров больше. Разработчики ресурса могут принять во внимание полученные данные, чтобы усовершенствовать процедуру отбора журналов.

* * *

Комплексный анализ экономических журналов из RSCI-2018 показал, что противоречия предыдущей версии списка, связанные с полнотой охвата и прозрачностью процедуры отбора изданий, в новой редакции не устранены.

В ходе исследования выявлены недостатки предварительной экспертизы журналов. Процедура отбора позволяет на этапе экспертной оценки включать в перечень научные издания, не попавшие в первый квартиль по результатам комплексной библиометрической экспертизы. Таким образом, в RSCI-2018 оказались журналы, входящие во вторую и третью тысячу изданий по показателю Science Index. Кроме того, неясно, каким образом учитываются результаты широкой общественной экспертизы. Как следствие, в итоговый список включены несколько изданий с невысокими библиометрическими показателями, оценённые экспертами как журналы среднего уровня. В то же время превалирование в RSCI-2018 локальных журналов оставляет вопросы о критериях отбора журналов Тематическим экспертным советом.

Большое противоречие видится также в том, что некоторые журналы перечня не соответствуют ряду базовых требований индекса RSCI (например, не присваивают статьям DOI, не имеют достаточных показателей для включения в библиометрический рейтинг Science Index, а также не прошли процедуру общественной экспертизы), но Регламент это допускает. Возникает вопрос о целесообразности базовых требований. Остаётся неясным, с какой целью они выработаны, если в процессе отбора не учитываются как обязательные для всех.

Оценка журналов на предмет соответствия международным стандартам выявила, что некоторые журналы из индекса, размещаемого на международной платформе, ещё не готовы представить свой контент зарубежному читателю. Полагаем, что при отборе изданий в RSCI должны применяться дополнительные параметры, благодаря которым в список будут попадать журналы, которые отвечают основным международным стандартам, тот есть имеют достаточные по объёму аннотации и правильно оформленные метаданные статей на английском языке, функциональные англоязычные сайты и пр.

RSCI позиционируется как совместный проект международной информационно-аналитической компании “Clarivate Analytics” и российской информационной компании “Научная электронная библиотека” с Российской академией наук. Хотя РАН отводится важная роль в организации и проведении экспертизы и оценке качества изданий, доля академических журналов в списке RSCI-2018 оказалась заниженной. Анализ показал, что многие экономические журналы, аффилированные с научными центрами и институтами РАН и оставшиеся вне списка RSCI-2018, существенно опережают большинство включённых в него журналов по библиометрическим показателям и средним оценкам общественной экспертизы.

К сожалению, непрозрачные механизмы отбора в список RSCI-2018 и его неполнота лишают возможности рассматривать данный перечень как значимый для оценки российских журналов. Проблема видится как в соблюдении собственных критериев RSCI при его составлении, так и в недостаточности параметров, которые используются для отбора изданий. На текущий момент создатели ресурса не смогли решить задачи, позволяющие позиционировать этот проект как национальный. Однако, несмотря на выявленные противоречия, обновлённая версия Russian Science Citation Index имеет потенциал, который может быть использован для создания национальной наукометрической базы данных научной периодики, сопоставимой по уровню и качеству с глобальными индексами цитирования Web of Science и Scopus. Для этого необходимы консолидация усилий научного и экспертного сообщества по установлению прозрачных процедур и совершенствованию критериев отбора научных журналов, а также взвешенная позиция Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в вопросах развития национальных библиографических баз и повышения уровня научных изданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный проект “Наука”. <http://static.government.ru/media/files/UraNEEbOnbjocoMLPOnnJZx-4OT20Siei.pdf>
2. Беляева С. Естественным путём. Как продвигать российские журналы? // Поиск. 2018. № 45.
3. Мазов Н.А., Гуреев В.Н., Каленов Н.Е. Некоторые оценки списка журналов Russian Science Citation Index // Вестник РАН. 2018. № 4. С. 322–332.
4. Методические рекомендации по формированию отчётных данных в ФСМНО (обновление от 2018 г.). <https://sciencemon.ru/about/document/41>
5. Третьякова О.В. Экономический журнал в России: проблемы оценки качества // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2016. № 2(44). С. 211–224.
6. Garfield E. Citation Indexes to Science: a New Dimension in Documentation Through Association of Ideas // Science. 1955. V. 122. № 3159. P. 108–111.
7. Jin B., Wang B. Chinese Science Citation Database: Its Construction and Application // Scientometrics. 1999. V. 45. № 2. P. 325–332.
8. Moskaleva O., Pislyakov V., Sterligov I. et al. Russian Index of Science Citation: Overview and review // Scientometrics. 2018. V. 116. № 1. P. 449–462.
9. Писляков В.В. Зачем создавать национальные индексы цитирования? // Научные и технические библиотеки. 2007. № 2. С. 65–71.
10. Wu Y., Pan Y., Zhang Y. et al. China Scientific and Technical Papers and Citations (CSTPC): History, Impact and Outlook // Scientometrics. 2004. V. 60. № 3. P. 385–397.
11. Negishi M., Sun Y., Shigi K. Citation Database for Japanese Papers: A New Bibliometric Tool for Japanese Academic Society // Scientometrics. 2004. V. 60. № 3. P. 333–351.
12. Третьякова О.В. Развитие национального индекса цитирования как условие формирования системы оценки результатов научной деятельности // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2015. № 1(37). С. 230–245.
13. Касьян А., Кулешова А., Мелихова Л. О второй версии Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (RSCI-2018). <http://www.sib-science.info/ru/ras/analiticheskaya-zapiska-14082018>.
14. Москалева О.В. РИНЦ и RSCI – дополнение или замена? Научное издание международного уровня-2016: решение проблем издательской этики, рецензирования и подготовки публикаций // Материалы 5-й Международной научно-практической конференции. Москва, 17–20 мая 2016 г. Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного университета им. А.М. Горького, 2016. С. 195–201.
15. Регламент библиографической базы данных Russian Science Citation Index. М., 2018. https://elibrary.ru/projects/rsci/reglament_RSCI.pdf
16. Hoeffel C. Journal impact factors (letter) // Allergy. 1998. V. 53. № 12. P. 1225.
17. Гарфилд Ю. Можно ли выявлять и оценивать научные достижения и научную продуктивность? // Вестник АН СССР. 1982. № 6. С. 42–50.
18. Маркусова В.А. Качество научных журналов и основные критерии для включения в информационную систему Web of Science компании Thomson Reuters // Acta Naturae. 2012. № 2(13). С. 6–14.
19. Cole S., Cole J. Scientific output and recognition. A study in the operation of the reward system in science // American Sociological Review. 1967. V. 32. P. 377–390.
20. Moed H.F. Citation analysis in recourse evaluation // Information Science and Knowledge Management. 2005. V. 9. P. 346.
21. Муравьев А.А. О научной значимости российских журналов по экономике и смежным дисциплинам // Вопросы экономики. 2013. № 4. С. 130–151.

22. Зорин Н.А. Оценка качества научных публикаций // Медицинские технологии: оценка и выбор. 2011. № 3. С. 71–76.
23. Балацкий Е.В., Екимова Н.А. Конкуренция экономических журналов России: итоги трёх волн рейтингования // Экономическая политика. 2017. № 6. С. 178–201.
24. Виды на видимость. Станет ли наша наука заметнее? // Поиск. 2016. № 15.
25. Методические рекомендации по подготовке и оформлению научных статей в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах данных / Под общ. ред. О.В. Кирилловой. М.: Ассоциация научных редакторов и издателей, 2017.
26. Кириллова О.В. Как оформить статью и научный журнал в целом для корректного индексирования в международных наукометрических базах данных // Научный редактор и издатель. 2018. № 3(1–2). С. 52–72.
27. Парфёнова С.Л., Долгова В.Н., Безроднова К.А. Подходы к анализу публикационной активности регионов России по данным Web of Science и Scopus. Доклад на 8-й Международной научно-практической конференции “Научное издание международного уровня-2019: стратегия и тактика управления и развития”. <https://conf.rasep.ru/WCSP/WCSP2019>
28. Балацкий Е.В., Екимова Н.А. Опыт составления рейтинга российских экономических журналов // Вопросы экономики. 2015. № 8. С. 99–115.
29. Клейнер Г.Б. Миссия академического журнала: между фундаментальностью и актуальностью // Журнал Новой экономической ассоциации. 2011. № 12. С. 171–173.
30. Балацкий Е.В., Екимова Н.А. Конкуренция российских экономических журналов на мировом рынке // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2019. № 3. С. 124–139.
31. Рубинштейн А.Я. Российские экономические журналы: табель о рангах // Экономическая наука современной России. 2018. № 1. С. 108–130.

ДИНАМИКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА И ИНВЕСТИЦИИ. ЭМПИРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

© 2020 г. Б. Л. Лавровский^{1,2,*}, Е. А. Горюшкина^{1,3,**}

¹ Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

*E-mail: boris.lavrovski@gmail.com

**E-mail: e.goryushkina@mail.ru

Поступила в редакцию 01.02.2019 г.

После доработки 21.08.2019 г.

Принята к публикации 21.10.2019 г.

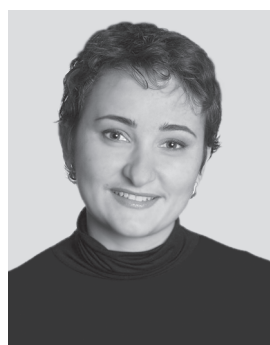
В статье рассматриваются вопросы, связанные с политико-экономической задачей вхождения Российской Федерации в число пяти крупнейших экономик мира. Показано, что продолжение сложившихся тенденций динамики ВВП позволит России в ближайшие годы подняться с шестой на пятую позицию среди стран мира по объёму ВВП, но удерживаться на этой позиции она сможет только до конца 2020-х годов. По мнению авторов, в прогнозном периоде до 2024 г. достижение среднегодового темпа прироста производительности труда в размере 3% вполне вероятно. Такой темп предполагает лучшие структурные соотношения, касающиеся объёма инвестиций и динамики производительности, и несколько выше норму накопления, чем к началу прогнозного периода.

Ключевые слова: Россия, ВВП, основной капитал, производственный аппарат, производительность труда, инвестиции, инновации.

DOI: 10.31857/S0869587320010089

Длительный и глубокий отрыв России по производительности труда от стран-лидеров несёт в себе огромный риск цивилизационного отставания, угрозу национальной безопасности. Преодоление этого отрыва с неизбежностью предпо-

лагает непрерывную интенсивную реконструкцию и модернизацию производственно-технологического аппарата на инновационных началах. Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям [1] предъявляет более высокие требования к качеству, техническим параметрам натурально-вещественного состава инвестиций, не просто допускает, но подчас и предполагает рост удельных инвестиционных затрат. Экономия, связанная с текущими затратами труда, достигается, как правило, за счёт всё более интенсивного капиталообразования, что с неизбежностью порождает предпосылки для роста нормы накопления. Этой объективной тенденции может противостоять инновационная деятельность (в рассматриваемом контексте обращённая исключительно к сфере инвестиций), способная её притормозить или даже преодолеть.



ЛАВРОВСКИЙ Борис Леонидович — доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник ИЭОПП СО РАН, профессор НГТУ. ГОРЮШКИНА Екатерина Алексеевна — кандидат экономических наук, научный сотрудник ИЭОПП СО РАН, доцент НГУ.

Экспертное сообщество России единодушно в признании необходимости роста нормы накопления в ВВП. Гораздо меньше внимания уделяется тому обстоятельству, что образовавшаяся за десятилетия, и не только в постсоветской России,

диспропорция между потребностью в инвестициях и возможностью их мобилизации слишком велика. По-видимому, есть серьёзные объективные причины, из-за которых масштабы инвестиций до сего времени существенно не дотягивают до показателей 1990 г., не выполняются указы Президента РФ. В литературе присутствует разбор и анализ этих причин [2].

По нашему мнению, рассчитывать исключительно на количественный рост капитала с целью создания современного технологического фундамента, тем более в сложившейся геополитической обстановке и известном инвестиционном климате, — ничем не обоснованная иллюзия. Как представляется, чрезвычайно актуальна задача выдвижения и обоснования разумной альтернативы только количественному росту инвестиций. Речь идёт о радикальном повышении качественных характеристик техники, создании прорывных технологий за счёт возрастающей результативности в высокоинтеллектуальной сфере исследований и разработок, касающейся прежде всего комплекса по производству машин, приборов, материалов.

Манёвр по переориентации на качественно иные источники и резервы роста требует специального экономического обоснования. В его основе, как мы полагаем, может лежать параметр, имитирующий интенсивность инновационной деятельности. В простейшем виде этот параметр предложен нами для целей межстранового сопоставления в работе [3]. В настоящей статье он применён главным образом к российской ситуации.

История вопроса. В течение практически всего советского периода, включая годы перестройки, вопросы экономического соревнования с ведущими капиталистическими странами, прежде всего с США, обеспечение высших мировых показателей были важнейшим приоритетом государственной экономической политики. При этом предметом соревнования являлись далеко не только объёмы добычи угля, выплавки стали, производства мяса, молока, выпуска тракторов и другой продукции. Предполагалось “догнать и перегнать” страны-соперники по ключевому индикатору — производительности труда, который в соответствии с учением классика есть “самое важное, самое главное для победы...” [4, с. 21].

В программных документах периода коммунистического строительства утверждалось, что к началу 1980-х годов “производительность труда в советской промышленности превысит современный уровень производительности труда в США примерно в два раза, а по часовой выработке — в связи с сокращением рабочего дня в СССР — значительно больше” [5, с. 278]. В годы перестройки выдвигалась задача достижения “мирового уровня производительности труда” [6].

Таблица 1. Характеристики развития промышленно-производственных основных фондов (ОФ)

Показатели	1970	1980	1985
Выбытие ОФ, %	2.3	1.9	1.9
Ввод в действие производственных основных фондов от их наличия на конец года, %	10.5	8.8	7.3

Источник: [7].

Поставленные задачи не оставались только на бумаге. По данным ЦСУ СССР, объём национального дохода в стране по отношению к США вырос с 31% в 1950 г., 58% в 1960 г. до примерно 65% к 1980–1985 гг., уровень производительности труда — с 44% в 1960 г. до 55% к 1980–1985 гг.

Во многом беспрецедентная динамика 1950–1960-х годов в дальнейшем существенно затормозилась, успехи в экономическом соревновании оказались не столь ощутимы. Примерно с середины 1970-х годов заметно сужаются относительные масштабы инвестиционной деятельности, постепенно проявляются признаки устаревания и деградации производственного аппарата (табл. 1).

По данным Госкомстата СССР, ещё в 1985 г. доля национального дохода, использованного на накопление, составляла 26.4%, в 1990 г. — только 20.7%; коэффициент обновления основных фондов, соответственно, 7.3 и 5.9%, износ основных фондов в промышленности — 41 и 46%.

В постсоветский период задачи экономического соревнования не сходят с повестки дня, но становятся менее амбициозными, целевые установки — более скромными. В начале нулевых годов ориентиром служили уже не мировые лидеры, а страны “второго эшелона”. “Для того чтобы достичь душевого производства ВВП на уровне современных Португалии или Испании — стран, не относящихся к лидерам мировой экономики, — нам понадобится примерно 15 лет при темпах прироста ВВП не менее 8% в год” [8]. Напомним, что производительность труда, например в Португалии в 2000 г., составляла 57.2% от американского уровня [9].

В новейшее время критерии выбора стран-соперников ещё более ослабли, основным ориентиром становится среднемировой уровень; отчётливо вырисовываются черты “новой реальности”. Вот характерное высказывание: “В России сейчас экономическая ситуация гораздо лучше других стран с развивающимися экономиками” [10]. Отрыв от мировых лидеров по уровню производительности труда, по мнению Правительства РФ, связан с рядом факторов, среди которых называ-

ются знакомые: нехватка инвестиций, технологическое отставание [11].

О перспективах вхождения России в число пяти крупнейших экономик мира. Совокупные объёмы производства товаров и услуг, измеряемые такими макроэкономическими показателями, как валовой внутренний продукт (ВВП) или валовой национальный продукт (ВНП), при международных сопоставлениях в динамике свидетельствуют об экономической мощи страны, её относительном укреплении или ослаблении. Политическим руководством страны поставлена задача вхождения Российской Федерации в число пяти крупнейших экономик мира [12, 13]. Чтобы оценить перспективы России войти в среднесрочной перспективе в Топ-5 экономических супертяжеловесов, нужно сопоставить складывающиеся тенденции в российской и мировой экономике, определиться с соперниками. Данные, характеризующие долю России в мировом ВВП, представлены на рисунке 1¹.

В 1990 г. доля России в мировой экономике составляла 6,5%, к 1998 г. — 3,0%. После кризиса и дефолта 1998 г. устойчивое преимущество в экономическом развитии относительно средней оценки по миру позволило увеличить удельный вес России до 3,9% в 2008 г. Определённое оживление мировой экономики после 2013–2014 гг. в слабой степени отразилось на экономическом росте нашей страны, и этот диссонанс стал особенно заметен в 2015–2017 гг. Место, занимаемое Россией по показателю ВВП в Топ-12, представлено в таблице 2. С 3-го места в 1990 г. наша страна переместилась на 10-е к 1998 г. В дальнейшем Россия методично улучшает свои позиции и к 2013 г. занимает уже 5-е место, хотя к 2017 г. сдвигается чуть ниже, оказываясь на 6-м месте.

За это же время Китай значительно продвинулся вперёд: занимая в 1990 г. 6-ю строчку, с 2013 г. он становится бессменным мировым лидером. Индия, занимавшая 10-ю позицию в 1990 г., закрепляется с 2013 г. в тройке крупнейших экономик. Огромный рывок вперёд сделала Индонезия: с 14-го места в 1990 г. на 7-е в 2017 г.

Положение России в 2017 г. выглядело следующим образом. Четыре страны (Япония, Индия, США, Китай) по объёму ВВП существенно её опередили (примерно от 136 до 584%), ещё четыре (Италия, Мексика, Франция, Соединённое Королевство) заметно отстали (от 59 до 72%). Реальными претендентами на 5-ю позицию среди крупнейших экономик в среднесрочной перспективе выступают четыре страны — Германия, Рос-

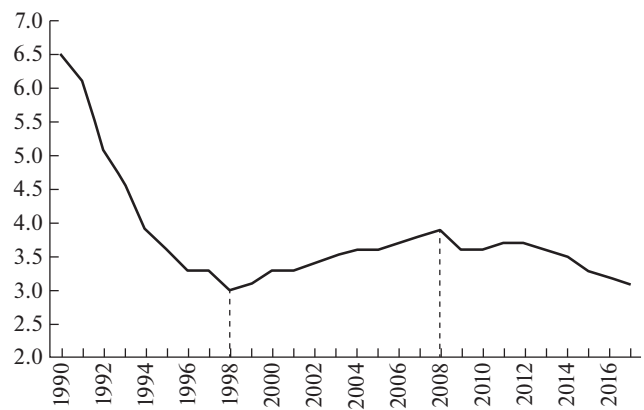


Рис. 1. Доля России в мировом ВВП (в постоянных ценах 2011 г., международные доллары с учётом ППС), %

Вертикальными штриховыми линиями обозначены границы смены тренда

Источник: рассчитано по данным [15].

сия, Индонезия, Бразилия. Некоторые важные ретроспективные и прогнозные характеристики экономического развития этих стран представлены в таблице 3.

Необходимо учитывать, что сценарии прогнозных расчётов в принципе могут быть разнообразными, опираться на различные концептуальные платформы, например, базироваться на сложившихся тенденциях. Если прогнозная динамика ВВП для всех четырёх стран сохранится на уровне 2001–2017 гг., то Россия поднимется на 5-ю позицию уже к 2020 г., но ненадолго. Через

Таблица 2. Относительное положение России по показателю ВВП среди 12 крупнейших экономик мира (Топ-12)

Страна	1990	1998	2000	2008	2013	2017
Китай	6	3	2	2	1	1
США	1	1	1	1	2	2
Индия	10	5	5	4	3	3
Япония	2	2	3	3	4	4
Германия	4	4	4	6	6	5
Российская Федерация	3	10	8	5	5	6
Индонезия	*	12	12	12	9	7
Бразилия	8	8	9	7	7	8
Великобритания	9	9	10	9	10	9
Франция	7	6	6	8	8	10
Мексика	11	11	11	11	12	11
Италия	5	7	7	10	11	12

*За пределами Топ-12.

Источник: определено по данным [15].

¹ Необходимо заметить, что полученные оценки существенно зависят от выбранных единиц измерения, нужно ответственно понимать достоинства и слабости каждой из них. Считается, что сопоставительная оценка ВВП должна строиться с учётом паритета покупательной способности (ППС) [14].

Таблица 3. Ретроспективные и прогнозные характеристики экономического развития стран-претендентов на пятое место среди крупнейших экономик мира

Страна	Ретроспективные показатели			Место России по показателю ВВП (прогноз)			
	Объём ВВП в 2017 г. (в пост. ценах 2011 г., международные доллары с учетом ППС), млрд долл.	Среднегодовая норма накопления в 2001–2017 гг., %	Среднегодовые темпы прироста ВВП в 2001–2017 гг. (в пост. ценах 2011 г., международные доллары с учётом ППС), %	2020	2024	2028	2029
Германия	3740.2	19.9	1.3	6	7	7	7
Россия	3636.7	20.4	3.4	5	5	5	6
Индонезия	2953.7	27.6	5.3	7	6	6	5
Бразилия	2951.7	18.4	2.3	8	8	8	8

9–10 лет, к 2029–2030 гг., ситуация изменится: Россия вернётся на 6-е место, Индонезия займёт 5-е. Если инерция прогнозного периода задаётся динамикой, сложившейся позднее, скажем, в 2010–2017 гг., то Россия в среднесрочной перспективе в пятёрку супертяжеловесов уже не войдёт.

В этой связи стоит более внимательно рассмотреть к феномену индонезийской экономики. Первое, что бросается в глаза, — заметно более высокая норма накопления, чем в остальных странах-претендентах на 5-е место. Напрашивается гипотеза о зависимости темпов роста ВВП Индонезии от динамики нормы накопления (рис. 2). Прерванный азиатским кризисом 1997 г. высокий динамизм индонезийской экономики, поддерживаемый нормой накопления приблизительно от 26 до 30%, возобновился с начала нуле-

вых годов. С этого времени ускорение темпов роста ВВП сопровождалось последовательным увеличением нормы накопления, значение которой с 2009 г. превысило 31%.

Итак, продолжение сложившихся тенденций возвращает Россию в Топ-5 в лучшем случае только до конца 2020-х годов. Для того чтобы устойчиво закрепиться в пятёрке крупнейших экономик, решить поставленную политико-экономическую задачу, недостаточно плыть по течению, требуется повышение темпов собственного развития.

Состояние производственного аппарата. В нулевые годы благодаря стабилизации масштабов инвестиционной деятельности в целом относительно предыдущего десятилетия удалось в известной степени приостановить обозначившиеся ранее

**Рис. 2.** Среднегодовые темпы прироста ВВП нарастающим итогом (с базой в 1990 г.) и значение нормы накопления в Индонезии

Вертикальными штриховыми линиями обозначены границы смены тренда

Источник: рассчитано по данным [15].

Таблица 4. Некоторые характеристики состояния производственного аппарата в РФ, %

Показатели	1990	2000	2004	2008	2015	2016	2017	2018
В целом: степень износа основных фондов	—**	39.3	43.5	45.3	47.7	48.1	47.3	47.4
удельный вес полностью изношенных машин и оборудования*	—	30.6	26.0	20.9	24.5	26.0	27.0	—
коэффициент выбытия основных фондов (в сопоставимых ценах)	—	1.3	—	1.0	1.0	0.8	0.7	—
Промышленность: доля оборудования в возрасте до 5 лет	29.4	4.7	8.6	13	15	—	—	—
доля оборудования в возрасте более 15 лет	25.8	59.2	74.0	35	27	—	—	—
доля оборудования в возрасте более 20 лет	15.0	38.2	51.5	19	12.0	—	—	—

*Без субъектов малого предпринимательства.

** Нет данных.

Источник: по данным [17].

негативные тенденции, касающиеся состояния производственного аппарата (ПА) (табл. 4). В частности, удельный вес полностью изношенных машин и оборудования, составлявший в России чуть менее 1/3 в 2000 г., сократился почти до 1/5 в 2008 г., за этот же период доля оборудования в возрасте старше 20 лет снизилась с 38.2 до 19.0%. Вместе с тем ухудшились характеристики износа основных фондов, доля молодого оборудования в промышленности в 2008 г. существенно не дотягивала до оценок 1990 г., практически прекратилось выбытие основных фондов. После 2008 г. состояние ПА в целом по экономике, судя по рассматриваемым индикаторам, ухудшилось.

По данным Всемирного банка, среднегодовой объем инвестиций в основной капитал (Gross fixed capital formation (constant 2010 US\$)) составил в России 233.3 млрд долл. в 1991–1999 гг., 228.0 млрд долл. в 2000–2008 гг., 374.6 млрд долл. в 2009–2017 гг. По-видимому, для радикального преодоления наследия 1990-х годов оказалось недостаточно стабилизации масштабов инвестиционной деятельности в нулевые годы и даже его заметного расширения в последующем.

Потребность в инвестициях и отраслевая структура экономики. Развитие ПА страны сопровождается его количественным расширением и качественным совершенствованием. То и другое достигается за счёт инвестиционной деятельности. О её эффективности можно судить по соотношению затраченных инвестиций и полученных результатов. При оценке деятельности, связанной с увеличением масштабов ПА, можно использовать традиционный показатель, сочетающий инвестиции с приростом, например, производственных мощностей, обусловленных этими инвестициями².

² По отношению к приросту ВВП аналогичный показатель или обратная ему величина часто используются в литературе для исчисления так называемой абсолютной эффективности капитальных вложений.

Состояние ПА, его качественные характеристики измеряются многочисленными технико-экономическими индикаторами, отражающими конкретные свойства применяемых технологий. Сводную обобщённую оценку качества ПА, его технологического совершенства на макроэкономическом уровне мы связываем с показателем производительности труда. В этом случае адекватный метод измерения эффективности вложений в улучшение качества ПА должен строиться, по-видимому, на сопоставлении инвестиций в усреднённое рабочее место с приростом производительности труда обслуживающего его работника. Исчисляемый с помощью данного приёма показатель, обозначенный нами ранее как $E^{1,T}$, интерпретируется как потребность в удельных инвестициях в течение периода $[1, T]$ для роста производительности труда единичной интенсивности (на 1%, одну единицу)³. В сопоставимых условиях этот показатель⁴ может оказаться полезным в рамках межстрановых сопоставлений: при обосновании перспективных решений свидетельствовать о необходимости больших или возможности меньших инвестиционных усилий для достижения равного с иной (сравниваемой) страной темпа роста производительности труда, а при оценке ретроспективной экономической динамики являться аргументом, объясняющим те или иные её свойства.

В качестве иллюстрации подхода к оценке эффективности вложений в качество ПА обратимся к соизмерению динамики производительности труда (в связи с инвестициями в рабочее место) в России и ряде других стран. В качестве базисного года для России примем 2004 г. Выбор обусловлен тем, что примерно с середины нулевых годов, но, возможно, и чуть раньше

³ Подробнее о показателе $E^{1,T}$ см., например, [3].

⁴ Двойное нормирование при его исчислении позволяет нивелировать эффект масштаба.

Таблица 5. Соотношение инвестиций и динамики производительности труда по некоторым странам

Страна	Период	Значение производительности труда (ВВП в постоянных ценах 2010), долл.		Численность занятых в среднегодовом выражении, тыс. человек	Инвестиции в основной капитал в целом за период, (постоянные цены 2010), млрд долл.	Душевые (в расчёте на одного занятого) инвестиции в основной капитал в целом за период, долл./занятого	Темп прироста производительности труда за период, %	Затраты инвестиций (в расчёте на одно среднегодовое рабочее место) для увеличения производи- тельности труда на 1%, долл./занятого, $E^{1,T}$
		в базисном году	в последнем году периода					
А	1	2	3	4	5	6 (5/4)	7 $((3/2 - 1.0) \cdot 100)$	8 (6/7)
Россия	2005–2017	17553.9	23056.6	70845.4	4363.7	61595.2	31.3	1964.9
Польша	1997–2009	17679.1	28121.3	14691.0	922.2	62774.8	59.1	1062.8
Эстония	1997–2009	17676.0	31899.0	609.5	58.9	96703.9	80.5	1201.8
Латвия	2001–2013	17407.9	29559.8	946.5	79.2	83708.7	69.8	1199.1
Литва	2001–2013	17144.0	32112.9	1 371.1	93.1	67874.7	87.3	777.4

Источник: рассчитано по данным [15].

ше, заработали естественные процедуры воспроизводства основного капитала, были мобилизованы в основном принудительно образовавшиеся в 1990-е годы свободные (резервные) мощности. Рассматриваемый период составляет 13 лет (2005–2017).

Сопоставимость (тождественность) условий в сравниваемых странах, о чём выше упоминалось, предполагает, в частности, примерно равный на стартовой позиции технологический уровень ПА, измеряемый значением производительности труда, а также одну и ту же продолжительность периода. В России в 2004 г. значение производительности составляло 17 554 долл./занятого (ВВП в ценах 2010 г.). На информационной базе Всемирного банка удалось выделить небольшое число стран (Польша, Эстония, Латвия, Литва) приблизительно с тем же значением производительности, но, разумеется, в разные годы⁵. Например, в Польше производительность труда 17 679 долл./занятого достигнута в 1996 г., соответственно, рассматриваемый

период — 1997–2009 гг.⁶ Результаты исчисления показателя $E^{1,T}$ свидетельствуют о том, что потребность в инвестициях в расчёте на одно рабочее место для увеличения производительности труда на 1% в России заметно выше, чем в четырёх упомянутых странах (табл. 5).

Этот результат нельзя считать неожиданным, он обусловлен, по-видимому, отраслевой структурой российской экономики, значением в ней прежде всего первичного сектора. Добывающие отрасли, отличаясь высокой капиталоемкостью продукции, оказывают существенное влияние на сводные показатели потребности в инвестициях. В России доля отрасли “Добыча полезных ископаемых” в структуре валовой добавленной стоимости, по данным Росстата, в последние годы в текущих ценах составляет чуть менее 10%, в то время как значение аналогичного показателя в других четырёх странах, по данным Евростата,

⁵ В информационной базе Всемирного банка со ссылкой на Международную организацию труда (МОТ) данные по производительности труда (ВВП в ценах 2010 г.) приводятся с 1991 г.

⁶ Сопоставимость условий включает ещё одно требование, состоящее в том, что уровень производительности труда в базовом и последнем году периода — это исторические максимумы. К сожалению, в ряде случаев это требование нарушается. Поскольку отклонения фактических величин от исторического максимума сравнительно небольшие, на выводы данное обстоятельство практически не влияет.

ничтожно (в Польше, например, в 2012 г. — 1.5% в ценах 2005 г.). Интерес представляют здесь данные о конкретных различиях, касающихся потребности в инвестициях в связи со спецификой отраслевой структуры в различных странах.

Достижение равных темпов роста производительности труда в странах, обременённых или не обременённых наличием мощного комплекса по добыче первичных природных ресурсов, требует разных подходов к инвестиционной политике. Исторически сложившаяся сравнительно “тяжёлая” отраслевая структура российской экономики объективно предполагает и относительно более высокую норму накопления.

Об оценке нормы накопления (прогнозные расчёты). Содержание инновационной деятельности применительно к сфере инвестиций состоит, как представляется, в создании технологий с преимущественным ростом производительности труда относительно удельных инвестиционных издержек; на операциональном уровне это проявляется в сокращении (стабилизации) во времени показателя $E^{1,T}$. Увеличение или уменьшение потребности в ресурсах инвестиций при заданных темпах роста производительности труда прямо зависит от значения этого показателя. Варьируя величиной $E^{1,T}$, имитируя тем самым интенсивность инновационной деятельности, можно в рамках сценарного подхода моделировать различные стратегии инвестиционного развития. Значение параметра $E^{1,T}$ на протяжении ретроспективного периода представлено на рисунке 3. Как видно, относительная стабильность величины $E^{1,T}$ в течение краткого периода (до 2008 г. включительно) в дальнейшем сменяется ростом. Штриховые вертикальные линии обозначают границы резкого изменения значения $E^{1,T}$, смены тренда.

Для построения прогнозных оценок потребности в инвестициях необходимо определиться также с экзогенным показателем динамики производительности труда. Это сама по себе непростая задача. В соответствии с национальным проектом “Производительность труда и поддержка занятости” [16], прогнозные характеристики производительности труда выглядят следующим образом (табл. 6). Для того чтобы получить среднегодовые показатели, необходимо было заполнить пустоты в таблице — в ней отсутствуют показатели 2020, 2022 и 2023 гг. На свой страх и риск, но в соответствии с очевидной логикой разработчиков примем темп роста в 2020 г. на уровне 102.0%, в 2022 г. и 2023 г. — по 104.0%. Тогда среднегодовой темп прироста производительности труда за период 2018–2024 гг. составит примерно 3%.

Рассмотрим три сценария прогнозных расчётов по оценке потребности в инвестициях в ос-

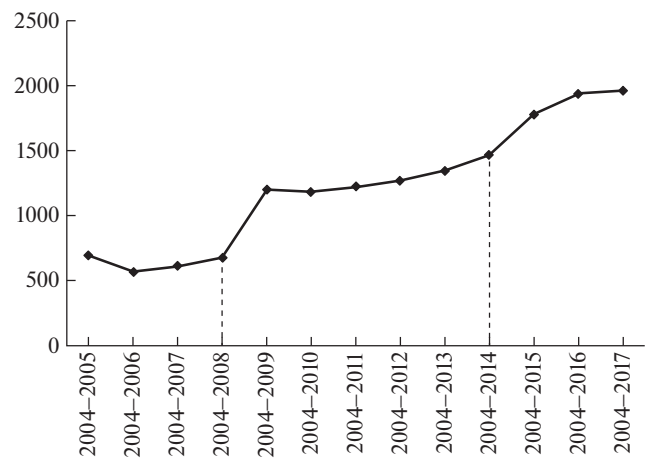


Рис. 3. Динамика величины $E^{1,T}$ в течение периода 2005–2017 гг., долл./занятого (базовый год — 2004 г.)
Вертикальными штриховыми линиями обозначены границы резкого изменения значения $E^{1,T}$

новной капитал на период 2018–2024 гг. Для всех сценариев общим является базовый год — 2018 г., неизменный ежегодный темп прироста производительности труда — 3.0%, а также стабильное в течение периода число занятых в экономике — 72.9 млн человек (все стоимостные данные в постоянных ценах 2010 г.). Сценарии различаются только значением параметра $E^{1,T}$. В первом (нейтральном) сценарии его величина составляет 2000 долл./занятого, что приблизительно соответствует фактическому значению за период 2005–2017 гг., во втором (пессимистическом) — 2200 долл./занятого, в третьем (оптимистическом) — 1800 долл./занятого.

Продemonстрируем логику расчётов на примере первого (нейтрального) сценария применительно к 2024 г. В 2018 г. значение ВВП составляло 1722.2 млрд долл., в 2024 г. — $1722.2 \times 1.03^6 = 2056.4$ млрд долл. Объём инвестиций в целом за период 2018–2024 гг. равен 2829.3 млрд долл. ($E^{1,T} \cdot$ темп прироста производительности в процентах \cdot численность занятых); в 2024 г. — 507.1 млрд долл. Норма накопления в 2024 г.

Таблица 6. Рост производительности труда на средних и крупных предприятиях базовых несырьевых отраслей экономики России, % к предыдущему году

Год	Темп роста
2018	101.4
2019	101.4
2021	103.1
2024	105

Таблица 7. Результаты прогнозных сценарных расчётов

Показатели	2018	2024 (прогноз)		
	Базовый год	Сценарий 1 (нейтральный)	Сценарий 2 (пессимистический)	Сценарий 3 (оптимистический)
ВВП, млрд долл.	1722.2	2056.4	2056.4	2056.4
Инвестиции в основной капитал, млрд долл.	367.0	507.1	557.8	456.4
Норма накопления, %	21.3	24.7	27.1	22.2
Значение $E^{1,T}$, долл./занятого	1964.9	2000	2200	1800

достигнет 24.7%. Сводные расчётные данные приведены в таблице 7.

Как видно, продолжение сложившихся тенденций, касающихся удельных затрат инвестиций на 1% прироста производительности труда в рамках первого сценария, приводит к значению нормы накопления к 2024 г., равной 24.7%. Снижение параметра $E^{1,T}$ на 10% относительно сложившегося уровня в рамках третьего сценария делает вполне реалистичным решение задачи среднегодового темпа прироста производительности в размере 3% до 2024 г. Норму накопления необходимо повысить по отношению к базовому уровню менее чем на 1 процентный пункт (до 22.2%).

Итак, достижение в прогнозном периоде до 2024 г. среднегодового темпа прироста производительности труда на 3% вполне вероятно; достижение этой цели предполагает чуть лучшие структурные соотношения и чуть выше норму накопления, чем сложились к началу периода.

Возвращаясь к исходному сюжету, связанному с задачей вхождения Российской Федерации в число пяти крупнейших экономик мира, стоит добавить следующее. Среднегодовой темп прироста производительности труда на уровне 3% — достаточно скромный ориентир⁷, но достижение даже этой сравнительно низкой планки в среднесрочной перспективе требует напряжения сил.

* * *

Подведём итоги. Достижение высокого уровня производительности труда при относительно низких масштабах инвестиционной деятельности в развитых странах стало возможным благодаря интенсивной инновационной деятельности, всё более технологически зрелой и совершенной структуре производственного аппарата. Возможность в России приблизиться к уровню производительности стран-лидеров связана с преимуще-

ственным темпом роста несырьевых отраслей экономики, радикальной модернизацией и реконструкцией основных фондов, с принципиально лучшей структурой технологических укладов на базе повышения нормы накопления не ниже 23–25%. Продолжение существующих тенденций относительно динамики ВВП позволит России в ближайшие годы подняться на 5-ю позицию среди стран мира по объёму ВВП, но только до конца 2020-х годов.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Результаты исследования получены в рамках выполнения Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, проект 26.2024.2017/4.6.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента РФ от 01.12.2016 г. № 64 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». <http://kremlin.ru/acts/bank/41449>
2. Глазьев С.Ю. ЦБ и госбанки должны кредитовать экономику. <https://glazev.ru/articles/165-intervju/59150-tsb-i-gosbanki-dolzheny-kreditovat-jekonomiku>
3. Lavrovskii B.L. Investment Opportunities to Accelerate Labor Productivity Dynamics // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2018. V. 88. № 3. P. 220–229; Лавровский Б.Л. Инвестиционные предпосылки ускорения динамики производительности труда // Вестник РАН. 2018. № 6. С. 519–530.
4. Ленин В.И. Полн. собр. соч. Т. 39. <http://www.uaio.ru/vil/39.htm>
5. XXII съезд Коммунистической партии Советского Союза 17–31 октября 1961 года. Стенографический отчёт. http://istmat.info/files/uploads/52747/22_sezd_chast_3_1962_g.pdf
6. Апрельский Пленум ЦК КПСС 1985 года. <https://ria.ru/spravka/20100423/225974123.html>
7. Народное хозяйство СССР за 70 лет. М.: Финансы и статистика, 1987.
8. Путин В.В. Россия на рубеже тысячелетий. http://www.ng.ru/politics/1999-12-30/4_millennium.html

⁷ По данным Всемирного банка, его значение за период 2001–2017 гг. составило в мире в целом 2.2%, в Индонезии — 3.6% (в постоянных долл. 2011 г. с учётом ППС).

9. Международная организация труда. <http://www.ilo.org/ilostat/>
10. Выступление первого вице-премьера—министра финансов Антона Силуанова на “Примаковских чтениях 2019”. https://m.minfin.ru/ru/press-center/?id_4=36668&area_id=4&page_id=2207&popup=Y
11. Медведев назвал пять причин низкой эффективности труда в России // РБК: <https://www.rbc.ru/economics/30/08/2017/59a6b0959a79470df9346274>
12. Указ Президента РФ от 07.05.2018 № 204 “О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года”. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201805070038>
13. Послание Президента РФ Федеральному Собранию. 01.03.2018. <http://kremlin.ru/events/president/news/56957>
14. Методологические разработки Росстата. Раздел 7.5. Международные сопоставления валового внутреннего продукта на основе паритета покупательной способности валют. http://www.gks.ru/bgd/free/meta_2010/Iss-WWW.exe/Stg/d1996/i000380r.htm
15. Всемирный банк. <https://data.worldbank.org/products/wdi>
16. Национальные проекты: целевые показатели и основные результаты. На основе паспортов национальных проектов, утверждённых президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24 декабря 2018 г. Москва, 2019 г. <http://www.static.government.ru/media/files/p7nn2CS0pVhvQ98OOwAt2dzCIAietQ-ih.pdf>
17. Федеральная служба государственной статистики. <http://www.gks.ru/>

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ОТДЕЛ

ПРЕЗИДИУМ РАН РЕШИЛ
(декабрь 2019 г.)

• Утвердить доктора политических наук **Р.Н. Лункина** главным редактором журнала “Современная Европа” РАН с 24 сентября 2019 г. сроком на пять лет.

• Утвердить доктора физико-математических наук **Л.Е. Свистова** главным редактором журнала “Приборы и техника эксперимента” РАН с 10 декабря 2019 г. сроком на пять лет.

• Утвердить члена-корреспондента РАН **А.А. Соловьёва** главным редактором журнала “Вулканология и сейсмология” РАН с 10 декабря 2019 г. сроком на пять лет.

• **Коренные изменения наземных экосистем в России в XXI в.: вызовы и возможности**

Заслушав и обсудив доклад члена-корреспондента РАН **П.В. Крестова**, содоклады члена-корреспондента РАН **Н.В. Лукиной** и доктора биологических наук, профессора РАН **Е.К. Хлесткиной**, выступления члена-корреспондента РАН **Ю.В. Плугатаря**, докторов биологических наук **Н.Б. Ермакова**, **Д.В. Гельмана**, кандидата биологических наук **В.П. Упелниака**, президиум РАН отмечает важность и актуальность обозначенных проблем, связанных с трансформацией наземных экосистем в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий, а также необходимость разработки действенных мер по сохранению и рациональному использованию растительных ресурсов Российской Федерации.

Происходящие изменения наземных экосистем — лесов, болот, тундры, лугов, степей — в результате возрастающих антропогенных нагрузок и изменения климата всё в больших масштабах трансформируют эволюционно сложившуюся структуру растительного покрова России, что ведёт к увеличению экологических рисков и экономических последствий. Комплексное изучение всех компонентов и механизмов функционирования наземных экосистем позволит разработать основы управления продуктивностью и устойчивостью экосистем в условиях интенсивной эксплуатации и изменения климата, сохранения генфонда и природного разнообразия экосистем и определить стратегию устойчивого природопользования.

В настоящее время к важнейшим условиям устойчивого социально-экономического развития относятся сохранение комфортной для проживания природной среды, повышение эффективности использования ресурсов наземных

экосистем. Однако вовлечение наземных растительных ресурсов в современную экономику сопровождается не только обеднением этой ресурсной базы, но и трансформацией биогеохимических и биогеоклиматических циклов, обеспечивающих стабильность биосферы.

Потепление климата создаёт предпосылки для расширения ареалов сельскохозяйственных культур. Новые территории могут стать пригодными для земледелия и развития тех направлений сельскохозяйственного производства, которые ориентированы на получение продуктов с высокой добавленной стоимостью. В то же время возникают новые угрозы эрозии и деградации почв, агро-экологические риски, связанные с инвазиями сорняков, вредителей и патогенов. В этих условиях необходимо развивать моделирование данных процессов для понимания последствий изменения практики землепользования, прежде всего с целью достичь баланса между расширением сельскохозяйственных и сохранением естественной растительности.

Для предотвращения рисков возникновения кризисных ситуаций в стране, связанных с интенсификацией лесопользования в контексте изменения климата, стоит задача превращения лесного хозяйства в эффективную отрасль биоэкономики замкнутого цикла.

Леса являются самыми распространёнными наземными биотопами нашей планеты, обеспечивающими местообитаниями более половины известных видов растений и животных. Особая роль в сохранении мирового биоразнообразия лесов и выполнении ими экосистемных функций принадлежит России, на долю которой приходится 22% всех мировых лесных ресурсов. Анализ материалов спутникового мониторинга и результатов стационарных наземных наблюдений демонстрирует, что с начала текущего столетия наблюдается заметное сокращение лесного покрова России, обусловленное комбинированным влиянием природных и антропогенных факторов, к которым относятся изменение климата, пожары, промышленное загрязнение, массовые вспышки роста численности вредителей (включая инвазивные виды), грибные и бактериальные болезни, истощительное использование лесов, нерациональное ведение лесного хозяйства, связанное с низким уровнем внедрения новых научных знаний. В то же время значительных размеров

достигли площади заброшенных сельскохозяйственных земель, зарастающих древесной растительностью.

Для устойчивого управления лесами, развития новых рынков экосистемных услуг и биоэкономики в России следует идентифицировать природные и антропогенные факторы, вызывающие изменения в лесах на различных пространственных и временных уровнях, оценить связи между комбинированным действием этих факторов, биоразнообразием, экосистемными функциями/услугами, благосостоянием и здоровьем людей в условиях глобальных изменений. Для решения этих задач необходимо развивать:

- методы и технологии оценки, прогноза динамики лесных экосистем с использованием наземной информации и методов дистанционного зондирования Земли;
- методы изучения и сохранения биологического разнообразия лесов на генетическом, популяционном, экосистемном и ландшафтном уровнях, подходы и методы экологической, экономической и социальной оценки экосистемных услуг лесов;
- метод сохранения, использования и воспроизводства лесных генетических ресурсов и технологии повышения продуктивности лесов, плантационного лесного хозяйства;
- технологии биорефайнинга растительного сырья.

Президиум РАН отмечает, что для достижения этих целей нужно разработать новые научные программы и концепцию нового федерального закона “Лесной кодекс Российской Федерации”, а также наладить эффективное межведомственное взаимодействие для ускоренного внедрения научных разработок.

Среди приоритетных задач, связанных с трансформацией наземных экосистем, — разработка и применение современных технологий инвентаризации растительных сообществ и классификации растительности России; совершенствование нормативно-правовой базы, регулирующей рациональное использование растительных ресурсов; совершенствование методов прогнозирования развития наземных экосистем и динамики ареалов растений в условиях климатических изменений; сохранение мирового и российского генофонда хозяйственно ценных растений на территории Российской Федерации; реализация стратегии *ex situ* и *in situ* сохранения культурных растений и их диких родичей как источника будущих адаптированных сортов растений с улучшенными свойствами в интересах продовольственной безопасности страны.

Важнейшую роль в решении обозначенных проблем могут и должны играть функционирующие под научно-методическим руководством РАН ботанические сады и сеть селекционных станций Все-

российского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, которые стали уникальными площадками не только для сохранения генофонда растительных ресурсов России, но и научными центрами по инвентаризации и исследованию растительной биоты.

Сегодня в ботанических садах сосредоточена значительная часть научных исследований растительных ресурсов. В России функционируют 112 ботанических садов различной ведомственной принадлежности, работа которых координируется Советом ботанических садов России. В их коллекциях сохраняется около трети видов природной флоры России.

Ботанические сады проводят широкий спектр фундаментальных и прикладных исследований в области науки о растениях и охраны окружающей среды, осуществляют мероприятия по сохранению и поддержанию растительного генофонда. Кроме того, они являются важными культурно-просветительскими и образовательными центрами. Генетические ресурсы растений, сохраняемые в коллекциях ботанических садов, служат единой национальной коллекцией, распределённой по всей территории Российской Федерации в широком диапазоне климатических условий.

Особого внимания требуют вопросы подготовки научных кадров в области сельского и лесного хозяйства, рационального природопользования, занятых изучением и сохранением природных экосистем, а также развития в высших учебных заведениях соответствующих образовательных программ.

Решение обозначенных задач будет содействовать достижению целей, изложенных в Указах Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 “О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года”, от 21 июля 2016 г. № 350 “О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства”, от 1 декабря 2016 г. № 642 “О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации”, от 28 ноября 2018 г. № 680 “О развитии генетических технологий в Российской Федерации”, в Федеральной научно-технической программе развития генетических технологий на 2019–2027 гг., утверждённой постановлением Правительства РФ от 22 апреля 2019 г. № 479, в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг., утверждённой постановлением Правительства РФ от 25 августа 2017 г. № 996 и в национальных проектах “Наука” и “Экология”.

Президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Принять к сведению представленную в докладах и выступлениях информацию о коренных изменениях наземных экосистем в России в XXI в. и связанных с ними вызовах и возможностях преодоления кризисных явлений.

2. Отделению биологических наук РАН (академик РАН **М.П. Кирпичников**), Отделению сельскохозяйственных наук РАН (академик РАН **Ю.Ф. Лачуга**) в трёхмесячный срок подготовить руководству РАН для последующего представления в Правительство Российской Федерации, Министерство науки и высшего образования РФ, Министерство сельского хозяйства РФ и Министерство природных ресурсов и экологии РФ предложения:

по включению задач сохранения разнообразия и ресурсов наземных экосистем и их рационального использования в Перечень приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации;

по подготовке федеральной научно-технической программы, направленной на оценку и сохранение биоразнообразия, экосистемных функций и услуг наземных биомов и их рациональное использование;

по осуществлению РАН научно-методического руководства за проведением научно-исследовательской работы на особо охраняемых природных территориях с целью восстановления системы государственной инвентаризации и мониторинга биоразнообразия и уникальных экосистем России;

по созданию межведомственного совета с участием РАН, Минобрнауки России, Минприроды России и Минсельхоза России с целью ускоренного внедрения разработанных научными организациями современных технологий и методов мониторинга и эффективного использования ресурсов и услуг наземных экосистем в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий;

по поддержке развития ботанических садов как центров сохранения растительных ресурсов России и их сетевого взаимодействия в рамках Совета ботанических садов России; приданию ботаническим садам, находящимся под научно-методическим руководством РАН, особого статуса, учитывающего специфику этих научных организаций при оценке эффективности их деятельности;

по созданию проекта концепции нового федерального закона “Лесной кодекс Российской Федерации” для перехода от модели заготовки древесины в естественных лесах к модели лесовыращивания целевых древесных пород, сохранения биоразнообразия и баланса между всеми экосистемными услугами лесов для будущих поколений;

по поддержке разработанного научно-исследовательскими институтами Российской Федерации и Республики Беларусь проекта концепции Научно-технической программы Союзного государства “Оценка и пути предотвращения рисков

возникновения кризисных ситуаций в лесах при интенсификации лесного хозяйства”, направленной на обеспечение достоверной информацией о лесах; экологическую и социально-экономическую оценку биоразнообразия, экосистемных услуг лесов и взаимосвязей между ними; разработку современных технологий охраны, защиты и воспроизводства лесов и повышения их продуктивности; разработку инструментов принятия взвешенных политических и управленческих решений при переходе к интенсивному лесному хозяйству.

3. Научному совету по лесу при Отделении биологических наук РАН (член-корреспондент РАН **Н.В. Лукина**) до 20 января 2020 г. подготовить и представить руководству РАН проект концепции нового федерального закона “Лесной кодекс Российской Федерации”.

4. Научному совету по изучению биоразнообразия и биологических ресурсов при Отделении биологических наук РАН (секция ботаники, доктор биологических наук **Д.В. Гельтман**) до 1 февраля 2020 г. подготовить и представить руководству РАН предложения по подготовке фундаментальных изданий “Флора Российской Федерации: сосудистые растения”, “Флора мхов России” и “Лишайники России”, а также концепцию создания классификации растительности России.

5. Рекомендовать Российскому научному фонду и Российскому фонду фундаментальных исследований организовать дополнительные тематические конкурсы, направленные на изучение биосферных функций наземных экосистем, сохранение растительных генетических ресурсов.

6. Контроль за выполнением настоящего постановления возложить на вице-президента РАН академика РАН **Д.В. Адрианова**.

• Об итогах выборов членов РАН и иностранных членов РАН в 2019 г.

Заслушав и обсудив информацию заместителя главного учёного секретаря президиума РАН члена-корреспондента РАН **А.А. Макоско**, президиум РАН отмечает, что в соответствии с пунктами 34, 35 устава РАН президиум РАН 26 апреля 2019 г. принял решение провести 14 и 15 ноября 2019 г. выборы членов РАН и иностранных членов РАН и утвердил распределение по отделениям РАН и специальностям 76 вакансий академиков РАН и 171 вакансию членов-корреспондентов РАН, в том числе 27 вакансий с ограничением возраста (до 56 лет).

Созданной Рабочей группой под председательством вице-президента РАН академика РАН **В.В. Козлова** были выработаны рекомендации, поддержанные отделениями РАН, по подготовке

и проведению выборов в 2019 г., согласно которым предлагалось:

- постепенное сокращение числа вакансий;
- предоставление самостоятельности отделением РАН в вопросах принятия решений по количеству вакансий для кандидатов в члены-корреспонденты РАН с ограничением возраста;
- расширение формулировок названий специальностей на вакансии с учётом приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации;
- предоставление права отделениям РАН самостоятельно определять порядок и формы выступлений кандидатов в предвыборный период;
- публикация сведений о зарегистрированных кандидатах на сайте РАН по решению бюро отделений РАН.

Президиумом РАН и отделениями РАН проделана значительная работа по обеспечению открытости и высокой конкурентности при проведении выборов. Списки зарегистрированных кандидатов в члены РАН за два месяца до выборов были опубликованы в газете “Поиск” и на официальном сайте РАН.

Заключения по всем зарегистрированным кандидатам и рекомендации наиболее достойных из них были представлены на собраниях секций отделений РАН 33 экспертными комиссиями, в состав которых вошли 406 академиков РАН (49% их общей численности).

Впервые изготовление бюллетеней для тайного голосования на собраниях секций отделений РАН осуществлено на специальной защищённой бумаге, организован строгий учёт использования бюллетеней. На общем собрании Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН для определения результатов тайного голосования применены урны-сканеры.

Комиссия РАН по противодействию фальсификации научных исследований и Комиссия РАН по борьбе с лженаукой накануне выборов провели инициативный анализ научной деятельности кандидатов в члены РАН. При этом комиссиями была допущена поспешность и превышены полномочия при публикации результатов работы без предварительного обсуждения с отделениями РАН и президиумом РАН. Итоговые выводы, сформулированные комиссиями, в основном приняты во внимание Общим собранием членов РАН при проведении выборов.

Всего в выборах в 2019 г. приняли участие 1827 кандидатов: 325 — в академики РАН и 1502 — в члены-корреспонденты РАН, в том числе с ограничением возраста — 180 кандидатов.

На собраниях отделений РАН 12 ноября 2019 г. утверждены кандидаты: в академики РАН — 71 (из 76), в члены-корреспонденты РАН — 158 из 171,

в том числе 26 с ограничением возраста, и 44 кандидата в иностранные члены РАН.

По итогам тайного голосования на Общем собрании членов РАН избраны 71 академик РАН, 158 членов-корреспондентов РАН, в том числе 26 с ограничением возраста. Численность членов РАН на 15 ноября 2019 г. составила 2042 человека, из них 898 академиков РАН и 1144 члена-корреспондента РАН. Избраны 44 иностранных члена РАН (США — 11, ФРГ — 6, Китай — 4, Великобритания — 3, Нидерланды — 3, Франция, Канада, Австралия, Беларусь — по 2, Япония, Австрия, Израиль, Новая Зеландия, Сербия, Финляндия, Швейцария, Монголия, Киргизия — по 1).

Из числа профессоров РАН избрано 3 академика РАН и 36 членов-корреспондентов РАН. В академики РАН избрано 4 женщины, в члены-корреспонденты РАН — 26. Президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Принять к сведению информацию заместителя главного учёного секретаря президиума РАН члена-корреспондента РАН **А.А. Макоско** об итогах выборов в РАН в 2019 г.

2. Отметить, что выборы в РАН прошли организованно, с соблюдением принципов гласности, открытости и высокой конкурентности.

3. С целью выработки основных направлений формирования кадровой политики, дальнейшего совершенствования системы выборов в РАН создать Рабочую комиссию по подготовке предложений к выборам в Российской академии наук (далее — Рабочая комиссия).

4. Назначить вице-президента РАН академика РАН **В.В. Козлова** председателем Рабочей комиссии и утвердить её состав: академик РАН **В.В. Козлов** — председатель, академики РАН **А.О. Глико**, **А.А. Дынкин**, **М.П. Кирпичников**, **Г.Я. Красников**, **Ю.Ф. Лачуга**, **Н.А. Макаров**, член-корреспондент РАН **А.А. Макоско**, академики РАН **Ю.С. Осипов**, **В.Н. Пармон**, **В.А. Рубаков**, **В.И. Сергиенко**, **И.А. Соколов**, **В.Е. Фортов**, **А.Р. Хохлов**, **В.Н. Чарушин**, **В.П. Чехонин**, **И.А. Щербаков**.

5. Поручить Рабочей комиссии разработать предложения:

5.1. по основным направлениям кадровой политики в РАН;

5.2. по совершенствованию системы выборов в РАН;

5.3. о внесении изменений в устав РАН по вопросам совершенствования системы выборов в РАН и представить их в Комиссию по уставу федерального государственного бюджетного учреждения “Российская академия наук”;

5.4. по внедрению системы электронного подсчёта голосов на выборах в Российской академии наук;

5.5. по подготовке Положения о порядке избрания и работе с иностранными членами РАН.

6. Поручить академикам-секретарям отделений РАН по областям и направлениям науки провести анализ перечня научных специальностей и при необходимости их корректировки подготовить предложения в Рабочую комиссию.

7. Рабочей комиссии регулярно информировать президиум РАН о проводимой работе.

8. В соответствии с постановлением Общего собрания членов РАН от 15 ноября 2019 г. № 62.2 заслушать в январе 2020 г. на заседании президиума РАН информацию о работе Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований и Комиссии РАН по борьбе с лже-наукой.

• О согласовании состава Комиссии по уставу федерального государственного бюджетного учреждения “Российская академия наук”

В соответствии с подпунктом “е” пункта 82 устава федерального государственного бюджетного учреждения “Российская академия наук”, утверждённого постановлением Правительства РФ от 27 июня 2014 г. № 589, президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Согласовать и представить на утверждение президенту РАН следующий состав Комиссии по уставу федерального государственного бюджетного учреждения “Российская академия наук”: академик РАН В.В. Козлов — председатель, академик РАН А.Г. Лисицын-Светланов — заместитель председателя, кандидат юридических наук Е.В. Понизова — советник вице-президента РАН, учёный секретарь, академик РАН С.М. Алдошин, академик РАН В.В. Береговых, член-корреспондент РАН А.В. Габов, академики РАН А.О. Глико, А.И. Григорьев, Н.К. Долгушкин, А.А. Дынкин, М.П. Егоров, М.П. Кирпичников, Г.Я. Красников, Ю.Ф. Лачуга, Г.Г. Матишов, Г.А. Месяц, Р.И. Нигматулин, В.Н. Пармон, В.И. Сергиенко, А.В. Смирнов, И.А. Соколов, К.А. Солнцев, В.И. Стародубов, В.А. Тишков, В.А. Ткачук, В.Е. Фортков, А.Р. Хохлов, В.Н. Чарушин, И.А. Щербаков.

2. Считать утратившим силу постановление президиума РАН от 14 ноября 2017 г. № 189 «О согласовании состава Комиссии по уставу федерального государственного бюджетного учреждения “Российская академия наук”».

• О Комиссии президиума РАН по совершенствованию структуры научных организаций

Президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Переименовать Комиссию президиума РАН по совершенствованию структуры научных организаций, находящихся под научно-методическим руководством РАН, в Комиссию президиума РАН по совершенствованию структуры науч-

ных организаций, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ.

2. Утвердить президента РАН академика РАН А.М. Сергеева председателем Комиссии президиума РАН по совершенствованию структуры научных организаций, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ.

3. Утвердить **Положение о Комиссии президиума РАН по совершенствованию структуры научных организаций**, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ.

4. Утвердить **состав Комиссии президиума РАН по совершенствованию структуры научных организаций**, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ, сроком на 5 лет.

5. Внести соответствующие изменения в приложение 1 к постановлению президиума РАН от 22 января 2019 г. № 12 “О Перечне научных, экспертных, координационных советов, комитетов и комиссий, состоящих при президиуме РАН и отделениях РАН по областям и направлениям науки”.

**Положение
о Комиссии президиума РАН по совершенствованию структуры научных организаций, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ**

1. Общие положения

1.1. Комиссия президиума РАН по совершенствованию структуры научных организаций, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ (далее — Комиссия) создана в соответствии с постановлением Правительства РФ от 24 декабря 2018 г. № 1652 «Об утверждении Правил взаимодействия федерального государственного бюджетного учреждения “Российская академия наук” и Министерства науки и высшего образования РФ при осуществлении ими отдельных полномочий в соответствии с Федеральным законом “О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” (и уставом РАН)».

1.2. Комиссия в своей деятельности руководствуется Конституцией Российской Федерации, федеральным законодательством, указами и распоряжениями Президента Российской Федерации, постановлениями и распоряжениями Правительства Российской Федерации, уставом РАН, постановлениями Общего собрания членов РАН, постановлениями президиума РАН и распоряжениями РАН, а также настоящим Положением.

1.3. Комиссия является коллегиальным совещательным и координационным органом РАН.

1.4. Комиссия осуществляет следующие функции:

1.4.1. рассматривает предложения Минобрнауки России о принятии решений о реорганизации или ликвидации научных организаций, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ, содержащие обоснования их целесообразности;

1.4.2. организует процедуру подготовки отделениями РАН по областям и направлениям науки (далее — отделения РАН) совместно с региональными отделениями РАН предложений в отношении формирования позиции РАН о реорганизации или ликвидации научных организаций, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ (далее — позиция);

1.4.3. с учётом позиции отделений РАН и региональных отделений РАН (в отношении научных организаций соответствующего региона) даёт рекомендации о согласовании (несогласовании) предложений Минобрнауки России о принятии решения о реорганизации или ликвидации научной организации, указанной в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ;

1.4.4. рассматривает представленный Минобрнауки России на согласование в РАН план реструктуризации научных организаций и дополнения к нему, даёт рекомендацию о его согласовании (несогласовании);

1.4.5. даёт рекомендации о согласовании (несогласовании) проектов реструктуризации научных организаций, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ;

1.4.6. рассматривает спорные вопросы, проводит консультации с целью достижения приемлемого решения;

1.4.7. выполняет иные поручения президента РАН и президиума РАН по вопросам, находящимся в пределах её компетенции.

1.5. Деятельность Комиссии осуществляется во взаимодействии с отделениями РАН по областям и направлениям науки, региональными отделениями РАН, структурными подразделениями аппарата президиума РАН, а также в информационном сотрудничестве с органами государственной власти, научными организациями и образовательными организациями высшего образования Российской Федерации, находящимися в ведении Минобрнауки России, иными заинтересованными организациями.

2. Порядок создания комиссии

2.1. Решение о создании, реорганизации и ликвидации Комиссии принимается постановлением президиума РАН.

2.2. Председатель Комиссии утверждается постановлением президиума РАН.

2.3. Положение о Комиссии, её состав и структура, а также вносимые в них изменения утверждаются постановлением президиума РАН.

2.4. Состав Комиссии утверждается сроком на 5 лет.

3. Состав и структура комиссии

3.1. Комиссия формируется в составе председателя и членов Комиссии.

3.2. Председатель Комиссии:

3.2.1. осуществляет общее руководство деятельностью Комиссии;

3.2.2. координирует работу членов Комиссии и привлекаемых, в случае необходимости, специалистов и экспертов;

3.2.3. проводит заседания Комиссии;

3.2.4. утверждает план работы Комиссии;

3.2.5. подписывает протоколы заседаний и другие документы Комиссии;

3.2.6. обеспечивает коллективное обсуждение вопросов, внесённых на рассмотрение Комиссии;

3.2.7. формирует отчёт о проделанной работе и наиболее важных результатах, полученных в рамках деятельности Комиссии;

3.2.8. распределяет обязанности между членами Комиссии.

3.3. Члены Комиссии:

3.3.1. руководствуются Положением о Комиссии;

3.3.2. регулярно посещают заседания Комиссии, назначенные его председателем;

3.3.3. вносят предложения по рассмотрению Комиссией отдельных вопросов по предмету её деятельности;

3.3.4. организуют в отделениях РАН процедуру подготовки предложений в отношении формирования позиции академии о создании, реорганизации и ликвидации научных организаций, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ, и представляют Комиссии материалы по их результатам;

3.3.5. подготавливают проекты решений и рекомендации по вопросам, рассматриваемым на заседаниях Комиссии;

3.3.6. участвуют в подготовке материалов по рассматриваемым вопросам;

3.3.7. выступают с докладами на заседаниях Комиссии.

4. Порядок работы Комиссии

4.1. Заседания Комиссии созываются по решению председателя Комиссии по мере необходимости.

4.2. Комиссия правомочна принимать решения по рассматриваемым вопросам, если на заседании присутствует не менее половины её списочного состава.

4.3. Решение Комиссии считается принятым, если за него проголосовало более половины присутствующих на заседании членов Комиссии.

4.4. При принятии решения в случае равенства голосов членов Комиссии право решающего голоса имеет председатель Комиссии.

4.5. Принимаемые на заседаниях Комиссии решения оформляются протоколами, которые подписываются председателем Комиссии.

4.6. Члены Комиссии могут квалифицированным большинством голосов принять решение о проведении тайного голосования по любому обсуждаемому ими вопросу.

4.7. Председатель Комиссии ежегодно представляет отчёт о проделанной работе и наиболее значимых результатах, полученных в рамках деятельности Комиссии, для утверждения на заседании Комиссии и не позднее 1 марта, следующего за отчётным годом, направляет утверждённый отчёт в Научно-организационное управление РАН.

4.8. Комиссия для осуществления возложенных на неё функций имеет право запрашивать у научных организаций сведения и материалы по вопросам, относящимся к её компетенции.

4.9. В случае, если член Комиссии по объективным причинам не имеет возможности участвовать в заседании, председатель Комиссии разрешает вопрос об участии указанного лица в заседании путём использования систем видеоконференц-связи при наличии технической возможности.

4.10. Комиссия может иметь адрес в информационно-телекоммуникационной сети Интернет, ссылка на который размещается на портале РАН.

4.11. Организационное обеспечение деятельности Комиссии осуществляет Управление по взаимодействию с государственными органами и научным сообществом РАН.

Состав Комиссии президиума РАН по совершенствованию структуры научных организаций, указанных в части 9 статьи 18 Федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ: академик РАН **А.М. Сергеев** — председатель, академики РАН **А.В. Адрианов, Ю.Ю. Балег, В.Г. Бондур, И.М. Донник, Н.К. Долгушкин**, кандидат физико-математических наук, **В.П. Калинушкин** (Профсоюз работников РАН), академики РАН **В.В. Козлов, Н.А. Макаров, В.Н. Пармон, В.И. Сергиенко, А.Р. Хохлов, В.Н. Чарушин, В.П. Чехонин**.

• Утвердить **состав Научно-координационного совета членов РАН** — научных руководителей научных организаций, подведомственных Минобрнауки России и находящихся под научно-методическим руководством РАН.

Состав совета

Бюро Совета: академик РАН **С.Н. Багаев** — председатель, академик РАН **Л.М. Зелёный** — заместитель председателя, академик РАН **В.А. Тютельян** — заместитель председателя, член-корреспондент РАН **А.А. Макоско** — учёный секретарь, академики РАН **С.М. Алдошин, В.И. Бердышев, В.Б. Бетелин, Л.А. Большов, Ю.В. Гуляев, А.А. Гусейнов, А.Л. Журавлёв, Н.А. Колчанов, А.Э. Конторович, А.Б. Куделин, В.В. Кулешов, Ю.Н. Кульчин, А.Н. Лагарьков, А.Б. Лисицын, А.Г. Литвак, В.Л. Макаров, Г.А. Месяц, А.М. Молдован, Р.И. Нигматулин, В.В. Окрепилов, В.И. Осипов, Д.С. Павлов, В.Я. Панченко, В.Ф. Пивоваров, В.И. Пустовойт, С.М. Рогов, С.Б. Середенин, К.А. Солнцев, С.М. Стишов, В.А. Стоник, В.Е. Фортон, А.Ю. Цивадзе, Б.Н. Четверушкин**.

Члены Совета

Членами Совета являются все члены РАН, назначенные научными руководителями научных организаций, подведомственных Минобрнауки России и находящихся под научно-методическим руководством РАН.

САМОЦИТИРОВАНИЕ: ТОНКОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

© 2020 г. О. В. Михайлов

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

E-mail: olegmkhly@gmail.com

Поступила в редакцию 06.11.2018 г.

После доработки 10.04.2019 г.

Принята к публикации 14.10.2019 г.

В статье рассматриваются проблемы, связанные с феноменом самоцитирования. Речь прежде всего идёт о цитировании автором своих ранних работ, независимо от того, в каких журналах они были представлены, а также о периодических изданиях, использующих цитирование для повышения собственного рейтинга. Отмечено, что в принципе самоцитирование может улучшить библиометрические показатели отдельных авторов, но при определённых ограничениях. Между тем самоцитирование журнала способно значительно поднять количественные характеристики его влияния в научной среде.

Ключевые слова: цитирование, самоцитирование, Web of Science, Scopus, РИНЦ.

DOI: 10.31857/S0869587320020103

Понимание значимости цитирования возникло уже в глубокой древности, когда науки в нынешнем её понимании не существовало. Так, благодаря упоминанию (что, по сути, равнозначно цитированию) работ древнегреческого философа Демокрита (ок. 460–370 гг. до н. э.) в трудах его современников мы узнали о научных заслугах учёного-энциклопедиста, ведь большая часть наследия мыслителя не дошла до наших дней. Важность цитирования понимали и в Средние века, и в Новое время, а на рубеже XX–XXI вв. в мировом и отечественном научном сообществе сформировалось достаточно устойчивое мнение, что цитируемость служит критерием значимости работ учёного и определяет степень востребованности результатов его труда.

Когда занятие наукой было делом небольшого круга людей, весомость вклада учёного оценивалась фактически по содержательным — качественным — параметрам. Во второй половине XX в., когда научная деятельность стала массовой профессией, возникла необходимость измерять результативность труда по количеству опубликованных работ и их цитированию. Одно время среди учёных даже доминировало мнение, что цитируемость более значима, нежели содержательная составляющая работы. Правда, в последние годы

в адрес сторонников целесообразности использования этого критерия для оценки научной деятельности выпущено немало критических стрел [1]. Тем не менее проблема адекватного учёта цитируемости несколько не потеряла актуальности: появились библиометрические индексы, количество которых уже измеряется двузначными цифрами [2–4], и число их постоянно растёт.

Безоговорочным лидером среди всех наукометрических показателей стал h -индекс, введённый в научный оборот в 2005 г. американским физиком Х. Хиршем. Десять лет назад Российская академия наук и Министерство науки и высшего образования РФ включила его в процедуру оценки эффективности работы учёных и научных организаций. Отсюда озабоченность многих исследователей повышением h -индекса (а значит, и цитируемости), потому что с ним связано членство в диссертационных советах, присвоение звания профессора РАН, возможность получения гранта РФФИ и др. На этом благодатном поле широко распространился, иногда приобретая гипертрофированный характер, феномен самоцитирования, рассматриваемый многими как один из наиболее доступных приёмов повышения цитируемости и связанного с ней h -индекса. Речь идёт не только о самоцитировании, когда автор в работе ссылается преимущественно на собственные статьи, независимо от того, в каких журналах они были представлены, но и об экспансии этого

МИХАЙЛОВ Олег Васильевич — доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии, сертификации и менеджмента КНИТУ.

явления в сферу периодических научных изданий (журналов), для характеристики которых некоторое время назад также ввели данный параметр.

Справедливости ради стоит сказать, что расхождение мнение о больших возможностях повышения цитируемости и индекса Хирша автора за счёт самоцитирования сильно преувеличено. Чтобы оказаться в авторитетной библиографической базе данных научного цитирования (к таковым относятся только Web of Science, Scopus и – с оговорками – РИНЦ), необходимо иметь массив научных статей, опубликованных в журналах, размещённых на данных платформах. Добиться этого непросто. Даже индексация на ресурсе РИНЦа затруднительна, при том что в перечень цитируемых журналов, охватываемых российской реферативной базой данных, нередко попадают весьма посредственные в научном отношении издания и такие же статьи. В 2017 г. руководству РИНЦа даже пришлось провести своего рода чистку и исключить из базы свыше 300 (!) журналов.

Вместе с тем попадание в РИНЦ, Web of Science (WoS) и Scopus отнюдь не означает получение значимого эффекта на ниве самоцитирования. Если исследователь захотел повысить личную цитируемость и *h*-индекс за счёт публикации работ в журналах этого ресурса, ему и в дальнейшем нужно размещать там новые статьи, ссылаясь на свои более ранние публикации, проиндексированные именно в РИНЦ, WoS и Scopus. В противном случае прироста цитируемости и тем более индекса Хирша в этих базах данных не будет.

Наконец, не факт, что в статьях, индексируемых в ключевых базах данных, учёному предоставят “зелёную улицу” в плане самоцитирования. По крайней мере, именно так обстоит дело в журналах Web of Science и Scopus, где обычно уже на стадии рецензирования главный редактор или уполномоченное им лицо и рецензенты с должным вниманием отслеживают, как часто автор статьи ссылается на собственные публикации. В случае, если самоцитирование покажется излишним и/или необоснованным, его могут потребовать сократить или вообще исключить. При игнорировании этого требования, скорее всего, последует отказ в приёме статьи к публикации.

По большому счёту самоцитирование в значительных масштабах можно осуществлять разве что в обзорных статьях. Однако и тут не всё так просто. Во-первых, подобные материалы по существу в науке традиции принято писать, когда хоть один из соавторов имеет несколько собственных оригинальных публикаций в авторитетных журналах по проблеме, которой посвящена обзорная статья. При отсутствии такого послужного списка готовить обзор считается не-

этичным даже для учёных с мировым именем. Во-вторых, существует норматив (правда, официально не зафиксированный, но тем не менее рекомендуемый), согласно которому доля самоцитирования в подобных статьях не должна превышать 75%. При этом столь высокая степень самоцитирования допускается лишь в тех весьма редких в наше время случаях, когда основной массив публикаций по данной проблематике в мире составляют работы автора обзора. В-третьих, – и это, пожалуй, самое важное – написание обзорных статей, индексируемых в Web of Science и Scopus, – удел немногих учёных. К слову, подавляющее большинство современных российских исследователей, в том числе доктора наук и профессора, таковых вообще не имеют. И понятно, почему: перефразируя А. Блока, можно сказать: “Чтобы заниматься обзорными статьями, надо уметь их писать”. Таким образом, повысить показатели своей научной деятельности с помощью самоцитирования можно лишь при высокой публикационной активности, достигаемой за счёт увеличения потока статей в качественных и авторитетных научных журналах, индексируемых в WoS и Scopus.

Ситуация усугубляется тем, что до сих пор не выработано чёткого определения понятия “самоцитирование”. В работе [5] выделено пять вариантов цитируемости статьи:

- цитирование публикации кем-либо из лиц, которые не являются её соавторами и никогда не были таковыми ни для данного исследователя, ни для его соавторов;
- цитирование публикации кем-либо из лиц, которые не являются её соавторами и никогда не были таковыми для данного исследователя, но были таковыми хотя бы для одного из других соавторов;
- цитирование публикации кем-либо из лиц, которые не являются её соавторами, но квалифицируются как соавторы данного исследователя по другим публикациям, независимо от срока их выхода в свет;
- цитирование публикации кем-либо из её соавторов, за исключением соавтора, для которого в данный момент определяется индивидуальный рейтинг научной деятельности;
- цитирование публикации тем из её соавторов, для которого в данный момент определяется индивидуальный рейтинг научной деятельности.

К самоцитированию относится лишь последний из указанных пунктов. Но ситуация выглядит сложнее. Дело в том, что количество соавторов в статье не лимитировано – их может быть два, десять, а то и сотни, тысячи человек. Например, в 1993 г. профессор Э. Тополь (США) опубликовал в журнале “New England Journal of Medicine” статью объёмом 10 страниц, при этом его соавторами

числились 976 (!) человек, что послужило поводом для вручения ему так называемой “шнобелевской премии” [2]. Не будем сейчас обсуждать, насколько оправдан количественный состав соавторов в статье небольшого объёма — проблема эта всё-таки лежит в иной плоскости [6]. Однако если в цитирующей или цитируемой статье авторов более одного, то возможно и даже вероятно, что для кого-то из соавторов это будет ссылка на его собственную работу, а для кого-то — нет. Причина в том, что в ряде научных журналов при большом количестве соавторов научной статьи в пристатейном списке литературы приводится не полный их перечень, а только первые (обычно три) фамилии, другие остаются за кадром под обозначением “и др.” (“et al.”). А раз так, то нельзя исключить, что фамилия автора, скрытая под сокращённым обозначением множественного числа, в списке цитируемых литературных источников фигурировать не будет и, как следствие, дополнительная информация о нём не поступит в реферативную базу данных, отслеживающую цитируемость публикаций. Значит, такому автору де-юре нельзя зачесть ни самоцитируемость, ни даже просто цитируемость данной статьи. Отсюда логично вытекает вывод, что к самоцитированию следует относить лишь те случаи, когда и в цитирующей, и в цитируемой публикации автор стоит на первом, а не на каком-либо ином месте, причём независимо от числа соавторов в статье. В остальных случаях речь, очевидно, должна идти не о самоцитировании, а о цитировании соавторами (похоже, именно так интерпретируется самоцитирование нашей национальной библиографической базой данных РИНЦ). Безоговорочно к самоцитированию можно отнести довольно редкие случаи, когда автор ссылается в своей работе на собственные статьи, опубликованные ранее.

Не менее сложен вопрос, связанный с трактовкой самоцитирования для поднятия рейтинга научной популярности издания. Но поскольку любой журнал — лицо юридическое и сам себя цитировать не может, вклад в его цитируемость могут вносить только авторы, публикующие статьи в нём и в других периодических изданиях. С учётом этого обстоятельства можно выделить как минимум восемь ключевых вариантов цитирования статей:

- цитирование статьи, опубликованной в журнале А, в статье, опубликованной в журнале В другим составом соавторов, ни один из которых никогда не был автором или соавтором какой-либо иной статьи, опубликованной в журнале А;
- цитирование статьи, опубликованной в журнале А, в статье, опубликованной в журнале В другим составом соавторов, один из авторов которой хотя бы однажды был автором или соавто-

ром какой-либо иной статьи, опубликованной в журнале А;

- цитирование статьи, опубликованной в журнале А, в статье, опубликованной в журнале В тем же количественным составом соавторов;
- цитирование статьи, опубликованной в журнале А, в статье, опубликованной в том же журнале, ни один из авторов которой до того никогда не был автором или соавтором какой-либо статьи, опубликованной в журнале А;
- цитирование статьи, опубликованной в журнале А, в статье, опубликованной в том же журнале, один из авторов которой хотя бы однажды был автором или соавтором какой-либо статьи, опубликованной в журнале А, при этом состав соавторов в цитирующей и цитируемой статье различен;
- цитирование статьи, опубликованной в журнале А, в статье, опубликованной в том же журнале, один из авторов которой хотя бы однажды был автором или соавтором какой-либо статьи, опубликованной в журнале А, при этом в число соавторов цитирующей и цитируемой статьи входит хотя бы один общий соавтор;
- цитирование статьи, опубликованной в журнале А, в статье, опубликованной в том же журнале, при этом состав соавторов цитирующей и цитируемой статьи совпадает по общему количеству и конкретным персоналиям, но различен по порядку их перечисления в перечнях соавторов;
- цитирование статьи, опубликованной в журнале А, в статье, опубликованной в том же журнале, при этом состав соавторов цитирующей и цитируемой статьи полностью совпадает по общему количеству, конкретным персоналиям и порядку их перечисления в перечне соавторов.

В каждой из перечисленных позиций в свою очередь могут быть образованы дополнительные варианты цитирования статей в зависимости от того, где издаётся журнал В — в России или за рубежом, индексируется ли он в ведущих международных базах данных WoS/Scopus, являются ли авторы цитирующих публикаций гражданами РФ или среди них есть представители других государств — субъектов международного права и т.д. Но не будем вдаваться в эти подробности, а рассмотрим более значимый вопрос о возможностях повышения библиометрических показателей издания за счёт самоцитирования.

Скажем сразу: самоцитирование журнала в отличие от цитирования автором собственных работ способно дать значительный эффект, ибо имеет гораздо меньше ограничений. Если на желание авторов цитировать самих себя журнал может наложить вето, то их право цитировать статьи из этого издания в другой научной периодике разумный главный редактор оспаривать не будет. И понятно, почему: такие ссылки ключевые базы данных к самоцитированию на уровне журнала не

относят. Кроме того, главный редактор вряд ли станет возражать, если в рамках его журнала один автор статьи будет цитировать других авторов, поскольку этот вариант не является для авторов самоцитированием по определению. Формально его, конечно, можно отнести к самоцитированию журнала, но не будем забывать, что журнал — юридическое лицо, а значит, говорить о его самоцитировании можно лишь в случае, когда одновременно с этим имеет место и самоцитирование автора.

Таким образом, благодаря изложенному выше способу можно значительно повысить цитируемость издания, а попутно и другие его библиометрические показатели, прежде всего импакт-фактор I_F (в РИНЦ, WoS) и аналогичный ему параметр CiteScore (в Scopus). Этим приёмом уже давно пользуются в западном мире, в частности в США и Великобритании, где существует традиция ссылаться, как правило, только на работы своих соотечественников. Кстати, именно благодаря этому американские и английские научные журналы достигают высоких значений I_F и CiteScore, опережая по этим параметрам аналогичные издания других стран. В России, увы, принято больше цитировать иностранные, преимущественно американские статьи, нежели собственные, хотя научный уровень многих наших работ точно не ниже пресловутого западного. Полагая, что российским учёным, особенно с высокой публикационной активностью, стоит использо-

вать опыт зарубежных коллег в области самоцитирования, чтобы улучшить библиометрические показатели отечественных научных изданий, прежде всего находящихся под патронажем РАН. Если наши журналы будут иметь высокие численные показатели I_F и CiteScore, не сомневаюсь, тогда потянутся со статьями и российские, и зарубежные исследователи. Это пойдёт на пользу отечественной, да и мировой науке и повысит авторитет страны за рубежом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игра в цифры, или Как теперь оценивают труд учёного. Сборник статей о библиометрике. М.: МЦНМО, 2011.
2. Штовба С.Д., Штовба Е.В. Обзор наукометрических показателей для оценки публикационной деятельности учёного // Управление большими системами. 2013. Т. 44. С. 262–278.
3. Холодов А.С. Об индексах цитирования научных работ // Вестник РАН. 2015. № 4. С. 310–320.
4. Михайлов О.В. Цитирование и цитируемость в науке. М.: URSS-ЛЕНАНД, 2017.
5. Mikhailov O.V. A New Citation Index for Researchers // Herald of Russian Academy of Science. 2012. № 5. P. 403–405; Михайлов О.В. Новый индекс цитирования исследователя // Вестник РАН. 2012. № 9. С. 829–832.
6. Михайлов О.В. Рассуждения о соавторах и соавторстве // Вестник РАН. 2014. № 1. С. 93–96.