ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

научный и общественно-политический журнал

том 92 № 10 2022 Октябрь

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

Журнал издаётся под руководством Президиума РАН

Главный редактор
А.Р. Хохлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.В. Адрианов, В.П. Анаников, Ю.Д. Апресян, А.Л. Асеев, Л.И. Бородкин, В.В. Бражкин, В.А. Васильев, А.И. Григорьев, А.А. Гусейнов, Г.А. Заикина (заместитель главного редактора), Л.М. Зелёный, Н.И. Иванова, А.И. Иванчик (заместитель главного редактора), С.В. Кривовичев, А.П. Кулешов, А.Н. Лагарьков, Ю.Ф. Лачуга, А.Г. Лисицын-Светланов, А.В. Лопатин, А.М. Молдован, В.И. Молодин, В.В. Наумкин, С.А. Недоспасов, А.Д. Некипелов, Р.И. Нигматулин, Н.Э. Нифантьев, А.Н. Паршин, В.М. Полтерович, С.М. Рогов, Г.Н. Рыкованов, Р.Л. Смелянский, О.Н. Соломина, В.А. Тишков, В.А. Ткачук, А.А. Тотолян, М.А. Федонкин, Т.Я. Хабриева, Е.А. Хазанов, В.И. Цетлин, В.А. Черешнев, В.П. Чехонин, И.А. Щербаков, А.В. Юревич

Заместитель главного редактора
Г.А. Заикина

Заведующая редакцией
О.Н. Смола

E-mail: vestnik@eco-vector.com, vestnik@pleiadesonline.com

Москва

ООО «Тематическая редакция»

Оригинал-макет подготовлен ООО «ИКЦ «АКАДЕМКНИГА»

© Российская академия наук, 2022
© Редколлегия журнала "Вестник РАН" (составитель), 2022

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-67137 от 16 сентября 2016 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Подписано к печати 03.10.2022 г.	Формат 60 × $88^{1}/_{8}$	Усл. печ. л. 11.98	Уч.-изд. л. 12.25
Тираж 161 экз.	Зак. 3970	Цена договорная	

Учредитель: Российская академия наук

Издатель: Российская академия наук, 119991 Москва, Ленинский просп., 14
Исполнитель по госконтракту № 4У-ЭА-131-21 ООО «Тематическая редакция»,
125252, г. Москва, ул. Зорге, д. 19, этаж 3, помещ. VI, комн. 44
Отпечатано в типографии «Book Jet» (ИП Коняхин А.В.),
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, 18, тел. (4912) 466-151

16+

СОДЕРЖАНИЕ

Том 92, номер 10, 2022

Наука и общество

И. В. Башлаков-Николаев, В. П. Заварухин, А. Г. Лисицын-Светланов, С. В. Максимов

Правовые аспекты современной глобальной конкуренции в космосе 919

С кафедры президиума РАН

А. Л. Максимов

Нефтепереработка и нефтегазохимия: импортозамещение и обеспечение технологической независимости 930

А. С. Носков

Научно-технический уровень исследований и перспективы импортозамещения в области промышленных катализаторов 940

Обозрение

А. С. Дятлова, Н. С. Новикова, Б. Г. Юшков, Е. А. Корнева, В. А. Черешнев

Гематоэнцефалический барьер в нейроиммунных взаимодействиях и развитии патологических процессов 950

А. А. Ярославов, М. С. Аржаков, А. Р. Хохлов

Одноразовая полимерная упаковка: проблема без решения? 961

Точка зрения

Л. В. Панкова, О. В. Гусарова

Мировая инновационно-цифровая экспансия: особенности момента 971

За рубежом

Е. Г. Комкова

Научная политика в Канаде 984

Этюды об учёных

А. А. Гусейнов

“Твоим я буду навсегда, меня родившая эпоха”
К 100-летию с дня рождения логика, философа, социолога А.А. Зиновьева 994

А. А. Свистунов, М. А. Осадчук, Е. Д. Миронова

Патологоанатом, философ, клиницист
К 135-летию со дня рождения академика АМН СССР И.В. Давыдовского 1008

CONTENTS

Vol. 92, No. 10, 2022

Science and society

I. V. Bashlakov-Nikolaev, V. P. Zavarukhin, A. G. Lisitsyn-Svetlanov, S. V. Maksimov
Legal aspects of modern global competition in space 919

On the Rostrum of the RAS Presidium

A. L. Maksimov
Oil refining and petrochemical industry: import substitution and ensuring technological independence 930

A. S. Noskov
Scientific and technical level of research and prospects for import substitution in the field of industrial catalysts 940

Review

A. S. Dyatlova, N. S. Novikova, B. G. Yushkov, E. A. Korneva, V. A. Chereshnev
The blood-brain barrier in neuroimmune interactions and the development of pathological processes 950

A. A. Yaroslavov, M. S. Arzhakov, A. R. Khokhlov
Disposable polymer packaging: a problem without a solution? 961

Point of view

L. V. Pankova, O. V. Gusarova
Global innovation and digital expansion: features of the moment 971

Abroad

E. G. Komkova
Science policy in Canada 984

Profiles

A. A. Guseynov
"I will be your's forever, the era that gave birth to me"
To the 100th anniversary of the birth of the logician, philosopher, sociologist A.A. Zinoviev 994

A. A. Svistunov, M. A. Osadchuk, E. D. Mironova
Pathologist, philosopher, clinician
To the 135th anniversary of the birth of Academician of the USSR Academy of Medical Sciences I.V. Davydovsky 1008

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 10, с. 919–929

НАУКА И ОБЩЕСТВО

ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ КОНКУРЕНЦИИ В КОСМОСЕ

© 2022 г. И. В. Башлаков-Николаев[a,*], В. П. Заварухин[b,**], А. Г. Лисицын-Светланов[c,***], С. В. Максимов[d,****]

[a]Институт государственной службы и управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия
[b]Институт проблем развития науки РАН, Москва, Россия
[c]Институт государства и права РАН, Москва, Россия
[d]Институт экономики РАН, Москва, Россия
*E-mail: bniv@list.ru
**E-mail: vzavarukhin@gmail.com
***E-mail: svetlanov@yust.com
****E-mail: sergeymax2006@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.04.2022 г.
После доработки 27.06.2022 г.
Принята к публикации 01.07.2022 г.

Статья посвящена анализу предыстории, современной практики и вероятных последствий предпринимаемых Соединёнными Штатами Америки мер по монополизации глобальных рынков космических товаров, которые уже сегодня могут рассматриваться как новый глобальный вызов человечеству.
Авторы приходят к выводу, что инициированные в 2020 г. двусторонние Соглашения Артемиды, целью которых объявлено освоение окололунного пространства и самой Луны при лидирующей роли США, обладают признаками будущего транснационального космического мегакартеля. Участниками такого мегакартеля могут стать крупнейшие, прежде всего американские, компании, уже сегодня работающие над созданием основных элементов программы коммерческого освоения Луны.
В качестве оптимального ответа со стороны России на начавшуюся монополизацию глобальной космической экономики авторы предлагают выработку интегративной модели космической экономики. Подобная модель должна сочетать как меры развития конкуренции среди национальных субъектов внутренних рынков космических товаров, так и шаги в направлении концентрации усилий всех заинтересованных хозяйствующих субъектов для достижения максимальной конкурентоспособности России и российских компаний на глобальных рынках.
Обосновывается необходимость формирования международно-правовой основы борьбы с картелями на рынках космических товаров, включая разработку мер противодействия монополизации глобальных космических рынков и установлению контроля над космическим пространством и небесными телами.

Ключевые слова: космос, международное космическое право, космический товар, конкурентное право, конкуренция, ограничение конкуренции, монополизация, космический мегакартель, демонополизация, декартелизация.

DOI: 10.31857/S0869587322100036

Стимулами к ускоренному развитию международного космического права стал не только произведённый Советским Союзом 4 октября 1957 г. запуск первого искусственного спутника Земли [1], но и настойчивое стремление США создать с использованием своего влияния на структуры ООН наднациональную правовую основу для осуществления легитимного наблюдения за территорией главного геополитического соперника [2, с. 11–18]. Это событие заставило по-новому взглянуть на

БАШЛАКОВ-НИКОЛАЕВ Игорь Васильевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры Института государственной службы и управления РАНХиГС при Президенте РФ. ЗАВАРУХИН Владимир Петрович – кандидат экономических наук, директор ИПРАН РАН. ЛИСИЦЫН-СВЕТЛАНОВ Андрей Геннадьевич – академик РАН, главный научный сотрудник ИГП РАН. МАКСИМОВ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ – главный научный сотрудник ИЭ РАН, советник руководителя ФАС России.

проблему территориальных границ государств, на границы суверенитета государств, на государственную безопасность, на сферы и характер деятельности человека и полномочия государства регулировать весь этот комплекс отношений. Специфика этих отношений объективно обусловлена тем, что изначально они выходят за рамки национальных границ и тем самым предполагают необходимость международно-правового регулирования, важность которого возрастает по мере расширения и развития деятельности в космосе.

ПРЕДЫСТОРИЯ ПРОБЛЕМЫ

В отечественной юридической науке первые идеи, рождённые в предчувствии возникновения космического права, высказал В.А. Зархар в 1926 г. [3, с. 90]; позднее они были развиты Е.А. Коровиным [4]. Среди зарубежных авторов можно упомянуть А. Хейли [4, с. 7]. В советской юридической литературе международное космическое право (МКП), как подотрасль общего международного права, было системно изложено в 1967 г. в шеститомном "Курсе международного права", подготовленном Институтом государства и права АН СССР. В последующие годы доктрина международного космического права активно развивалась советскими, а затем российскими учёными, в том числе А.Х. Абашидзе, В.С. Верещетиным, Г.П. Жуковым, Е.П. Каменецкой, Ю.М. Колосовым [5; 6, с. 15–17; 7, с. 147, 148; 8]. Помимо доктринальных подходов, отношения в космосе как сфера международно-правового регулирования объективно отражены в ряде международных договоров, документов Организации Объединённых Наций и её специализированных организаций [9].

Сегодня в отечественной научной литературе и в учебниках по международному космическому праву для вузов [10, с. 14; 11, с. 16] МКП обычно рассматривается как "совокупность международно-правовых норм и принципов, которые регулируют отношения между государствами и международными организациями по исследованию и использованию космического пространства, Луны и других небесных тел, а также устанавливают международно-правовой режим космического пространства (включая небесные тела)" [7, с. 152].

На Западе, главным образом в США, вскоре после значительных успехов в освоении космоса начал формироваться более широкий подход к определению круга отношений, требующих правового регулирования. В основе такого подхода лежала убеждённость в невозможности обеспечить адекватное регулирование всего *комплекса складывающихся в космосе интересов и отношений*, руководствуясь лишь базовыми положениями международного публичного права.

На наш взгляд, было бы ошибкой видеть исключительную злонамеренность в утверждении о недостаточности общих принципов международного права быть основополагающим и исключительным источником правового регулирования отношений в космосе. Попытки американской доктрины и правоприменительной системы выработать дополнительные правовые практики в определённой степени обусловлены объективными факторами.

Ко второй половине 1950-х годов круг субъектов, прорвавшихся в космос, как известно, был ограничен СССР и США. И это бесспорное лидерство сохранялось достаточно долго. Оно строилось на основе соревнования, где лейтмотивами были военная сфера и идеология. В обоих случаях – это сферы государственных интересов и решений, которые регулируются международным публичным правом и формируются под угрозой нарушения баланса стратегической безопасности. Эти факторы создают некие объективные предпосылки для совместной выработки международных договоров, квалифицируемых как основной источник международного права.

Однако кроме военной и идеологической конфронтации следует иметь в виду наличие иных сфер деятельности и мотивов, требующих международного регулирования: речь идёт о мирном использовании космоса и связанных с этим коммерческих интересах. И то, и другое воплощается в экономической деятельности, причём подходы США и СССР в 1950-е и последующие годы оставались здесь принципиально разными. Если для США космос – это прежде всего сфера коммерческой, хозяйственной деятельности, где господствует частный интерес, то для СССР понимание космоса как арены для рыночных отношений представлялось святотатством. В лучшем случае участие бизнеса допускалось в совместных международных проектах, осуществляемых под контролем государства.

Принципиально важно, что различия в понимании космической деятельности предопределили возникновение несовпадающих концепций правового её регулирования. Этим во многом объясняется появление в США *концепции недостаточности базовых принципов международного права* для регламентирования хозяйственной деятельности в космическом пространстве и на небесных телах. В соответствии с этим подходом такая деятельность требует специального юридического сопровождения. Этим объясняется типичное для США оправдание правомерности достаточно упрощённой регламентации завладения космическим пространством и небесными телами, а также их экономической эксплуатации теми государствами, которые располагают для этого реальными возможностями. Серьёзные расхождения с Советским Союзом по этим вопросам, с одной стороны, и отсутствие у других стран необходимых ресурсов для самостоятельного участия в освоении космического пространства – с дру-

гой, стали оправданием произвольной экономической эксплуатации космоса не только государством, но и коммерческими организациями, отдельными гражданами.

Так, принадлежащая гражданину США Д. Хоупу фирма “Лунное посольство” (Lunar Embassy), как следует из материалов её официального сайта, с 1980 г. осуществила продажу более 611 млн акров поверхности на Луне, Марсе, Венере, Меркурии и спутнике Юпитера Ио. Эту деятельность можно отнести не только к разряду курьёзов, но и мошенничеству, если принять во внимание факт регистрации уполномоченными властями штата Калифорния (не оспоренной до настоящего времени) декларации гражданина США Д. Хоупа о праве собственности на восемь небесных тел Солнечной системы. Согласно разъяснению “собственника”, приобретение участков на объектах солнечной системы осуществляется “по образцу старых американских законов”. Применительно к Луне такой подход, по его мнению, оправдан, поскольку “американцы первыми ступили на Луну и водрузили на ней свой флаг (то есть можно было бы утверждать, что если Луна когда-либо принадлежала кому-либо, то она, безусловно, принадлежит больше США, чем любому другому государству)” [12].

Распад СССР и отсутствие внятной политики России в отношении космоса в 1990-е годы в условиях ускоренного перехода к рыночной экономике открыли для США своего рода дорогу с односторонним движением, в том числе в отношении эксплуатации космического пространства. Следуя духу “старых американских законов”, в 2015 г. президент Соединённых Штатов Б. Обама подписал Акт о конкурентоспособности коммерческих космических запусков США (CSLCA, H.R. 2262), который был призван “способствовать созданию благоприятной среды для развития коммерческой космической отрасли” и узаконить право американских компаний и граждан владеть и продавать ресурсы, которые они добывают на астероидах и за пределами Земли (в частности, на Луне и Марсе) [13].

6 апреля 2020 г. президент США Д. Трамп утвердил исполнительное распоряжение “О поощрении международной поддержки восстановления и использования космических ресурсов”, в котором подчёркивается, что США не признают Соглашение о деятельности государств на Луне и других небесных телах 1979 г., установившее спутник Земли достоянием всего человечества. Согласно распоряжению Трампа “американцы должны иметь право вести коммерческое исследование, добычу и использование ресурсов в космическом пространстве в соответствии с применимым законодательством”, а госсекретарю США “надлежит противодействовать любым попыткам со стороны любого другого государства или международной организации трактовать Соглашение о Луне как отражающее или каким-либо иным образом выражающее обычное международное право” [14]. Этот подход сегодня активно критикуется не только российскими, но и зарубежными учёными, в частности, канадскими профессорами А. Боули и М. Байерсом [15, с. 174, 175]. Ключевым положением этого акта, на наш взгляд, является тезис о праве американцев добывать и использовать ресурсы в соответствии с *применимым законодательством*, а именно американским.

Такое законодательство США (в отличие от СССР и России) начали создавать спустя всего полгода после того, как отправили в космос свой первый спутник (1 февраля 1958 г.). Закон о национальной аэронавтике и космосе, подписанный президентом США в 1958 г. (Pub.L. 85–568) [16], стал первой предпосылкой для коммерческого использования космоса, начало которому было положено 10 июля 1962 г. запуском спутника “Telstar 1” для обеспечения первой прямой трансляции телевизионных изображений между США и Европой. Окончательно вопрос коммерциализации космической деятельности был решён в США принятием Закона о коммерческом космическом запуске 1984 г., основной задачей которого стало обеспечение благоприятных условий для коммерческого использования космоса частными предприятиями [17]. Данные односторонние решения США, по сути, дезавуируют всю сформировавшуюся к моменту их принятия международную договорную базу по космосу и уже сами по себе являются одним из глобальных вызовов человечеству.

На этом фоне правовая политика СССР составляла явный диссонанс техническим и политическим амбициям советского государства. В отечественных работах 1960-х годов можно было встретить определение национального космического права как совокупности норм, “регулирующих правовые отношения между людьми и между государствами в космическом пространстве” [18, с. 16]. Но лишь 20 августа 1993 г. был принят Закон РФ № 5663-I “О космической деятельности” (далее – Закон о космический деятельности), одним из принципов которого провозглашалось “поощрение привлечения внебюджетных средств в космическую деятельность при сохранении государственного контроля за их использованием и обеспечения гарантий соблюдения государственных интересов Российской Федерации” (ст. 4).

В ст. 32 Закона под космической деятельностью предложено понимать любую деятельность, связанную с “непосредственным проведением работ по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела”. Одновременно Россия провозгласила важный принцип: *недопустимость осуществления в космосе деятельности, запрещённой международными договорами РФ.* Потребовалось ещё почти 30 лет, прежде чем ст. 28 указанного

Закона была дополнена новым п. 3, согласно которому решения межгосударственных органов, принятые на основании положений международных договоров РФ в их истолковании, противоречащем Конституции РФ, не подлежат исполнению в России [19].

Достаточно ли этих мер для того, чтобы эффективно противодействовать тем реальным вызовам, которые порождены расширяющимся феноменом *нерегулируемой конкуренции хозяйствующих субъектов разных стран в космосе*, и уже официально объявленному США отказу от участия в международных договорах, которые будут мешать коммерческой эксплуатации космоса американскими компаниями? На наш взгляд, нет.

НОВАЯ СТАДИЯ МОНОПОЛИЗАЦИИ КОСМОСА

На состоявшемся в июне 2021 г. XXIV Петербургском экономическом форуме Институтом космических исследований РАН была организована дискуссия, посвящённая вызовам, связанным с освоением космоса. Однако среди этих вызовов, к сожалению, не нашлось места реальным и чрезвычайно чувствительным для нашей страны правовым и экономическим проблемам нерегулируемой космической конкуренции и монополизации космоса, горькие плоды которых мы рискуем очень скоро вкусить [20].

Созданная к настоящему времени международная договорно-правовая база (если не учитывать имеющие рекомендательный характер резолюции Генеральной Ассамблеи ООН 1963, 1982, 1986, 1992, 1996 гг.) регулирует преимущественно межгосударственные отношения, возникающие в связи с освоением космоса, и состоит в основном из соглашений, направленных на обеспечение безопасности космической деятельности и ответственности за ущерб, причиняемый космическими объектами[1]. Вместе с тем в последние годы стали появляться документы, которые по сути являются не многосторонними международными договорами, а публичными двусторонними договорами одного и того же хозяйствующего субъекта, обладающего признаками *естественной национальной монополии* в области обеспечения доступа к космическому пространству и небесным телам. К их числу прежде всего нужно отнести Соглашения Артемиды (The Artemis Accords), базовый вариант которых был разработан и предложен для подписания 13 октября 2020 г. Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA) [21]. Основной целью этих Соглашений объявлено освоение окололунного пространства и самой Луны при лидирующей роли США. На 1 июня 2022 г. NASA подписало Соглашения Артемиды с 20 национальными космическими агентствами [22].

При реализации Соглашений Артемиды планируется использовать те же принципы управления исполнением НИОКТР и приобретения прав интеллектуальной собственности на научные результаты, которые применяются в рамках Межправительственного соглашения о космической станции (Space Station Intergovernmental Agreement, Соглашение о МКС) [23], подписанного 29 января 1998 г. первоначально правительствами 15 государств (в дальнейшем правительство Великобритании отказалось от участия в Соглашении).

В соответствии с Соглашением о МКС его участники:

• объединяют усилия “при ведущей роли Соединённых Штатов в общем управлении и координации с тем, чтобы создать объединённую международную космическую станцию” (п. 2 ст. 1);

• не применяют “свои законы о секретности изобретений по отношению к изобретению, сделанному внутри или на любом орбитальном элементе космической станции лицом, не являющимся его гражданином или не проживающим в нём, таким образом, чтобы это могло воспрепятствовать подаче заявки на патент” (п. 3 ст. 21);

• рассматривают любую деятельность, связанную с созданием объектов интеллектуальной собственности, внутри или на орбитальном элементе космической станции как осуществляемую “только на территории государства-партнёра, зарегистрировавшего этот элемент” (п. 2 ст. 21).

Таким образом все научные результаты, достигнутые внутри или снаружи орбитального модуля, принадлежащего США, должны считаться полученными на территории США с вытекающими отсюда последствиями. В этой связи разумно предположить, что научные результаты, а также минеральное сырьё, добытые в рамках Соглашений Артемиды с использованием принадлежащих США или зарегистрированных в США космиче-

[1] См.: Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела. Подписан СССР, США и Великобританией 27 января 1967 г., вступил в силу 10 октября 1967 г. (на 1 января 2020 г. Договор подписан 133 государствами); Соглашение о спасании космонавтов, возвращении космонавтов и возвращении объектов, запущенных в космическое пространство. Принято резолюцией 2345 XXII Генеральной Ассамблеи ООН от 19 декабря 1967 г.; Конвенция о международной ответственности за ущерб, причинённый космическими объектами. Принята резолюцией 2777 XXVI Генеральной Ассамблеи ООН от 29 ноября 1971 г.; Конвенция о регистрации объектов, запускаемых в космическое пространство. Принята резолюцией 3235 XXIX Генеральной Ассамблеи ООН от 12 ноября 1974 г.; Соглашение о деятельности государств на Луне и других небесных телах. Принято резолюцией 34/68 Генеральной Ассамблеи ООН от 5 декабря 1979 г. (на 1 января 2021 г. подписано 15 государствами, из которых 11 ратифицировали его. Из государств, осуществляющих активную космическую деятельность, подписано только Францией (без ратификации). https://www.un.org/ru/documents (дата обращения 24.06.2022).

ских аппаратов и оборудования, также будут считаться полученными на территории США.

Одним из основных принципов Соглашений Артемиды является обязанность их участников "открыто публиковать научную информацию, позволяя всему миру присоединиться к нам в путешествии Артемиды" [24]. Однако не уточняется, что соответствующие результаты будут считаться полученными на территории США и публиковаться преимущественно в индексируемых WoS американских и британских журналах, которым перейдут исключительные права на обнародованные результаты научной деятельности. Этот механизм концентрации в одних и тех же руках контроля за экспертизой и использованием новейших научных знаний, относящихся к прорывным технологиям, эксплуатируется уже давно и весьма успешно. Активно развивающийся параллельно Соглашениям Артемиды новый проект ЮНЕСКО "Открытая наука" будет лишь способствовать усилению доминирующей роли США и американских компаний на рынке интеллектуально ёмких товаров космического происхождения, если его поддержит большинство стран.

К сожалению, в Заключительном докладе о разработке проекта рекомендации ЮНЕСКО об "Открытой науке" от 31 марта 2021 г. (https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376877_rus.locale=en) не были учтены в достаточной степени замечания, изложенные в письме Постоянного представителя России в ЮНЕСКО А.И. Кузнецова от 30 декабря 2020 г. Реальной альтернативой этому проекту вполне могла бы стать российская инициатива по принятию Всеобщей конвенции о науке. Это позволило бы решать наиболее важные экономические и правовые вопросы оборота научных результатов, включая их получение, опубликование, мониторинг, хранение, переработку, экспертизу, вознаграждение научных сотрудников на основе таких принципов, как баланс интересов учёных, бизнеса и государств, ограничение монополий, эффективная защита прав интеллектуальной собственности, авторов и иных правообладателей, включая государства [25, с. 22–29].

Однако вероятные негативные экономические последствия реализации Соглашений Артемиды и для России, и для человечества в целом не исчерпываются указанными вопросами. В этих Соглашениях угадываются признаки *будущего транснационального космического картеля,* участниками которого следует считать не столько подписавшие их космические агентства, сколько крупнейшие компании, уже сегодня работающие над созданием: во-первых, жилого модуля лунной орбитальной станции (Lunar Orbital Platform-Gateway, Northrop Grumman Innovation Systems); во-вторых, средств доставки данного жилого модуля на орбиту Луны (SpaceX); в-третьих, интегрированного спускаемого аппарата (Blue Origin); в-четвёртых, автономной логистической платформы (Dynetics) [26]. Этот санкционированный США картель уже в недалёком будущем окажется способным затмить ОПЕК масштабами своего влияния на мировую экономику.

Анализ "новых" подходов к регулированию хозяйственной деятельности в космосе, впитавших дух "старых американских законов", позволяет заключить, что задача *защиты конкуренции в космосе* превратилась в насущную потребность человечества, прежде всего тех государств, которые обладают реальными возможностями для предотвращения создания космического мегакартеля под покровительством одного государства.

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОНКУРЕНЦИИ В КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

Опыт СССР, современной России, как и любой другой космической державы, показывает, что конкуренция в национальной космической отрасли – один из основных инструментов поддержания и роста её экономической эффективности. Однако не менее важный инструмент (в особенности применительно к достижению национальных целей в космосе) – концентрация и синергия всех видов ресурсов. Лишь оптимальное сочетание этих двух подходов позволяет противостоять вызовам глобальной конкуренции.

Действующая сегодня в России модель антимонопольного регулирования предусматривает запрет на соглашения между хозяйствующими субъектами-конкурентами, последствия которых предусмотрены в пп. 1–5 ч. 1 ст. 11 Федерального закона "О защите конкуренции" от 26 июля 2006 г. № 135-ФЗ (далее – Закон о защите конкуренции). Указанные соглашения, именуемые также картелями (картельными соглашениями), антимонопольный регулятор (Федеральная антимонопольная служба, ФАС России) рассматривает как запрещённые per se, то есть в силу самого факта наличия соглашения вне связи с наличием или отсутствием последствий в виде ограничения конкуренции. Кроме того, для картельных соглашений не применяется режим допустимости соглашений, предусмотренный ч. 1 ст. 13 Закона о защите конкуренции. Компании – участники кооперации в космической отрасли России могут заключать иные соглашения, ограничивающие конкуренцию (ч. 4 ст. 11 Закона о защите конкуренции), а также осуществлять координацию экономической деятельности. Для данных случаев обязательным элементом запрещённой деятельности является ограничение конкуренции.

В ряде случаев конкуренция обеспечивается за счёт закупки продукции, в том числе комплекту-

ющих, в ходе конкурентных процедур (в основном это закупки в соответствии с Федеральным законом от 18 июля 2011 г. № 223-ФЗ "О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц" [27] (далее – Федеральный закон № 223). Однако экономическая эффективность может достигаться не благодаря конкуренции, а вследствие объединения усилий хозяйствующих субъектов, как в случае государственных корпораций.

Так, ГК "Роскосмос", созданная в августе 2015 г. для осуществления комплексной реформы ракетно-космической отрасли, обеспечивает реализацию государственной политики в области космической деятельности и её нормативно-правовое регулирование, а также размещает заказы на разработку, производство и поставку космической техники и объектов космической инфраструктуры, развивает международное сотрудничество в космической сфере, создаёт условия для использования результатов космической деятельности в экономике России [28]. Согласно федеральному законодательству выполнение работ и оказание услуг ГК "Роскосмос" могут осуществляться предприятиями как входящими, так и не входящими в состав госкорпорации [29].

Как отмечает Р. Жиц, организации частной космонавтики в нашей стране исходят из того, что их развитие и получение необходимой инфраструктурной поддержки от "Роскосмоса" определяются не их способностью конкурировать с госкоскопорацией, а, напротив, возможностями сотрудничества, выполнения тех работ и оказание тех услуг, которые по тем или иным причинам госкорпорация не осуществляет самостоятельно (например, комплексных услуг по выводу на орбиту малых космических аппаратов при помощи сверхлёгкой ракеты) [30].

На практике этого не всегда удаётся добиться. В 2017 г. на рынок пусковых услуг, который уже являлся конкурентным, пришла российская S7 Group, получившая лицензию на осуществление космической деятельности. В результате увеличилась вероятность того, что данная компания будет отбирать часть международных контрактов по доставке грузов не у лидера рынка – американской компании "SpaceX", а у ГК "Роскосмос", поскольку их основные средства доставки (за исключением некоторых деталей) являются прямыми конкурентами. При этом до настоящего времени, как полагает Д.Ю. Макарова, остаются без ясного ответа со стороны законодателя вопросы о критериях оптимального взаимодействия госкорпораций и частных компаний, об условиях и пределах конкуренции между организациями при распределении государственного заказа на космическую продукцию [32, с. 67]. Того же мнения придерживаются С.В. Макаров и О.Е. Хрусталёв, считающие, что развитие космической отрасли должно быть сбалансированной комбинацией усилий специализированных государственных корпораций и частного бизнеса, который эффективно решает конкретные технические и технологические задачи [33, с. 1380–1381].

С точки зрения Е.В. Кириллиной основные формы взаимодействия частных компаний и государства в научной сфере включают:

• предоставление частным компаниям возможности использовать федеральную инфраструктуру при реализации совместных проектов в рамках операторского бизнеса по доведению космических услуг до конечного пользователя;

• государственно-частное партнёрство в рамках финансирования пилотных проектов, НИОКТР по созданию пользовательской аппаратуры и программно-аппаратных комплексов, которые затем тиражируются и продвигаются на рынке частными компаниями;

• привлечение частных инвестиций для финансирования проектов, по результатам которых государственному заказчику предлагаются готовые продукты или услуги;

• создание совместных предприятий, в которых доля государства формируется из объектов инфраструктуры и результатов научно-технической деятельности, а частный бизнес обеспечивает привлечение инвестиционных ресурсов и бóльшую гибкость в использовании различных рыночных механизмов [34, с. 15].

Активному вовлечению частного бизнеса в реализацию национальных космических проектов сегодня препятствуют:

• отсутствие законодательной базы, регулирующей частные инициативы;

• высокие политические и экономические риски, включая слишком длительный инвестиционный цикл;

• необходимость получения лицензии на ведение космических разработок;

• неразвитость общедоступного сегмента национального космического рынка [34, с. 16].

Другие эксперты (в частности, А.Б. Железняков и В.В. Кораблёв) считают, что основными задачами частной космонавтики являются обеспечение инновационного лидерства и снижение себестоимости космических запусков [35, с. 11]. Если для работ и услуг, предоставляемых предприятиями, входящими в состав ГК "Роскосмос", наибольшая эффективность может быть достигнута без применения конкурентных процедур в соответствии с Федеральным законом № 223, то для предприятий, не входящих в состав госкорпорации, использование таких процедур в большинстве случаев представляется оправданным.

По оценке заместителя руководителя ГК "Роскосмос" М.А. Овчинникова, эффективно развиваются те предприятия ОПК, которые не конкурируют между собой на национальном рынке, но действуют в условиях глобальной конкуренции [37]. В этой связи полезно изучить опыт Китая, сумевшего в короткий срок обеспечить многократный рост частного бизнеса, работающего на космос, а также опыт США, где благодаря правильному развитию отношений между NASA и "SpaceX" последняя сумела догнать Россию по объёмам производства продукции для гражданского космоса, имея в 30 раз меньше работников (8000 человек против 250 000 в РФ) [38].

Основная ценность конкуренции для ракетно-космической промышленности, по мнению Д.Б. Пайсона, сегодня определяется тем, что она позволяет найти оптимальное решение конкретной задачи на основе соревнования, во-первых, институционально независимых друг от друга заказчиков и подрядчиков (поставщиков продукции) на разных уровнях отраслевой цепочки переделов, включая её конечное звено; во-вторых, поставщиков готовой продукции [39, с. 3, 4]. При этом выход российских предприятий космического комплекса на транснациональные рынки возможен за счёт самостоятельной консолидации и координации усилий без участия государственных российских институций.

Для внутреннего рынка, на наш взгляд, полезна конкуренция тех национальных предприятий, которые не выходят самостоятельно на транснациональные и глобальный рынки. Такая конкуренция должна всячески поддерживаться и стимулироваться государством, каким бы олигополистическим ни был отечественный рынок продукции космического назначения. Любое поощрение монополизма неизбежно приведёт к деградации искусственных монополий и приходу зарубежных игроков на внутренний рынок. Об этом свидетельствует негативный опыт 1990-х годов. Сегодня важно не забывать эти уроки.

ПЛЮСЫ И МИНУСЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ УСИЛИЙ ХОЗЯЙСТВУЮЩИХ СУБЪЕКТОВ В КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Объединение усилий хозяйствующих субъектов может иметь как положительный (рост эффективности, снижение издержек и др.), так и негативный эффект, связанный с *ограничением конкуренции*. Перечень негативных эффектов приводится в п. 1–5 ч. 1 ст. 11 Закона о защите конкуренции. К ним, в частности, относятся: возможность или реальное установление либо поддержание цен, раздел товарного рынка по территориальному принципу, ассортименту реализуемых товаров или составу продавцов либо покупателей (заказчиков), сокращение или прекращение производства товаров, отказ от заключения договора с определёнными продавцами или покупателями. Важно понимать, что подобные последствия могут быть результатом как ограничения конкуренции, так и действия других факторов. Применительно к административно наказуемым картелям наличие одного или нескольких из таких последствий, как и причинно-следственная связь между картельным сговором, презюмируется.

Однако не всякий сговор хозяйствующих субъектов, который может привести или приводит к последствиям, указанным в п. 1–5 ч. 1 ст. 11 Закона о защите конкуренции, может быть признан уголовно наказуемым картелем, а лишь такой, который повлёк как минимум одно из последствий, указанных в ст. 178 Уголовного кодекса Российской Федерации (УК РФ). Кроме того, законодатель, Президент и Правительство России обладают значительными полномочиями для признания соглашений между хозяйствующими субъектами, фактически влекущих ограничение конкуренции, целесообразными, например, с точки зрения национальной безопасности, внешних и внутренних политических задач, предупреждения более опасных последствий, чем сдерживание конкуренции (лимитирование доступа к медицинской, в том числе лекарственной помощи, массовое увольнение людей, невыполнение международного соглашения). Это, на наш взгляд, в полной мере отвечает принципу *крайней необходимости*, а потому не является правонарушением или преступлением. Согласно этому принципу причинение лицом вреда охраняемым законом интересам в состоянии крайней необходимости, то есть для устранения опасности, непосредственно угрожающей личности и правам данного лица или других лиц, а также охраняемым законом интересам общества и государства, если эта опасность не могла быть устранена иными средствами и если причинённый вред является менее значительным, чем предотвращённый ущерб (ст. 2.7 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях – КоАП РФ [40] и ст. 39 УК РФ), признаётся оправданным [41].

Данный принцип, на наш взгляд, вполне может быть распространён и на случай, когда соглашение, создающее угрозу ограничения конкуренции или сдерживающее конкуренцию на внутреннем рынке, заключено между хозяйствующими субъектами в целях достижения необходимого уровня конкурентоспособности на внешнем рынке. В условиях экономической войны, объявленной России коллективным Западом, этот вывод имеет важнейшее значение для формирования мобилизационного сценария развития отечественной экономики. Объединяя хозяйствующие субъекты в госкорпорации, государство в лице уполномоченных органов, как правило, стремится к повышению их суммарной экономической эффектив-

ности. Однако установление факта наличия обстоятельств крайней необходимости в каждом конкретном случае осуществляется правоприменителем, в том числе судом. Поэтому на практике применение данного принципа сопряжено для любого хозяйствующего субъекта со значительными рисками и издержками.

Вместе с тем объединение хозяйствующих субъектов вовсе не предполагает невозможность применения к участникам госкорпорации (в том числе к участникам ГК "Роскосмос") запретов на соглашения, которые установлены Законом о защите конкуренции. Части 7 и 8 ст. 11 Закона о защите конкуренции исключают применение запрета на соглашения, ограничивающие конкуренцию, к соглашениям хозяйствующих субъектов, входящих в одну группу лиц, если одним из участников группы лиц в отношении другого хозяйствующего субъекта установлен контроль либо если такие хозяйствующие субъекты находятся под контролем одного лица. Несмотря на это, Положением о закупке товаров, работ, услуг ГК "Роскосмос" предусмотрены конкурентные закупки продукции внутри группы лиц или государственной корпорации в соответствии с правилами, установленными Федеральным законом № 223 [42].

Данное противоречие, на наш взгляд, может быть устранено только законодателем, поскольку толкование "Роскосмосом" взаимосвязанных положений Закона о защите конкуренции и Федерального закона № 223 вполне может быть воспринято Генеральной прокуратурой РФ и Счётной палатой РФ как способствующее коррупции и нецелевому расходованию бюджетных средств.

АНТИМОНОПОЛЬНОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И ДОСТИЖЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЦЕЛЕЙ В ГЛОБАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ КОНКУРЕНЦИИ

В соответствии с ч. 2 ст. 3 Закона о защите конкуренции этот правовой акт распространяется на достигнутые за пределами территории РФ соглашения "между российскими и (или) иностранными лицами либо организациями", а также на совершаемые ими действия, "если такие соглашения или действия оказывают влияние на состояние конкуренции на территории Российской Федерации". Иначе говоря, российское антимонопольное законодательство может применяться и к антиконкурентному поведению иностранных хозяйствующих субъектов (в том числе к картельным соглашениям) за пределами РФ, но при условии, что одним из участников соответствующих отношений выступает российская организация, а участником антиконкурентных соглашений – российская организация или гражданин.

Данный подход оказывается существенно более узким по сравнению с *принципом глобальной юрисдикции* России, закреплённым в ч. 2 и 3 ст. 1.8 КоАП РФ и ст. 12 УК РФ. Так, согласно ч. 2 и 3 ст. 1.8 КоАП РФ любое лицо (и физическое, и юридическое) подлежит административной ответственности, если совершённое им за пределами РФ административное правонарушение "направлено против интересов Российской Федерации". То есть иностранный гражданин или иностранная организация несут ответственность за совершённые ими за пределами РФ административные правонарушения, преследуемые в соответствии с КоАП РФ, вне зависимости от того, являются ли их соучастниками российские граждане и организации или нет. Аналогичный принцип (применительно к ответственности иностранных граждан) закреплён и в ст. 12 УК РФ.

Из этого следует, что ст. 3 Закона о защите конкуренции существенно ограничивает применение КоАП РФ и УК РФ к иностранным гражданам и организациям, которые нарушают интересы России в сфере конкуренции, если такие лица действуют самостоятельно, то есть без участия российских граждан и организаций. Данное противоречие, на наш взгляд, препятствует реализации суверенного права Российской Федерации защищать свои интересы в космосе, если они связаны с защитой конкуренции, а потому подлежит устранению законодателем.

Глобальный рынок товаров для космоса объективно обладает стимулирующим воздействием на национальные космические отрасли: «Политика демпинга на рынке пусковых услуг со стороны США и финансового допинга со стороны американских "космических частников" как пинок сделали доброе дело – в ракетно-космической отрасли России началась борьба за сокращение издержек и оптимизацию цены на пусковые услуги Роскосмоса... Когда рынок "отстимулировали", то есть зачистили от всех неамериканских конкурентов, тогда можно вновь поднять цены до почти естественного уровня (при этом государственная субсидия всё равно сохраняется)» [43].

Как отмечают Д.Б. Кравченко и А.Ю. Бауров, специфика американской экономической политики состоит в том, что участие государственных учреждений и использование государственного финансирования в тех или иных проектах допускается лишь постольку, поскольку соответствующие задачи не может решить частный сектор. Именно поэтому в области связи и съёмок Земли из космоса на Западе работают почти исключительно частные компании, несмотря на то, что заказчиками нередко выступают государства [44, с. 50]. При этом правительство США не стесняется устанавливать не только прямое стимулирование частных национальных компаний, которые

вносят свою лепту в реализацию космических программ, но и прямые запреты на участие иностранных компаний в коммерческих запусках спутников связи и наблюдения. Так, недавний запрет, введённый Минобороны США на услуги российских компаний по запускам коммерческих спутников с 2023 г., несомненно, представляет собой пример недобросовестной конкуренции на международном рынке космических услуг. Однако он не получил никакой правовой оценки с российской стороны [45].

К сожалению, наш законодатель и уполномоченные правоприменители пока не выработали адекватного ответа на новые вызовы глобальной конкуренции в космосе, основным трендом которых является последовательное стремление не только к монополизации глобального рынка космических услуг и работ, но и к установлению монопольного контроля США над рынком любых космических товаров, космическим пространством как таковым и небесными телами. С начала специальной военной операции России на Украине это стремление лишь усилилось [46]. Вполне возможно, что эта новая зависимость будет иметь для человечества ещё более негативные последствия, чем зависимость от долларовой монополии.

На наш взгляд, параллельно с усилиями по формированию международной повестки реагирования на эти процессы в рамках ООН, российское правительство уже сегодня могло бы приступить к разработке дорожной карты по противодействию монополизации глобальных рынков космической продукции, работ и услуг, установлению контроля над космическим пространством и небесными телами.

* * *

Анализ правовых аспектов глобальной конкуренции в космосе позволяет сформулировать ряд актуальных с точки зрения сложившейся ситуации выводов.

1. Принятые США в последние годы федеральные правовые акты, в которых отрицается применимость международного публичного права к регулированию экономического поведения в космосе, по прогнозируемым негативным их последствиям претендуют на статус нового глобального вызова человечеству. В полной мере этот вывод относится и к букве, и к духу Соглашений Артемиды 2020 г. как нового псевдоконвенционного формата договорённостей по космосу, основной целью которых объявлено освоение окололунного пространства и самой Луны при лидирующей роли США. Помимо прочего, Соглашения Артемиды обладают признаками *будущего транснационального космического мегакартеля,* основными участниками которого станут преимущественно американские частные компании, уже сегодня работающие над созданием основных элементов программы коммерческого освоения Луны.

Так называемые “новые” подходы к регулированию хозяйственной деятельности в космосе, впитавшие дух “старых американских законов”, переводят задачу защиты конкуренции в космосе в разряд насущных потребностей России и всех членов мирового сообщества, имеющих собственные космические программы или планирующих приступить к освоению космоса в обозримой перспективе.

2. Поиск Россией и другими заинтересованными государствами – членами ООН оптимального ответа на стартовавшую монополизацию глобальной космической экономики предполагает выработку, с одной стороны, интегративной модели поддержки и развития конкуренции среди национальных субъектов внутренних рынков космической продукции, услуг и работ, с другой стороны, разнообразных форм объединения и концентрации усилий всех заинтересованных хозяйствующих субъектов для достижения максимальной конкурентоспособности России и российских компаний на глобальных рынках космической продукции, услуг и работ.

3. Одновременно с усилиями по формированию международно-правовой основы борьбы с картелями, в том числе в космосе, нашей стране важно незамедлительно приступить к разработке мер противодействия монополизации глобальных космических рынков и установлению многосударственного и монополистического контроля над космическим пространством и небесными телами, противоречащего базовым нормам и принципам международного права. В качестве одной из таких мер уже сегодня целесообразно предложить российскому законодателю внести изменения в ст. 3 Закона о защите конкуренции с тем, чтобы привести её в соответствие с принципом *глобальной юрисдикции России* в отношении иностранных граждан и организаций, закреплённым в ст. 1.8 КоАП РФ, и аналогичным принципом применительно к иностранным гражданам, закреплённым в ст. 12 УК РФ.

В условиях экономической войны, объявленной Соединёнными Штатами Америки и большинством европейских государств России, эта поправка позволит национальному антимонопольному регулятору обеспечить более эффективную защиту законных интересов российских компаний, столкнувшихся с феноменом нелегитимной отмены норм не только публичного, но и частного международного права.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-010-00773).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lotha G.* Sputnik // Encyclopaedia Britannica: Encyclopaedia Britannica Inc. Modified title of Web site: RT Russiapedia – of Russian origin: Sputnik. March 25th, 2020. https://www.britannica.com/technology/Sputnik/additional-info#history (дата обращения 19.06.2022).
2. Советская космическая инициатива в государственных документах. 1946–1954 / Под ред. Ю.М. Батурина. М.: РТСофт, 2008.
3. *Зархар В.А.* Международное публичное воздушное право // Вопросы воздушного права. Сб. трудов секции воздушного права Союза Авиахим. Т. 1. М.: Союз дружбы авиационной и химической обороны и промышленности, 1927. С. 90–103.
4. *Haley A.J.* Metalaw – Reassessement in the Light of Certain Views Expressed by the Chief Justice of the United States // American Institute of Aeronautics and Astronautics (Summer Meeting, June 17–20, 1963). Los Angeles, 1963. № 63. P. 279.
5. Космос и международное право: Сборник статей / Комиссия по правовым вопросам межпланетного пространства АН СССР / Отв. ред. чл.-кор. АН СССР проф. Е.А. Коровин. М.: Изд-во ИМО, 1962.
6. *Ушаков Н.А.* Рецензия на сборник статей “Космос и международное право” // Советское государство и право. 1962. № 11. С. 147, 148.
7. *Жуков Г.П.* Космическое право международное // Юридический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.Я. Сухарев. М.: Сов. энциклопедия, 1984.
8. *Zhukov G., Kolosov Yu.* International Space Law. 2nd ed., stereotyped. M.: Statut, 2014.
9. Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела // United Nations. Treaty Series. V. 610. № 8843.
10. *Колосов Ю.М.* Борьба за мирный космос. 2-е изд., стер. М.: Статут, 2014.
11. Международное космическое право: учебник для бакалавриата и магистратуры / Под ред. Г.П. Жукова, А.Х. Абашидзе. 2-е изд., стер. М.: Юрайт, 2018.
12. Who owns the Moon? https://lunarembassy.com/can-you-buy-land-on-the-moon-faq-lunar-embassy/ (дата обращения19.06.2022).
13. *Williams M.* Trump Signs an Executive Order Allowing Mining the Moon and Asteroids. https://www.universetoday.com/145622/trump-signs-an-executive-order-allowing-mining-the-moon-and-asteroids/ 2020. April, 11th (дата обращения 19.06.2022).
14. Executive Order 13914 of April 6, 2020 “Encouraging International Support for the Recovery and Use of Space Resources”. https://www.federalregister.gov/documents/2020/04/10/2020-07800/encouraging-international-support-for-the-recovery-and-use-of-space-resources (дата обращения 20.06.2022).
15. *Boley A., Byers M.* U.S. policy puts the safe development of space at risk // Science. 2020. V. 370. Is. 6513. P. 174, 175.
16. An Act to provide for research into the problems of flight within and outside the Earth’s atmosphere, and for other purposes. https://www.govtrack.us/congress/bills/85/hr12575/text (дата обращения 25.06.2022).
17. Commercial Space Launch Act of 1984. https://www.congress.gov/bill/98th-congress/house-bill/3942 (дата обращения 25.06.2022).
18. *Хужина Я.* ИКИ РАН на ПМЭФ-2021: Научные вызовы освоения космоса // Научная Россия. 2021. 4 июня. https://scientificrussia.ru/partners/rossijskaya-akademiya-nauk/iki-ran-na-pmef-2021-nauchnye-vyzovy-osvoeniya-kosmosa (дата обращения 19.06.2022).
19. Федеральный закон от 8 декабря 2020 г. № 429-ФЗ “О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” // СЗ РФ. 14.12.2020. № 50 (часть III). Ст. 8074.
20. Научные вызовы освоения космоса обсудили на ПМЭФ-2021. https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=35023 (дата обращения 24.06.2022).
21. The Artemis Accords principles for cooperation in the civil exploration and use of the Moon, Mars, comets, and asteroids for peaceful purposes. https://www.nasa.gov/artemisprogram (дата обращения 24.06.2022).
22. https://www.nasa.gov/specials/artemis-accords/index.html (дата обращения 25.06.2022).
23. Соглашение между Правительством Канады, Правительствами государств – членов Европейского космического агентства, Правительством Японии, Правительством Российской Федерации и Правительством Соединённых Штатов Америки относительно сотрудничества по международной космической станции гражданского назначения. Ратифицировано Федеральным законом № 164-ФЗ от 29 декабря 2000 г. // СЗ РФ. 01.01.2001. № 1 (Ч. II). Ст. 16.
24. NASA, International Partners Advance Cooperation with First Signings of Artemis Accords. https://www.nasa.gov/press-release/nasa-international-partners-advance-cooperation-with-first-signings-of-artemis-accords (дата обращения 25.06.2022).
25. *Клеева Л.П., Максимов С.В.* “Открытая” наука: критический анализ нового проекта ЮНЕСКО // Российское конкурентное право и экономика. 2021. № 1. С. 22–29.
26. *Foust J.* NASA to sole source Gateway habitation module to Northrop Grumman. https://spacenews.com/nasa-to-sole-source-gateway-habitation-module-to-northrop-grumman/ (дата обращения 25.06.2022).
27. Российская газета. 2011. 22 июля.
28. Официальный сайт Государственной корпорации “Роскосмос”. roscosmos.ru/219/ (дата обращения 25.06.2022).
29. Федеральный закон от 13.07.2015 г. № 215-ФЗ «О Государственной корпорации по космической деятельности “Роскосмос”» // Российская газета. 2015. 16 июля.

30. *Жиц Р.* Мы создаём экосистему для частной космонавтики в России. https://ria.ru/20210604/kosmonavtika-1735295370.html (дата обращения 25.06.2022).
31. *Мамедьяров З., Хазбиев А.* Мы не хотим конкурировать с "Роскосмосом". expert.ru/expert/2020/28/myi-ne-hotim-konkurirovat-s-roskosmosom/ (дата обращения 25.06.2022).
32. *Котов М.* Конкуренция и отвага: чего не хватает России в космическом бизнесе. forbes.ru/tehnologii/358042-konkurenciya-i-otvaga-chego-ne-hvataet-rossii-v-kosmicheskom-biznese (дата обращения 19.06.2022).
33. *Макарова Д.Ю.* Развитие частного бизнеса в ракетно-космической отрасли: тенденции и перспективы // Экономический анализ: теория и практика. 2015. № 25. С. 67.
34. *Макаров С.В., Хрусталёв О.Е.* Коммерциализация результатов космической деятельности: мировой опыт, проблемы и перспективные направления // Economic Analysis: Theory and Practice. 2018. V. 17. Is. 7. P. 1376–1396.
35. *Кириллина Е.В.* Особенности и перспективы развития частной космонавтики в России // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2017. № 3. С. 14–18.
36. *Железняков А.Б., Кораблёв В.В.* Частная космонавтика. Тенденции и перспективы // Инновации. 2016. № 7. С. 8–13.
37. *Джорджевич А., Сафронов И.* Нет нерешаемых задач, есть просто плохие решения. kommersant.ru/doc/3841505 (дата обращения 25.06.2022).
38. https://www.roscosmos.ru/34145/ (дата обращения 25.06.2022).
39. *Бондарь В.* Есть два нетривиальных решения: за счёт чего Илон Маск не оставил шансов "Роскосмосу"? https://business-gazeta/article/470964 (дата обращения 25.06.2022).
40. *Пайсон Д.Б.* Конкуренция в ракетно-космической промышленности: время ответственных решений // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 3. С. 2–11.
41. СЗ РФ. 2002. № 1. Ст. 1.
42. СЗ РФ. 1996. № 25. Ст. 2954.
43. Положение о закупке товаров, работ, услуг Государственной корпорации по космической деятельности "Роскосмос" (утверждено наблюдательным советом ГК "Роскосмос", протокол от 25.08.2020 г. № 38-НС в ред. от 09.06.2021 г.). http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_362492/ (дата обращения 25.06.2022).
44. Рогозин поблагодарил США за "пинок" для оптимизации цен на пусковые услуги Роскосмоса. tass.ru/kosmos/10848463 (дата обращения 29.06.2021).
45. *Кравченко Д.Б., Бауров А.Ю.* Государственно-частное партнёрство в сфере космической деятельности в период структурной реформы отрасли // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2016. № 3. С. 48–58.
46. "Роскосмос" обвинил США в недобросовестной конкуренции из-за решения Пентагона. Interfax.ru/Russia/663144 (дата обращения 29.06.2021).
47. Рогозин: США ввели санкции против трех предприятий "Роскосмоса". https://ura.news/news/1052536469663144 (дата обращения 25.06.2022).

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 10, с. 930–939

С КАФЕДРЫ ПРЕЗИДИУМА РАН

НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА И НЕФТЕГАЗОХИМИЯ: ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ

© 2022 г. А. Л. Максимов[a,*]

[a] *Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва, Россия*

*****E-mail: max@ips.ac.ru*

Поступила в редакцию 21.06.2022 г.
После доработки 24.06.2022 г.
Принята к публикации 30.06.2022 г.

В статье анализируется ситуация в нефтепереработке и нефтехимии Российской Федерации с точки зрения их технологической независимости. Подчёркивается, что стратегия развития нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, направленная на быстрые их модернизацию и создание новых производств, по сути, зафиксировала критическую зависимость от зарубежных технологий и соответствующих химических компонентов вместе с высокой ориентированностью на экспорт. Развитие и обеспечение успешного функционирования производств третьего и четвёртого переделов, средне- и малотоннажной химии, принципиально необходимых для выпуска конечной продукции, происходило в очень малой степени. В результате технологическая зависимость от иностранных поставщиков во многом оказалась критической даже для крупнотоннажных производств и исчисляется сотнями товарных позиций. В связи с этим на краткосрочном этапе необходимо определить перечень приоритетных средне- и малотоннажных продуктов, для получения которых потребуется создание собственных технологий, тем более что имеющиеся компетенции и заделы научно-исследовательских институтов и организаций высшего образования позволяют решить эту задачу. На средне- и долгосрочном этапе важно определиться со средне- и крупнотоннажными технологиями, которые должны быть разработаны и внедрены в ближайшие десять лет для обеспечения импортонезависимости (к ним, по мнению автора, следует отнести технологии коксования и гидроконверсии для переработки тяжёлых остатков, российские аналоги технологий гидрокрекинга и гидроочистки, технологии переработки природного газа и др.).

Ключевые слова: нефтепереработка, нефтехимия, малотоннажная химия, технологическая независимость.

DOI: 10.31857/S0869587322100073

Состояние российской нефтепереработки и нефтегазохимии в начале XXI в. не соответствовало потребностям страны и потребовало реализации программ коренной модернизации предприятий в относительно короткий срок. После распада СССР Россия сохранила одно из ведущих мест в мировой нефтепереработке, установочная мощность её нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) в настоящее время превышает 320 млн т сырой нефти в год. По этому показателю страна занимает третье место в мире, уступая только США и Китаю [1]. В 2021 г. на российских предприятиях было переработано более 280 млн т нефти, причём около 120 млн т продуктов переработки различного качества (в том числе тяжёлых газойлей и мазута) отправлено на экспорт. Основной проблемой отрасли остаётся низкий выход светлых нефтепродуктов на 1 т нефти (табл. 1) – чуть более 50% (в развитых странах более 75%) и всё ещё низкая по сравнению с развитыми странами доля углубляющих процессов на большинстве отечественных предприятий (80% заводов характери-

МАКСИМОВ Антон Львович – член-корреспондент РАН, директор ИНХС им. А.В. Топчиева РАН, заместитель заведующего кафедрой химии нефти и органического катализа по инновационной деятельности химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Таблица 1. Переработка нефти и производство светлых нефтепродуктов в России

Год	Объём переработанной нефти, млн т	Производство дизельного топлива, млн т	Производство керосина, млн т	Производство бензина, млн т
2013	275	78.7	10.3	32.0
2017	280	76.9	11.1	39.2
2021	280	80.3	12.0	40.8

зуются индексом сложности Нельсона[1] меньше 8, в то время как для современных производств он, как правило, превышает 10) [2, 3].

Российская нефтехимия существенно уступает по объёму переработки углеводородных ресурсов нефтехимии развитых стран: по данным Минэнерго РФ, выпуск этилена составляет 4.8 млн т, пропилена – 2.8 млн т, ароматического сырья для нефтехимии – около 1 млн т. Что касается средне- и малотоннажной химии, то здесь, несмотря на значительные усилия Минпромторга РФ и химических предприятий в последние несколько лет, ситуация в целом по сравнению с СССР выглядит критической: беден ассортимент производимой продукции, отсутствуют производства целых классов соединений и промежуточного сырья, объёмы даже выпускаемой в России продукции (причём с использованием зарубежных компонентов в технологических цепочках) зачастую существенно ниже потребления. Сложилась парадоксальная ситуация: наша страна производит собственное нефтехимическое сырьё и продукцию низких переделов (в том числе базовые многотоннажные полимеры), а потребности в конечных товарах химической промышленности удовлетворяются, как правило, за счёт использования зарубежной продукции высоких переделов. Значительная, с точки зрения значимости для производства таких товаров, часть компонентов поставляется из-за рубежа. Причём плачевное состояние мало- и среднетоннажной химии оказывает влияние не только на выпуск химической продукции на основе высоких переделов углеводородного сырья, но и на производство товарных топлив.

Ситуация существенно усугубилась после введения санкций, в том числе технологического характера, со стороны США, стран ЕС, Японии, отдельных компаний. Проблема технологической независимости в этих условиях оказывается одной из центральных. Переход к использованию продукции и технологий из дружественных стран (КНР, Индия и др.) далеко не всегда возможен, формирование новой зависимости ключевых отраслей страны, критических для промышленного производства широкого спектра товаров, лишь закрепит и будет усиливать общее технологическое отставание. Ниже рассматриваются возможности преодоления такой зависимости.

Модернизация нефтепереработки и нефтехимии и задачи по созданию собственных технологий. Для нефтепереработки, основное назначение которой – обеспечение потребностей страны в моторных топливах и смазочных материалах, первоочередной задачей оказался переход на экологически чистые топлива, соответствующие стандартам развитых стран и обеспечивающие эксплуатацию двигателей с низкими выбросами загрязняющих веществ. Принятый в Российской Федерации технический регламент на топлива ввёл уже достигнутые в Европе жёсткие требования к содержанию в бензинах и дизельных топливах серы, ароматических соединений. Этих параметров трудно было достигнуть с использованием традиционных, созданных и реализованных в основном в советское время технологий получения бензиновых фракций. Необходимость перехода на новые топливные стандарты определялась как требованиями обеспечения экологического благополучия населения страны, прежде всего крупных городских агломераций, так и внешнеэкономическими причинами.

С учётом сохранения и даже увеличения объёма нефтепереработки по сравнению с советским временем даже при низкой её глубине мощности производства топливных фракций оставались избыточными. Потребителями зарубежных стран, уже перешедших на новые экологические стандарты, эти топлива низкого качества рассматривались как сырьё и реализовывались по низкой цене. Введение стандартов стало основой для импорта современного автомобильного транспорта и внедрения на автомобилях российского производства зарубежных эффективных двигателей. Сравнительно жёсткие сроки введения стандартов стали для предприятий основным аргументом в пользу перехода к модернизации, основанной на внедрении зарубежных технологий переработ-

[1] Индекс сложности Нельсона – показатель для сравнения мощности вторичной переработки на нефтеперерабатывающем заводе с мощностью первичной перегонки. Используется для количественной оценки и ранжирования сложности различных нефтеперерабатывающих заводов и установок. (*Прим. ред.*)

Рис. 1. Российские технологии в нефтепереработке

ки нефти. Тем более что в 1990-е годы система создания и реализации технологий, действовавшая в СССР, была фактически полностью разрушена, а российские разработчики не имели ни средств, ни инфраструктуры для конкуренции в этой области с западными компаниями, предлагавшими готовые и уже проверенные решения в области нефтепереработки “под ключ” с поставкой необходимого оборудования и технологическим сопровождением.

То же касается и технологий “углубляющего” переработку типа, призванных превратить прежде всего тяжёлые газойлевые и мазутные фракции нефти с температурой кипения выше 350°C в компоненты топлив. В числе таких технологий – каталитический крекинг с гидроочисткой сырья и продуктов, гидрокрекинг при высоком давлении для производства дизельного топлива, керосина, нафты, переработка тяжёлых остатков с использованием замедленного коксования и вовлечением в гидроочистку и производство топлив получаемых фракций и др. Российские технологии либо требовали доработки (например, каталитический крекинг нуждался во внедрении стадий удаления сероорганических соединений, а замедленное коксование – в повышении эффективности процесса), либо отсутствовали (в СССР так и не был создан отечественный процесс гидрокрекинга под высоким давлением). Как следствие, подавляющее большинство установок облагораживания (риформинг, гидроочистка различных фракций), производства компонентов топлив и сырья для нефтехимии с использованием процессов вторичной переработки (к 2021 г. было введено в строй более 90 установок) создавались по зарубежным технологиям, причём исключения здесь лишь подтверждают правило [4].

Начиная с 2000-х годов были достигнуты определённые успехи во внедрении российских технологий изомеризации лёгких фракций углеводородов (ООО “Научно-производственное предприятие Нефтехим”, Краснодар), введены в действие установки замедленного коксования (технология Института нефтехимпереработки, Уфа), каталитического крекинга (технология Института нефтехимического синтеза РАН и Всероссийского НИИ по переработке нефти, Москва), в 2022 г. началась пусконаладка опытно-промышленной установки гидроконверсии нефтяных фракций мощностью 50 тыс. т в год по гудрону (ИНХС РАН) (рис. 1). Результатом стал переход на топлива класса 5 по всей стране и некоторое увеличение выхода светлых нефтепродуктов при существенном увеличении зависимости российских производств от зарубежных комплектующих и реагентов. В 2021 г. в стране было произведено 40.8 млн т бензина, 80.3 млн т дизельного топлива при уже упоминавшемся общем объёме нефтепереработки 280 млн т, причём с 2013 г. объём выработки светлых нефтепродуктов вырос существенно лишь для автомобильного бензина, зато резко увеличилось качество – более 99% продукции соответствует 5 классу технического регламента [5].

Следующая задача, которая стоит в настоящее время перед российской нефтепереработкой, – повышение выхода товарных нефтепродуктов, прежде всего моторных топлив, вместе с уменьшением доли судовых топлив, мазута, тяжёлых остатков (реальное увеличение глубины переработки до 90% и более), должна была быть решена до конца текущего десятилетия. Здесь необходимо, наряду с расширением доли вторичных процессов переработки вакуумного газойля (каталитический крекинг, гидрокрекинг) и процессов гидроочистки вторичных фракций, внедрение

технологий переработки тяжёлых остатков, начиная с различных вариантов коксования и гидропереработки гудрона, расширение мощностей по производству водорода и переработке сероводорода. Результатом должны стать комплексы глубокой переработки нефти, включающие в себя указанные процессы (к 2022 г. число строящихся и запланированных к строительству установок превышало 30) [6]. До последнего времени в этой области предпочтение также отдавалось зарубежным технологиям, но в условиях санкционного давления даже при наличии лицензии и базового проекта закупка и поставки оборудования во многом оказываются под вопросом. Для части установок лицензии не были закуплены, но, к сожалению, реальность такова, что западные партнёры сегодня отказываются от своих обязательств и по уже закупленным. В результате введение санкций может как минимум замедлить внедрение и модернизацию предприятий с использованием зарубежных технологий и ставит вопрос о создании и реализации собственных технологий в этой области.

Что касается нефте- и газохимии (к последней необходимо отнести процессы получения химической продукции на основе природного газа, прежде всего аммиака и метанола), то второе десятилетие XXI в. в этих областях во многом ассоциировалось с реконструкцией предприятий и расширением производств. Результатом стало существенное увеличение объёма выпуска базовых полимеров (более 6 млн т в год), рост использования сжиженных углеводородных газов и этана в нефтехимии, хотя уровень их вовлечённости в производственные процессы всё ещё недостаточный: в нашей стране химически перерабатывается менее 30% сжиженных углеводородных газов и чуть более 5% этана [7]. С учётом низкого уровня потребления химической продукции в России (по базовым полимерам оно составляет 61 кг/чел., в то время как в Германии – 151 кг/чел., США – 177 кг/чел. [8]) прогнозируется дальнейшее экстенсивное развитие отрасли. После введения в строй “ЗапСибНефтехима” (его мощности позволяют производить 2.5 млн т базовых полимеров – 1.5 млн т полиэтилена и 1 млн т полипропилена) “Сибур-холдинг” планирует запуск в 2023–2024 гг. нового этиленового производства (мощность 600 тыс. т) с использованием пиролиза на площадке “Нижнекамскнефтехима”, а в 2024 г. – Амурского газохимического комплекса (мощность по полиэтилену 2.3 млн т, по полипропилену 0.4 млн т). В том же 2024 г. Иркутская нефтяная компания планирует завершить строительство нефтехимического комплекса, рассчитанного на производство 650 тыс. т продукции в год, а “РусГазДобыча” в 2025 г. – комплекса в г. Усть-Луга Ленинградской области мощностью по полиэтилену 3 млн т [9].

Практически все технологии получения базовых олефинов – зарубежные, российские же в силу низкого уровня технологической готовности (дегидрирование этана и пропана), отсталости предлагаемых процессов (пиролиз, полимеризация низших олефинов) не используются. То же касается производства ароматических соединений. Комплексы по производству ксилолов, как действующие (“Киришинефтеоргсинтез”, “Газпром нефть”, “Уфанефтехим”), так и планируемые (АО “ТАНЕКО”), базируются на зарубежных технологиях. Из-за практически 100-процентной технологической зависимости и недопоставок оборудования, попавшего под санкции, ухода технологических компаний развитых стран все эти проекты в той или иной степени будут задерживаться по срокам ввода, а появление новых потребует развития собственных технологий, разработки, проектирования и производства соответствующего оборудования и катализаторов.

В целом такая ситуация на средне- и долгосрочном этапе при сохранении ограничений на поставку технологий потребует разработки собственных технологий, ориентировочную потребность в которых можно обрисовать следующим образом.

• *Технологии переработки тяжёлых нефтяных остатков* (замедленное коксование, гидрокрекинг и гидроконверсия остатков). Для увеличения глубины переработки нефти потребуется не менее 5–6 установок. Потенциальными разработчиками процесса коксования могут выступить АО “Институт нефтехимпереработки”, Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, Уфимский государственный нефтяной технический университет. Технология гидроконверсии остатков разрабатывается и испытывается в опытном масштабе “ТАНЕКО” совместно с ИНХС РАН.

• *Технологии гидрокрекинга* требуют проведения “обратного инжиниринга” имеющихся комплексов, создания собственного оборудования и технологий на основе такого анализа с использованием опыта работы на уже действующих установках. Российским НПЗ может понадобиться до 7 установок в ближайшие 10 лет. Вместе с инжиниринговыми организациями научное сопровождение работ в этой области могут обеспечить ФИЦ “Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН”, Всероссийский НИИ по переработке нефти, ИНХС РАН.

• *Технологии облагораживания топлив* (риформинг с движущимся слоем, гидроочистка с участием вторичных дистиллятов, гидроизодепарафинизация, гидродеароматизация и др.). Здесь также с учётом опыта, накопленного в СССР, и строительства установок на НПЗ по зарубежным технологиям потребуется разработка как соб-

Рис. 2. Технологическая зависимость российской нефтехимии от зарубежных технологий

ственной технологии методом “обратного инжинирина”, так и собственного оборудования. Общая потребность может превысить 20 установок глубокой переработки нефти и остатков. Научное сопровождение работ могут осуществлять ФИЦ “Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН”, Институт органической химии РАН, Самарский государственный технический университет, ООО “Объединённый центр исследований и разработок” ПАО НК “Роснефть” (РН-ЦИР), Всероссийский НИИ по переработке нефти, НПО “Нефтехим” и др.

С учётом увеличения мощности гидропроцессов принципиально важна разработка собственных технологий производства водорода из углеводородсодержащих газов, в том числе и технологий его очистки с применением короткоцикловой адсорбции. Понадобится создание собственного процесса паровой конверсии углеводородов, что потребует участия научных организаций (группа компаний “ГИАП”, Всероссийский НИИ по переработке нефти, институты РАН), вузов, инжиниринговых организаций, имеющих собственный опыт проектирования. Наибольшие проблемы будут связаны с освоением процесса короткоцикловой адсорбции, который в России отсутствует и потребует отдельного комплекса работ как по самой технологии, оборудованию и системам управления процессом, так и по адсорбентам. Альтернативой паровой конверсии могут стать процессы окислительного превращения углеводородов, в частности, процесс матричной конверсии метана (Институт проблем химической физики РАН) [10] или конверсии в системе с раздельным протеканием целевой реакции и реакции регенерации катализатора в химическом цикле (chemical looping) (Институт проблем нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН) [11]. Следует отметить, что использование этих технологий позволяет снизить углеродный след за счёт облегчения выделения диоксида углерода или снижения уровня его образования в расчёте на 1 т продукта. Также принципиально важно создание технологий получения водорода с использованием атомной энергии, в том числе тепла высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов [12]. В целом, с учётом высокой вероятности развития производства “голубого” водорода в мире, создание новых технологий здесь представляется особенно перспективным.

В нефтехимии ситуация значительно сложнее, поскольку за редким исключением отсутствуют российские технологии даже низкого уровня готовности (рис. 2). В XXI в. была внедрена лишь отечественная технология получения стирола на ООО “Газпром нефтехим Салават” (разработчики – ИНХС РАН, ОАО НИИ “Ярсинтез”, ООО “НТЦ Салаватнефтеоргсинтез”) путём газофазного алкилирования бензола этиленом. Среди технологий сравнительно высокого уровня готовности можно отметить получение фенола из бензола гидрооксилированием на железосодержа-

щих цеолитах закисью азота (ИК СО РАН), получение эпихлоргидрина и эпоксидных смол (ИНХС РАН), олигомеризация этилена (ИПХФ РАН), гидроформилирование пропилена на родийсодержащих фосфитных системах (РН-ЦИР, ИОХ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова), окислительное дегидрирование этана в этилен с раздельным протеканием целевой реакции и реакции регенерации катализатора в химическом цикле (chemical looping) (ИНХС РАН и ООО "Газпром нефтехим Салават"), окислительное дегидрирование и аммонолиз олефинов ("ИК СО РАН", ИОХ РАН).

На краткосрочную и среднесрочную перспективу необходимо прежде всего сосредоточить усилия на разработке и выпуске собственного оборудования для уже заложенных производств, использующих зарубежные технологии, создании собственных катализаторов и реагентов для указанных процессов, испытательной базы. На долгосрочную перспективу необходимо определить приоритетные технологии, которые имеет смысл развивать в России, причём речь здесь должна идти о новых технологических и научных решениях. Примеры таких технологий – эпоксидирование пропилена пероксидом водорода на титансодержащих цеолитах (работы начаты группой компаний "Синтез-Ока"), создание собственного процесса получения терефталевой кислоты, переход к принципиально новым вариантам пиролиза углеводородов. В последнем случае желательно сконцентрироваться на создании собственного процесса пиролиза с использованием электрической энергии по примеру крупнейших зарубежных компаний.

В то же время для предотвращения проблем, связанных с технологической импортозависимостью и технологическим отставанием, необходимо обеспечить в долгосрочной перспективе создание инновационных процессов получения пропиленоксида с применением пероксида водорода или сходных по экологическому воздействию технологий, безфосгенного производства изоционатов и полиуретанов, производства бисфенола-А, *п*-ксилола и ароматических соединений, создать условия для опережающей разработки и внедрения собственных катализаторов полимеризации для получения полиолефинов премиальных марок. Важная проблема, которая не потеряет актуальности до 2035–2040 гг., – снижение углеродного следа производств базового нефтехимического сырья и продуктов, в том числе с внедрением технологий улавливания и утилизации диоксида углерода, технологий, использующих электроэнергию, а также разработки процессов прямой конверсии природного газа, технологии химического рецикла крупнотоннажных полимеров с получением базовых мономеров.

В области газохимии существенное значение должно иметь создание собственных процессов производства метанола и продукции на его основе (формальдегид, уксусная кислота и её производные). Здесь возможно как использование старых наработок ("ГИАП"), так и создание собственных технологий и катализаторов (при участии институтов РАН, имеющих задел в этой области: ИОХ РАН, ИНХС РАН, ИК СО РАН, ИПХФ РАН).

В долгосрочном плане особое значение могут приобрести процессы использования метана или угля для производства нефтехимической продукции (олефины, этиленгликоль, ароматические соединения) и бензина с применением оксигенатов. Таким путём значительная часть олефинов и этиленгликоля производится в КНР. Промышленное использование технологии получения бензина из природного газа налажено в Туркменистане, где введён в эксплуатацию завод, рассчитанный на переработку 1.785 млрд м^3 природного газа и выпуск 600 тыс. т бензина марки АИ-92, соответствующего требованиям стандарта Euro-5. На этом предприятии реализована технология TIGAS™ (Topsoe Improved Gasoline Synthesis), разработанная датской компанией Haldor Topsoe. Такие технологии создаются и в нашей стране, в том числе при активном участии научных организаций и вузов, прежде всего ИНХС РАН, ИПХФ РАН, ИОХ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, ряд из них достиг шестого уровня готовности. В условиях сокращения импорта российского газа и угля, необходимости уменьшения производства дизельного топлива из-за ограничений на его экспорт производство бензина таким способом исключит возникновение дефицита высооктанового бензина, а производство нефтехимической продукции может стать конкурентным преимуществом отечественных компаний.

Следует отметить, что в современных условиях значительно ограничивается доступ к зарубежному программному обеспечению для моделирования технологий и химических процессов (ASPEN, HISYS и др.). В этих условиях требуется создание собственного программного обеспечения, а значит, и объединение усилий математиков, программистов и химиков-технологов для решения первоочередных задач.

Технологическая независимость в нефтепереработке и нефтехимии: вопросы малотоннажной химии. Технологическая зависимость предприятий нефтепереработки и нефтехимии в настоящее время наиболее явно проявляется в используемых ими реагентах, катализаторах и других продуктах малотоннажной химии. Значительное отставание в этой области (и не только в технологиях, но и в производстве соответствующих про-

дуктов) делает предприятия нефтепереработки и нефтехимии критически зависимыми от поставок из-за рубежа. В соответствии с назначением можно выделить две группы продукции, потребности в которой исчисляются объёмами от десятков тонн до нескольких десятков тыс. т в год: малотоннажная химия, необходимая для функционирования производства, и малотоннажная химия, необходимая для производства конкретных продуктов с заданными эксплуатационными и потребительскими свойствами. Если недостаток первой заставляет останавливать производство из-за технологических рисков, то дефицит второй затрудняет или делает невозможным производство конечной продукции.

Для предприятий нефтепереработки и нефтехимии к первой группе, помимо катализаторов, можно отнести реагенты для водоподготовки (катионо- и ионообменные смолы, ингибиторы коррозии, биоцидные добавки, фосфоновые кислоты, этилендиаминтетрауксусная кислота, флокулянты и другие компоненты), добавки для антикоррозионной защиты оборудования (имидазолины, имиды, алифатические амины и их производные, четвертичные аммониевые соединения), адсорбенты (например, для очистки продуктов от соединений хлора или фтора), теплоносители, широкую группу смазочных материалов – от масел до рабочих жидкостей. Последние, как правило, включают материалы, предназначенные для насосного и компрессорного оборудования иностранного производства, и требуют замены на аналоги российского производства, которые, в свою очередь, используют зарубежные компоненты.

Для нефтеперерабатывающих предприятий особую группу реагентов составляют те, что используются на установках электрообессоливания нефти перед перегонкой [13]. К ним относят деэмульгаторы (например, блок-сополимеры оксидов алкенов, алкилфенолформальдегидные смолы, сшитые деэмульгаторы), нейтрализаторы (различные амины), ингибиторы коррозии. Подавляющее большинство таких реагентов не производится в России или производится в недостаточных количествах. В процессах коксования широкое применение находят антивспениватели, которые по своей природе представляют кремнийорганические соединения (силиконовые пеногасители) [14]. Российские реагенты по своим характеристикам существенно уступают зарубежным.

Что касается нефтехимии, то здесь следует указать не несколько групп специфических продуктов. Для высокотемпературных процессов принципиально важно использование ингибиторов коксообразования (диалкилсульфиды и полисульфиды, соединения кремния и фосфора и др.) [15]. Существенное значение имеют металлоорганические соединения, используемые в качестве катализаторов или компонентов каталитически активных систем (прежде всего бутиллитий и различные алюминийорганические соединения). В процессах радикальной полимеризации широко используются различные типы пероксидов и других инициаторов, поэтому потребность в них высока [16]. Производство указанных веществ на начало 2022 г. в нашей стране отсутствовало или было недостаточно по объёму.

Вторая группа продуктов средне- и малотоннажной химии призвана обеспечить выпуск конечной продукции. В нефтепереработке это топлива и масла, производство которых требует использования добавок и присадок для получения продуктов с необходимыми эксплуатационными свойствами. В топливах эти свойства достигаются за счёт применения специальных добавок, повышающих октановое (*m*-бутиловые эфиры, N-метиланилин и др.) и цетановое (2-этилгексилнитрат, диперокиды) число бензинов и дизельных топлив соответственно. Существенное значение имеют противоизносные (как правило, на основе жирных кислот), антистатические (полисульфоны, полиэфирополиамины, алкиларилсульфокислоты), моющие, диспергирующие (полизобутиленмонамины, сукцинимиды и др.), антиокислительные, антикоррозионные присадки. В России выпуск указанных продуктов освоен, основные проблемы связаны с наличием технологий производства соответствующих компонентов и сырья. Наиболее проблематичная ситуация сложилась с депрессорно-диспергирующими присадками, в особенности с компонент-депрессором. Здесь почти исключительно используются соолигомеры винилацетата и этилена, производство которых в России необходимо осваивать. Зависимость по этому виду присадок близка к 100% [17–19].

Что касается смазочных материалов, то здесь принципиальное значение имеет не только производство присадок, но и создание технологий получения базовых масел. В частности, речь идёт о необходимости организации выпуска нафтеновых и полиэфирных масел, реорганизациии имеющегося или создании нового производства высококачественных альфа-олефиновых масел, в особенности высоковязких, обеспечение сырьём производства эфиров синтетических жидких кислот. В выпуске присадок необходимо обеспечение целым комплексом продуктов, которые лежат в основе загущающих компонентов (сополимеры этилена с пропиленом, полиизобутилены, полиметакрилаты, виниполы, гидрированные сополимеры бутадиена и стирола специальной архитектуры), модификаторов трения (диалкилдитиокарбаматы и диалкилдитиофосфаты молибдена). Существует потребность в противоизносных (фосфор- и серосодержащие соедине-

ния), антипенных (полисиликоны и др.), моющих и диспергирующих присадках (соли сульфокислот и жирных карбоновых кислот), антиоксидантах (стерически затруднённые фенолы и ароматические амины), дезактиваторах металлов и ингибиторах коррозии (соединения на основе 1,2,3-бензатриазола, композиции на основе эфиров этиленгликоля и/или эфиров алкенилянтарной кислоты и др.). Потребность в указанных присадках достигает 80 тыс. т, половина из них – импортного происхождения [20, 21]. Основная проблема производства указанных соединений связана не только с несовершенством российских технологий и отсутствием мощностей, но и с отсутствием в России производства необходимого сырья, в частности, аминов, пятисернистого фосфора, необходимого количества жирных спиртов и кислот, анилина, гидрохинона и пирокатехина, а также многих других химических веществ. Технологическая импортонезависимость по указанным веществам и реагентам критически важна, для успешного функционирования предприятий и выпуска топлив и продукций нефтехимии эти вопросы необходимо решать.

Ситуация в области нефтехимии, если иметь в виду число необходимых для производства конечной потребительской продукции химических веществ, сложнее. Используемые в полимерной продукции (а именно она основная для нефтехимии) добавки, с учётом ужесточения требований к физико-механическим характеристикам, пожароопасности, долговечности и декоративным свойствам изделий из полимерных материалов, к их экологической безопасности, по своему ассортименту и назначению столь разнообразны, что речь идёт о сотнях наименований такого рода веществ. Здесь можно упомянуть как традиционные и новые наполнители и термостабилизаторы, так и соединения, например, улучшающие барьерные и огнестойкие свойства получаемых композиций. Созданы добавки для предотвращения старения полимеров (антиоксиданты, стабилизаторы, поглотители кислот, удлинители макроцепей), пластификаторы, внутренние смазки, добавки антиблокирующие и мигрирующие, армирующие, антимикробные, добавки для производства плёнок, антипирены, вспенивающие агенты, пигменты и красители, отбеливающие агенты и др. Отдельную группу составляют полимерные процессинговые добавки, необходимые при переработке полимеров [22].

Особо следует сказать о добавках, используемых в производстве резинотехнических изделий и шин. Шины по своему составу – один из наиболее сложных и совершенных композитных материалов, предполагающий присутствие большого числа компонентов, включая каучуки нескольких видов (изопреновый, бутадиен-стирольный, бутадиеновый и др.). При изготовлении шин используются материалы для корда (в том числе на основе полимерных волокон), олигомеры (олигоэфиракрилаты, полиэфиры, олигодиены и др.), сшивающие агенты (прежде всего сера), ускорители и активаторы вулканизации, замедлители подвулканизации, стабилизаторы, промоторы адгезии, модификаторы свойств и смягчители, технический углерод, кремниевая кислота и т.д. [23]. Варьирование компонентов, как и в случае изделий из полимеров, позволяет производить широкий ассортимент шин, существенно различающихся по своим эксплуатационным свойствам и применению.

Учитывая многообразие необходимых для сохранения спроса на продукцию крупнотоннажной нефтехимии продуктов, необходимо выделить наиболее критические на кратко- и среднесрочном этапе вещества, создание собственных технологий получения которых принципиально важно для российской нефтехимии. При этом следует учитывать, что в большинстве случаев речь идёт о сравнительно небольших объёмах, их производство может быть налажено на действующих площадках (а при сверхмалых объёмах – на опытных производствах институтов РАН, таких как филиал Института катализа СО РАН в Волгограде, Институт проблем химической физики РАН, Институт органического синтеза УрО РАН, Институт органической и физической химии КазНЦ РАН) или потребует сравнительно небольших капиталовложений на крупных предприятиях нефтепереработки и нефтехимии.

Для уменьшения технологической зависимости страны необходим правильный выбор ассортимента продукции, а также налаживание производства сырья. В России выпускается исходная продукция нефтехимии базовых переделов, но очень низок уровень производства промежуточной продукции более высоких переделов (классические примеры: амины, анилин, жирные спирты и кислоты), которая используется в малотоннажной химии. При разработке и реализации технологий следует выстроить производственные цепочки и создать “многопродуктовые” производства, в которых по сходной технологии на одном и том же комплексе оборудования производился бы широкий ассортимент сходных соединений (например, жирные спирты и альдегиды, кислоты с использованием синтез-газа из олефинов, жирные спирты из различных типов кислот).

* * *

Необходимость быстрой модернизации российской нефтепереработки и нефтехимии потребовала значительных инвестиций в создание новых производств по готовым зарубежным технологиям, что стало одной из основных причин технологической зависимости этих отраслей, на-

чиная от поставщиков оборудования, кончая реагентами, катализаторами и продукцией малотоннажной химии. Имеющийся задел в области нефтепереработки и нефтехимии позволяет найти выход из сложившейся ситуации. Для обеспечения технологической независимости принципиальны разработка и производство отечественного оборудования, программного обеспечения для моделирования процессов, создание собственных катализаторов, присадок и реагентов. Переход к реализации стратегии технологической независимости потребует в ближайшее десятилетие осуществления комплекса мер по созданию собственных принципиально новых экологически безопасных, энерго- и ресурсосберегающих технологий на базе современных достижений химической науки в целом. Российскими организациями предложены технологии получения из тяжёлого нефтяного сырья широкого спектра продуктов, имеется ряд инновационных технологий нефтехимии и газохимии, повышение уровня готовности которых возможно в течение нескольких лет. Вместе с тем требуется налаживание выпуска мало- и среднетоннажной продукции, которая затем может использоваться в производстве широкого круга реагентов, присадок и химических веществ.

С участием экспертного сообщества, объединяющего представителей науки, предприятий и организаций химического комплекса страны, необходимо выявить ключевые продукты, сформулировать технологические приоритеты. Для создания (на основе ориентированных разработок научных и образовательных организаций) промышленных технологий, готовых к реализации на российских химических и нефтехимических предприятиях, актуально создание отечественной технологической компании (компаний) при участии и контроле государства и бизнес-партнёров по типу “открытых инноваций” с собственными испытательными и опытно-производственными мощностями.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНХС РАН им. А.В. Топчиева.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Филимонова И., Проворная И., Немов В., Дзюба Ю.* Российская нефтепереработка на современном этапе развития // Нефтегазовая вертикаль. 2020. № 17. С. 8–20.
2. Нефтеперерабатывающие заводы России и стран СНГ. ОМТ-консалт, 2019. https://www.omt-consult.ru/services/directory/neftepererabatyvayuwie_zavody1/ (дата обращения 21.06.2022).
3. *Mishukov E.A., Linnik Yu.N.* Comparative analysis of oil processing depth by Nelson index in different countries // Vestnik universiteta. 2019. № 11. P. 77–81. https://doi.org/10.26425/1816-4277-2019-11-77-81
4. *Капустин М.В., Чернышёва Е.В.* Современная российская нефтепереработка: итоги и перспективы // Энергетическая политика. 2019. № 1. С. 49–56.
5. Катализаторы процессов в нефтепереработке. Обзор. 19 мая 2022 г. https://www.interfax.ru/business/841697
6. *Гордеев А.* Минэнерго подписало инвестсоглашения с НПЗ на 800 млрд рублей // Ведомости. 14 апреля 2021 г. https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/04/14/865839-minenergo-podpisalo
7. Тренд на развитие полимеров. 13 мая 2021 г. https://www.cdu.ru/tek_russia/articles/4/882/
8. *Егоров М.П., Максимов А.Л., Музафаров А.М. и др.* Химия в XXI веке: вызовы и перспективы для России // Вестник РАН. 2022. № 2. С. 103–117. https://doi.org/10.31857/S0869587322020025
9. *Калиненко Е.А., Суханова И.И.* Обзор нефтегазохимической отрасли России // Neftegaz.ru. 2021. № 1. С. 70–79.
10. *Алдошин С.М., Арутюнов В.С., Савченко В.И.* Новые некаталитические методы переработки углеводородных газов // Химическая физика. 2021. № 5 (40). С. 46–54. https://doi.org/10.31857/S0207401X21050034
11. *Герзелиев И.М., Подопригора Е.В., Пименов А.А.* Исследование закономерностей получения водородсодержащего газа из метана на пилотной установке с движущимся слоем микросферического катализатора и раздельной подачей сырья и окислителя // Журнал прикладной химии. 2020. № 11 (93). С. 1633–1641. https://doi.org/10.31857/S0044461820110146
12. *Пономарёв-Степной Н.Н., Алексеев С.В., Петрунин В.В. и др.* Атомный энерготехнологический комплекс с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами для масштабного экологически чистого производства водорода из воды и природного газа // Газовая промышленность. 2018. № 11 (777). С. 94–102.
13. *Фазулзянов Р.Р., Елпидинский А.А., Гречухина А.А., Башкирцева Н.Ю.* Применение реагентов на установках первичной переработки нефти // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 6. С. 192–195.
14. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 30-2017. “Переработка нефти”. Утверждён приказом Росстандарта № 2424 от 14 ноября 2017 г. М.: Бюро НДТ, 2017.
15. *Жагфаров Ф.Г., Карпов А.Б., Василенко В.Ю., Сорокин Б.А.* Совершенствование технологии пиролиза путём применения ингибиторов коксообразования // НефтеГазоХимия. 2014. № 4. С. 24–27.
16. Технология полимерных материалов / Отв. ред. В.К. Крыжановский. М.: ЦОП Профессия, 2011.

17. *Капустин М.В.* Нефтяные и альтернативные топлива с присадками и добавками. М.: Колос, 2008.
18. *Данилов А.М.* Применение присадок в топливах. 3-е изд., доп. СПБ.: Химиздат, 2010.
19. *Данилов А.М.* Новый взгляд на присадки к топливам (Обзор) // Нефтехимия. 2020. № 2 (60). С. 163–171. https://doi.org/10.31857/S0028242120020033
20. *Цветков О.Н., Максимов А.Л.* Тенденции развития смазочных материалов России // Мир нефтепродуктов. 2020. № 5. С. 6–18.
21. *Данилов А.М., Бартко Р.В., Антонов С.А.* Современные достижения в области применения и разработки присадок к смазочным маслам (Обзор) // Нефтехимия. 2021. № 1 (61). С. 43–51. https://doi.org/10.31857/S0028242121010032
22. *Цвайфель Х., Маер Р.Д., Шиллер М.* Добавки к полимерам. Справочник / Под ред. В.Б. Узденского и А.О. Григорова. М.: Профессия, 2017.
23. Rubber compounding: chemistry and applications / 2nd Edition by Brendan Rodgers (Editor). CRC Press, 2015.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 10, с. 940–949

С КАФЕДРЫ ПРЕЗИДИУМА РАН

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

© 2022 г. А. С. Носков[a,*]

[a]Федеральный исследовательский центр "Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН", Новосибирск, Россия

*E-mail: noskov@catalysis.ru

Поступила в редакцию 29.04.2022 г.
После доработки 04.05.2022 г.
Принята к публикации 14.06.2022 г.

В статье приводятся данные об обеспечении предприятий нефтепереработки, нефтехимической, химической и масложировой отраслей промышленности России отечественными базовыми катализаторами. Даётся оценка имеющегося в российских организациях научно-технического задела по катализаторам нефтепереработки (крекинг, риформинг, гидроочистка, гидрокрекинг), азотной промышленности (паровая конверсия природного газа и оксида углерода, синтез метанола), нефтехимии (полимеризация олефинов). Определяются ключевые задачи обеспечения импортонезависимости производства базовых катализаторов, которые связываются с необходимостью завершения НИОКР и создания производства высокотехнологичных сырьевых компонентов (прежде всего цеолитов и особо чистого активного оксида алюминия).

В основу статьи положен доклад, с которым автор выступил на заседании президиума РАН.

Ключевые слова: катализаторы, импортонезависимость, нефтепереработка, нефтехимия, азотная промышленность, полиолефины.

DOI: 10.31857/S0869587322100085

Уровень развития каталитических технологий определяет экономическую эффективность и экологическую безопасность почти всех процессов нефтепереработки и нефтехимии, а также химической промышленности. Получение моторного топлива (авиакеросина, дизельного топлива и высокооктанового бензина), крупнотоннажные производства полиэтилена и полипропилена, аммиака и метанола основаны на использовании катализа. В масложировой промышленности только он позволяет получать из растительного масла маргарин и специальные твёрдые жиры. Велика роль каталитических процессов в фармацевтике, поскольку без них не обходится производство лекарственных субстанций. В целом объём выпускаемой в России продукции на основе каталитических технологий можно оценить в 5–6 трлн руб./год.

НОСКОВ Александр Степанович – член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе ФИЦ ИК им. Г.К. Борескова СО РАН.

Необходимым элементом таких технологий служат катализаторы. Их номенклатура включает в себя несколько сотен модификаций. В зависимости от особенностей процессов время жизни катализаторов в реакторе составляет от нескольких часов (каталитический синтез полиэтилена и полипропилена) до 10 лет (процесс метанирования при производстве аммиака). Объём потребления катализаторов в России достигает почти 70 тыс. т в год. В силу разных обстоятельств доля импортных катализаторов в промышлнных процессах составляет от 30–40% (отдельные процессы нефтепереработки) до 100% (большинство

процессов нефтехимии). Анализу обеспечения базовыми катализаторами российских предприятий нефтепереработки, нефтехимической, химической и масложировой отраслей промышленности, а также перспективам замещения используемых импортных катализаторов отечественными посвящена настоящая статья.

Оценка текущей ситуации. Исходным материалом для анализа послужили данные рабочей группы по импортозамещению промышленных катализаторов нефтепереработки и нефтехимии при Минэнерго России (руководитель группы член-корреспондент РАН А.С. Носков). Приведённые в таблице 1 сводные данные можно прокомментировать следующим образом.

Каталитические процессы, разработанные и промышленно освоенные в середине XX в., базировались на использовании отечественных катализаторов. В ряде производственных цепочек это удаётся и сейчас. В качестве примеров можно привести обеспеченность российскими катализаторами установок процесса крекинга и риформинга (табл. 1, пп. 1, 2) в нефтепереработке, часть процессов дегидрирования в нефтехимии (табл. 1, п. 12). Имеющийся в России научно-технический задел и производственные мощности по выпуску катализаторов позволяют относительно легко и оперативно восполнить их недостающие объёмы, чтобы заменить импортные аналоги. Уровень отечественных разработок не уступает лучшим зарубежным.

Массовое использование российскими заводами импортных катализаторов на установках крекинга вакуумного газойля, риформинга и изомеризации бензиновых фракций, начиная с последнего десятилетия XX в., обусловлено активным маркетингом и сервисными услугами со стороны зарубежных поставщиков. В настоящее время такие услуги в полной мере предоставляются и российскими производителями катализаторов.

Другая группа крупнотоннажных процессов нефтепереработки начала массово применяться на российских нефтеперерабатывающих заводах преимущественно уже в XXI в. (табл. 1, пп. 3–5). Вследствие требований лицензиаров в этих установках использовались только импортные катализаторы. Однако наличие научного задела в институтах РАН, университетах и исследовательских центрах нефтяных компаний позволило достаточно оперативно разработать технологии синтеза российских аналогов. В настоящее время на ряде заводов ПАО “НК “Роснефть” и ПАО “Газпром нефть” начата эксплуатация отечественных катализаторов собственного производства. Действующие мощности АО “РН-кат” (ПАО “НК “Роснефть”) и вновь создаваемые в Омске (ПАО “Газпром нефть”) вполне обеспечат потребности российских заводов в катализаторах гидроочистки, высок также их экспортный потенциал. Завершена разработка катализаторов гидрокрекинга вакуумного газойля, готовятся их опытно-промышленные испытания. Сложнее ситуация с катализаторами, применяемыми в производстве зимних (арктических) топлив и масел (табл. 1, п. 5). Хотя и здесь отечественные разработки не уступают импортным аналогам, компонентный состав этих катализаторов предполагает использование импортных синтетических цеолитов, поэтому требуется развёртывание производства широкой номенклатуры синтетических цеолитов на российских заводах.

Проблема импортозамещения катализаторов производства водорода (табл. 1, п. 7) двояка: если ранее построенные установки генерации водорода на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) обеспечиваются российскими катализаторами в полной мере, то вновь построенные установки на НПЗ и, что особенно важно, на заводах по крупнотоннажному производству аммиака и метанола базируются практически полностью на импортных.

Производство современных российских катализаторов нефтепереработки и нефтехимии невозможно без обеспечения необходимым высокотехнологичным сырьём. Это касается прежде всего ряда марок активного оксида алюминия и необходимой номенклатуры синтетических цеолитов (табл. 1, пп. 8, 9). Потребность в активном оксиде алюминия массовых марок вполне обеспечивается его производством на ряде заводов (ООО “КНТ-Групп”, АО “СКТБ катализаторов”, вновь создаваемые мощности ПАО “Газпром нефть” в Омске). Открытым остаётся вопрос выпуска особо чистого активного оксида алюминия, необходимого для катализаторов риформинга бензиновых фракций и дегидрирования пропана в реакторах с движущимся каталитическим слоем. Необходимость создания производства такого оксида алюминия в России обусловлена фактически монопольным положением на мировом рынке компании Sasol (ЮАР–Германия).

В нефтехимии ситуация с импортозамещением катализаторов гораздо сложнее. За исключением разработанных в СССР процессов дегидрирования лёгких углеводородов в кипящем слое (табл. 1, п. 12), практически во все крупнотоннажные установки нефтехимии загружены импортные катализаторы (табл. 1, пп. 10, 11, 13–17). Следует особо отметить проблему производства катализаторов полимеризации олефинов: они служат расходным материалом, и прекращение их поставок из-за рубежа в течение весьма короткого времени (несколько месяцев) может привести к остановке крупнейших российских заводов по производству полиэтилена и полипропилена.

Таблица 1. Анализ обеспечения базовыми катализаторами российских предприятий

№ пп	Катализатор	Объём потребления катализатора, т/год	Доля импорта, %	Обеспечение катализаторами, перспективы развития
		Нефтепереработка		
1	Катализаторы крекинга (FCC/движущийся слой)	(12000–14000)/3000	~40/0	Надёжное обеспечение. Запланировано развитие производства в г. Омске (ПАО “Газпром нефть”)
2	Катализаторы риформинга (неподвижный/движущийся слой)	200/100	~35/100	Надёжное обеспечение для неподвижного слоя. Развитие производства в г. Ангарске (ПАО “НК “Роснефть”)
3	Катализаторы гидроочистки (нефтяных фракций)	3500–4000	60–70	В настоящее время значительная зависимость от импорта. Ведутся разработки и промышленное опробование катализаторов в ПАО “НК “Роснефть” и ПАО “Газпром нефть”. Завершается создание производства в г. Омске
4	Катализаторы гидрокрекинга	1000–1500	~100	В настоящее время практически полная зависимость от импорта. Ведутся исследования и разработки отечественных катализаторов
5	Катализаторы производства зимних (арктических) топлив и масел	150–200	100	В настоящее время практически полная зависимость от импорта. Ведутся исследования и разработки отечественных катализаторов
6	Катализаторы изомеризации бензиновых фракций	200–250	40(ZrO_2)/ 100 (Al_2O_3)	Надёжное обеспечение отечественными катализаторами на основе ZrO_2 и практически полная зависимость от импорта катализаторов на основе Al_2O_3
7	Катализаторы производства водорода: • риформинг метана • конверсия оксида углерода	8500–9000 (с учётом производства метанола и аммиака)	Более 90%	Обеспечение отечественными катализаторами только ранее построенных установок на НПЗ. Есть научные заделы для производства современных марок катализаторов
8	Активный оксид алюминия (обычный Al_2O_3/особо чистый Al_2O_3)	(10000–15000)/(200–250)	(5–10)/100	Производство обычного Al_2O_3 обеспечивается отечественными производителями. Производство особо чистого Al_2O_3 отсутствует
9	Цеолиты: – ультрастабильный Y	1500	0	Производство цеолитов типа Y и ZSM-5 обеспечивается российскими предприятиями. Производство остальных цеолитов в России отсутствует
	– ZSM-5	150	0	
	– ZSM-11(12); BETA; ZSM-22; SAPO-41 и др.	200–300	100	

Таблица 1. Окончание

№ пп	Катализатор	Объём потребления катализатора, т/год	Доля импорта, %	Обеспечение катализаторами, перспективы развития
		Нефтехимия		
10	Катализаторы полимеризации олефинов: – этилена – пропилена	270 54	>80 100	Практически полная зависимость от импорта
11	Катализаторы окисления этилена в этиленоксид	150–200	100	Зависимость от импорта. Ведутся разработки в российских компаниях
12	Катализаторы дегидрирования			
	– изобутана в изобутилен	15000–20000	0	Полное обеспечение российскими катализаторами
	– бутана в бутадиен	200	100	Зависимость от импорта. Ведутся разработки в российских организациях
	– изопентана в изопрен	10000	0	Полное обеспечение российскими катализаторами
	– пропана в пропилен	100	100	Зависимость от импорта. Ведутся разработки в российских компаниях
13	Катализаторы производства терефталевой кислоты	400	100	Полная зависимость от импорта
14	Катализаторы синтеза акрилонитрила (НАК)	150 (300 с Республикой Беларусь)	100	Критическая зависимость от импорта. Использование НАК в производстве углеродных волокон
15	Катализаторы синтеза винилхлорида	600	100	Подготовлено производство отечественных катализаторов
16	Катализаторы алкилирования бензола	3000–3500	–	Отечественные катализаторы разработаны. Необходим переход с $AlCl_3$ на твердокислотные катализаторы
17	Катализаторы синтеза акриловой кислоты	100–150	100	Зависимость от импорта. Имеется научный задел
		Масложировая промышленность		
18	Катализаторы гидрирования растительных масел	400	100	Полная зависимость от импорта. Имеется научный задел

Научный задел в российских НИИ и университетах позволяет достаточно оперативно решить задачу развёртывания отечественного производства катализаторов окисления этилена в этиленоксид (табл. 1, п. 11), дегидрирования бутана в бутадиен под вакуумом (табл. 1, п. 12), синтеза акрилонитрила (табл. 1, п. 14). Для импортозамещения катализаторов синтеза винилхлорида подготовлено их производство (ООО “КНТ-Групп”), при необходимости российские разработки могут быть оперативно введены в эксплуатацию в реакторах с кипящим каталитическим слоем. Аналогично обстоят дела с катализаторами алкилирования бензола (табл. 1, п. 16). Современные процес-

Рис. 1. Структура и функции катализатора крекинга вакуумного газойля

сы алкилирования бензола базируются на применении твердокислотных цеолитсодержащих катализаторов, разработанных совместными усилиями Института нефтехимического синтеза РАН и НТЦ "Газпромнефтехим Салават". Они используются в промышленных условиях и вполне позволяют заменить традиционные экологически опасные катализаторы ($AlCl_3$) в данных процессах.

Стремительное развитие в России производств терефталевой кислоты (основной компонент синтеза полиэтилентерефталата) и акриловой кислоты, к сожалению, полностью базируется на импортных катализаторах (табл. 1, пп. 13, 17). Отечественные исследования в этой области относятся преимущественно к концу XX в. Сегодня необходимо восстановить научные коллективы, занимавшиеся созданием таких катализаторов, провести дополнительные НИОКР по актуализации ранее полученных результатов, разработке необходимых технологических решений.

Актуальна задача выпуска отечественных катализаторов гидрирования растительных масел (табл. 1, п. 18). Хотя в российских научных организациях есть задел по этой теме, промышленное производство маргарина и специальных жиров полностью базируется на импортных катализаторах, причём, как правило, однократного применения.

Научно-технический и промышленный потенциал российских организаций. В качестве положительных примеров высокого научного уровня исследований, результаты которых нашли применение в производстве катализаторов нефтепереработки, следует, в частности, упомянуть катализаторы крекинга вакуумного газойля и риформинга бензиновых фракций [1–3].

Катализаторы крекинга (рис. 1) представляют собой сложную композиционную систему, где каждый компонент отвечает за реализацию определённых химических реакций. Первичный крекинг высокомолекулярных углеводородов, содержащих более 30 атомов углерода, происходит на неорганических компонентах катализатора (матрице). Следующую стадию обеспечивает ультрастабильный цеолит типа Y, позволяющий получать из углеводородов высокооктановый бензин. Для получения сырья (олефинов – этилена и пропилена) для нефтехимии служит цеолит ZSM-5.

К настоящему времени разработан широкий ассортимент катализаторов крекинга различного назначения [1]: для максимального выхода бензина (до 60%); получения лёгких олефинов – этилена и пропилена (выход более 25%); переработки тяжёлого вакуумного газойля, содержащего много металлов (до 10000 ppm никеля и ванадия); снижения выбросов токсичных компонентов (оксидов углерода, азота и серы) в газах регенерации катализаторов.

Промышленные мощности АО "Газпромнефть–Омский НПЗ" и ООО "КНТ-Групп" (г. Ишимбай, Башкортостан), а также строящийся в Омске завод АО "Газпромнефть–Каталитические системы" полностью обеспечат все потребности российских НПЗ и возможность выхода на зарубежные рынки. За последние годы российскими заводами произведено около 60 тыс. т катализаторов крекинга, с их применением переработано более 120 млн т сырья (вакуумного газойля) в автомобильный бензин.

Научные исследования в области катализаторов крекинга активно развиваются прежде всего в омском Центре новых химических технологий (ЦНХТ) ФИЦ "Институт катализа СО РАН" [1] и ООО "КНТ-Групп", что надёжно обеспечивает импортозамещение сегодня и гарантирует его в будущем.

Достаточно продуктивно развиваются научные исследования (с последующим их промышленным использованием) в области катализаторов риформинга для неподвижного слоя, обеспечивающих получение высокооктанового бензина из низкооктанового прямогонного (рис. 2). Катализаторы риформинга базируются на применении особо чистого активного оксида алюминия, промотированного несколькими металлами (цирконий, олово, титан и др.), а в качестве активного компонента выступает платина. В ходе синтеза катализаторов требуется обеспечить необходимую дисперсность платины (около 1 нм) и её стабильность на весь срок службы катализатора (4–6 лет).

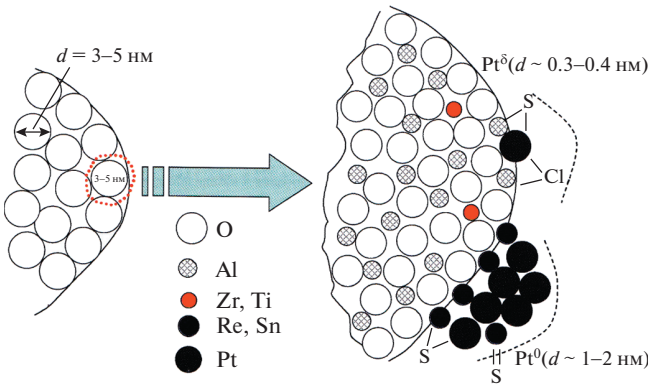


Рис. 2. Структура катализатора риформинга бензиновых фракций

Основные научные исследования в области катализаторов риформинга проводятся в упоминавшемся омском ЦНХТ [2] и краснодарском ООО “НПП Нефтехим” [4]. Промышленное производство таких катализаторов осуществляют АО “Ангарский завод катализаторов и органического синтеза” (ПАО “НК “Роснефть”), а также ООО “Нижегородские катализаторы” с участием ООО “НПП Нефтехим”. За последние годы в хозяйственный оборот введено более 1000 т катализаторов риформинга, что позволяет ежегодно перерабатывать более 8 млн т бензинового сырья. Дальнейшее развитие отечественного производства катализаторов такого назначения связано с модернизацией завода в Ангарске, а также с разработкой и началом производства в России специального шарикового катализатора для установок с движущимся слоем. По прогнозным оценкам к 2025 г. использование российских катализаторов риформинга в промышленных установках достигнет 70–75%.

Потребность российских нефтеперерабатывающих заводов в современных катализаторах гидроочистки нефтяных фракций (прежде всего дизельного топлива и вакуумного газойля) обусловила активное развитие исследований в ФИЦ “Институт катализа СО РАН” [5], Самарском государственном техническом университете [6], ООО “РН–ЦИР” (ПАО “НК “Роснефть”), ООО “Газпромнефть–Промышленные инновации” и др. В общем виде схема синтеза катализаторов гидроочистки приведена на рисунке 3. Наибольшее влияние на активность таких катализаторов имеют свойства носителя. Исходным сырьём для получения пористых носителей сложных форм служат соединения алюминия (псевдобемит) специальной морфологии. Другой активный компонент синтеза катализаторов – би(три)металлические комплексы металлов (кобальта, молибдена, никеля, вольфрама). Синтезированные комплексы непременно должны обладать водорастворимостью, что обеспечивает их нанесение на твёрдые пористые носители путём пропитки. На завершающей стадии синтеза нанесённые на носители оксидные комплексы в промышленных реакторах переводятся в каталитически активное состояние с использованием процесса сульфидирования.

В настоящее время катализаторы гидроочистки производят ООО “РН-кат” (г. Стерлитамак,

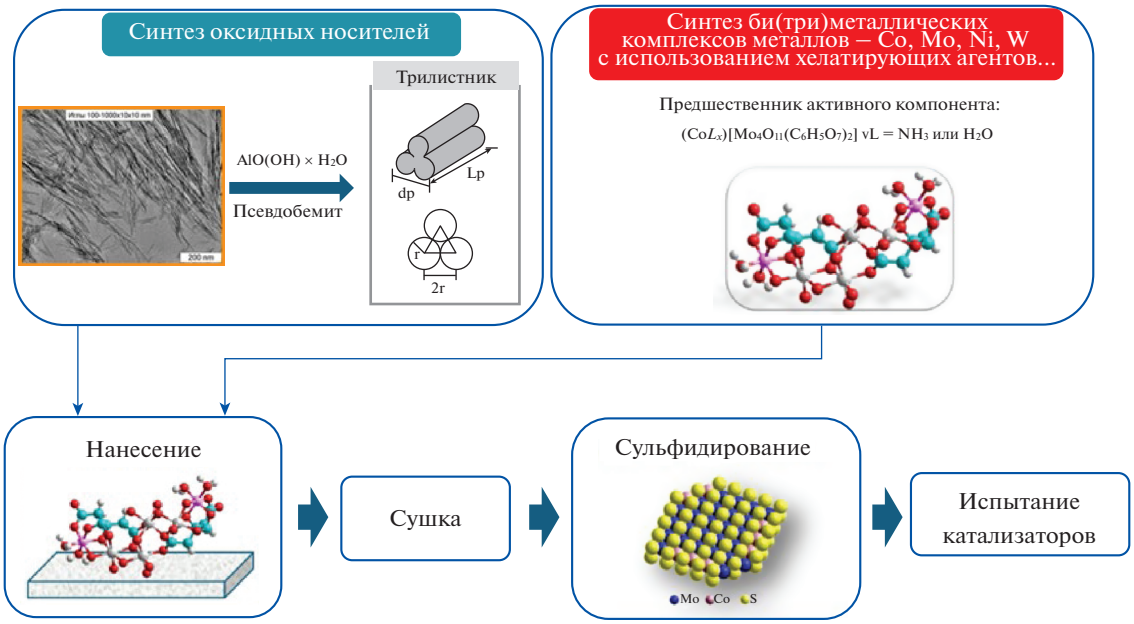


Рис. 3. Схема синтеза катализаторов гидроочистки нефтяного сырья

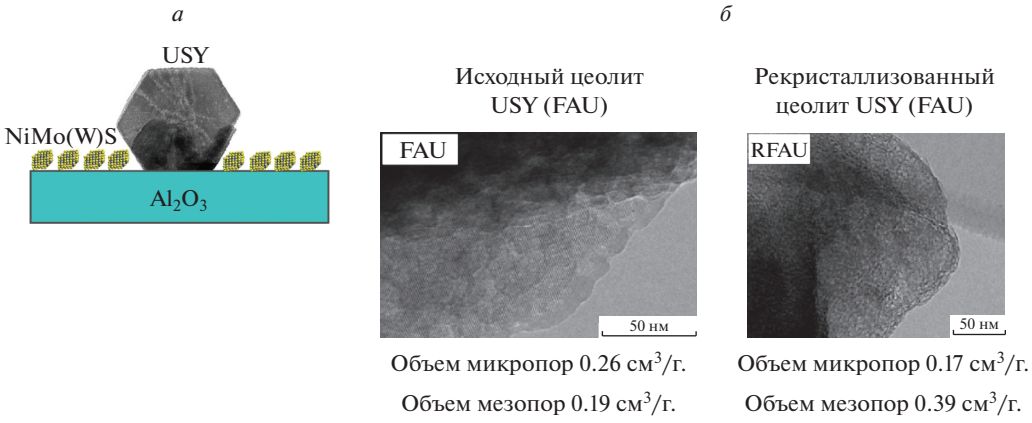


Рис. 4. Структура катализаторов гидрокрекинга тяжёлых нефтяных фракций: *а* – наличие гидрирующего (NiMo(W)S) и крекирующего (USY) компонентов; *б* – модифицирование цеолита Y

Башкортостан) и ООО “Газпромнефть–Каталитические системы”. В 2020–2022 гг. они ввели в промышленную эксплуатацию около 600 т катализаторов гидроочистки, а после завершения в 2022 г. строительства в Омске нового катализаторного завода (ПАО “Газпром нефть”) суммарное их производство в России составит около 8 тыс. т/год. Это позволит не только полностью обеспечить потребности российских заводов, но и выйти на внешние рынки.

Развитие процессов глубокой переработки нефти обусловило формирование спроса на катализаторы гидрокрекинга тяжёлых нефтяных фракций – вакуумного газойля. Процесс гидрокрекинга – один из самых сложных в нефтепереработке. Он осуществляется при давлении около 200 атм. и большом избытке водорода (объёмное отношение водорода к сырью – до 2000). Такие условия позволяют получать из тяжёлого сырья с температурой кипения до 700°C высококачественное дизельное топливо и авиационный керосин. Степень совершенства процесса гидрокрекинга можно охарактеризовать следующим показателем: в ходе процесса содержание соединений серы снижается в 10 000 раз! Катализаторы гидрокрекинга совмещают в своём составе крекирующие (USY) и гидрирующие (NiMo(W)S) компоненты (рис. 4*а*). В качестве гидрирующих компонентов выступают сульфиды металлов (никеля, молибдена, вольфрама), а за крекинг тяжёлых углеводородов отвечают ультрастабильные цеолиты типа Y. Необходимым условием обеспечения эффективности катализаторов гидрокрекинга служит наличие в цеолитах мезопористой структуры. Это требует специальных методов обработки исходных синтетических цеолитов с целью увеличения объёма мезопор (рис. 4*б*), что очень важно, поскольку, например, увеличение объёма мезопор в 2 раза (с 0.19 до 0.39 см^3/г) ведёт к росту выхода дизельного топлива и керосина на 10%, а для типичной промышленной установки гидрокрекинга прирост составляет около 200 тыс. т дополнительного моторного топлива в год. Суммарный выход светлых нефтепродуктов (нафта, авиационный керосин, дизельное топливо) в процессе гидрокрекинга превышает 95%.

В настоящее время научные исследования ФИЦ “Институт катализа СО РАН”, Института нефтехимического синтеза (ИНХС) РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова с участием ПАО “Газпром нефть” [7], ООО “РН-ЦИР” позволили разработать отечественные катализаторы гидрокрекинга, не уступающие известным образцам зарубежных компаний. Промышленное их производство возможно в ООО “РН-кат” в объёме до 1000 т/год и на строящемся заводе ПАО “Газпром нефть” – до 2000 т/год. Необходимым первым шагом по замене импортных катализаторов на отечественные должна стать наработка и испытания опытно-промышленной партии катализатора гидрокрекинга на одной из промышленных установок. Сдерживающими факторами оказываются лицензионные ограничения на использование отечественных катализаторов и большой объём единовременной загрузки катализатора в отдельный реактор (100–200 т). Последнее обстоятельство обусловливает технологический риск при использовании вновь разработанного катализатора гидрокрекинга.

Весьма сложная ситуация складывается с обеспечением отечественными катализаторами предприятий азотной промышленности. Это касается катализаторов для установок получения водорода (катализаторы парового риформинга природного газа и средне(высоко)температурной паровой конверсии CO) в составе комплексов синтеза аммиака и метанола, а также собственно катализаторов синтеза метанола (рис. 5).

Современные катализаторы парового риформинга природного газа должны демонстрировать устойчивую работу при соотношениях пар/газ не

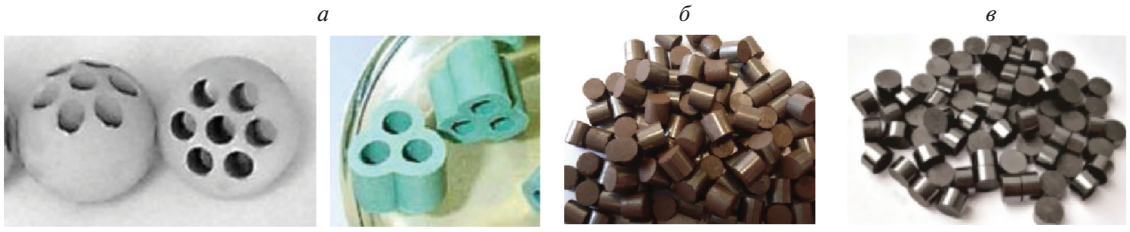


Рис. 5. Катализаторы, используемые в азотной промышленности и при получении водорода: *а* – катализаторы парового риформинга природного газа; *б* – катализаторы паровой конверсии оксида углерода; *в* – катализаторы синтеза метанола

более 2. Избыток водяного пара ведёт к росту энергозатрат. К сожалению, научные исследования в этой области катализа ведутся в России в крайне ограниченном объёме. Продукты, производимые ООО "НИАП-катализатор" (г. Новомосковск, Тульская область) и АО "Ангарский завод катализаторов и органического синтеза", используются, как правило, на относительно небольших установках азотной промышленности и построенных в XX в. установках получения водорода на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности. Суммарный объём производства этих катализаторов в России не превышает 400 т/год, что примерно в 10 раз меньше годовой потребности российских заводов (около 4000 тонн). Для устранения импортозависимости необходимо восстановление опытно-испытательной базы по тестированию катализаторов парового риформинга природного газа (ООО "НИАП-катализатор") и создание современного их производства на основе российских научных разработок (см. рис. 5).

Несколько более оптимистичны перспективы преодоления импортозависимости в области катализаторов паровой средне- и низкотемпературной конверсии оксида углерода и синтеза метанола. На основе исследований ФИЦ "Институт катализа СО РАН", Института органической химии РАН, Института нефтехимического синтеза РАН и ООО "НИАП-катализатор" разработана единая технологическая платформа, позволяющая производить упомянутую номенклатуру катализаторов. Технология основана на процессе осаждения катионов металлов из водных растворов солей, обеспечивающем глубокое химическое взаимодействие компонентов и гарантированное качество конечного продукта, она была опробована на Ульбинском металлургическом заводе (г. Усть-Каменогорск, Казахстан) в 1990-е годы. Выпущенные этим предприятием катализаторы успешно эксплуатировались на ряде заводов азотной промышленности. В настоящее время производственные мощности позволяют производить в России не более 400–500 т/год катализаторов средне- и низкотемпературной конверсии оксида углерода и синтеза метанола при годовой потребности в этих катализаторах около 5000 т к 2025 г. Одним из вариантов решения проблемы может стать создание их производства на мощностях АО "ТВЭЛ".

Пожалуй, наиболее острая на сегодня проблема – импортозамещение катализаторов полимеризации этилена и пропилена. Наряду с практически полной зависимостью российских предприятий нефтехимии от их импорта, ситуация осложнена одноразовым использованием катализаторов полимеризации в технологических процессах. Прекращение поставок этого расходного материала с неизбежностью ведёт к остановке крупнейших производств полиэтилена и полипропилена в России.

В России создан научный задел практически для всей номенклатуры современных катализаторов полимеризации олефинов. Это, в частности, титан-магниевые катализаторы (ТМК) [8, 9], уже производимые на основе российских исследований, но только не в нашей стране, а за рубежом. Предложено и освоено производство хромовых катализаторов полимеризации [10]. Разработан метод синтеза металлоценовых и постметаллоценовых катализаторов полимеризации [11], а также заложены научные основы синтеза носителей для катализаторов на основе диоксида кремния. Исследовательские возможности по синтезу катализаторов полимеризации сосредоточены главным образом в институтах РАН (ФИЦ "Институт катализа СО РАН", Институт нефтехимического синтеза РАН, Институт химической физики РАН), МГУ им. М.В. Ломоносова и ОАО "Пластполимер" (Санкт-Петербург). Для промышленных испытаний ТМК-синтеза полиэтилена в России имеется опытно-промышленная установка, позволяющая нарабатывать до 1 т катализаторов в год. Для преодоления импортозависимости в области катализаторов полимеризации олефинов необходимо на первом этапе создать производство ТМК мощностью до 150 т/год. Такое производство позволит в дальнейшем расширять номенклатуру выпуска за счёт синтеза перспективных металлоценовых и постметаллоценовых

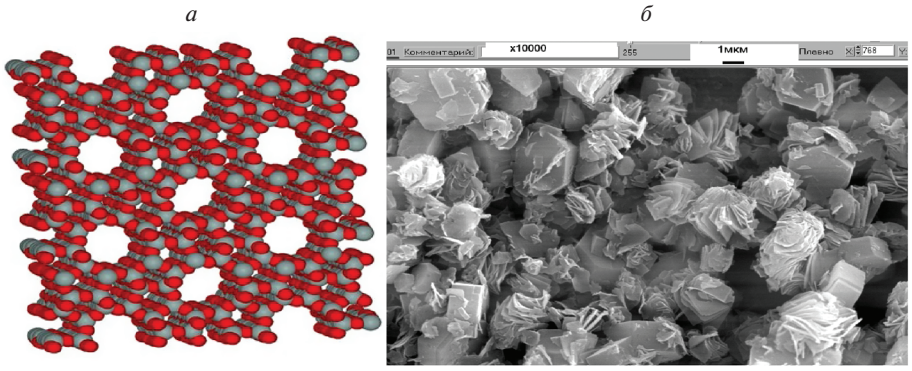


Рис. 6. Примеры синтетических цеолитов: *а* – структура цеолитов; *б* – микрофотография цеолита марки ZSM-5

катализаторов, а также нефталатных катализаторов полимеризации. Современный уровень российских разработок вполне позволяет организовать такое производство в течение 3–4 лет.

Одной из составных частей продуктовой безопасности России является производство твёрдых жиров из растительного масла. Объём выпуска маргарина и специальных жиров в России достигает 1.5 млн т/год. Без этой масложировой продукции невозможно обойтись при выпуске широкой номенклатуры продуктов питания, прежде всего хлебобулочной и кондитерской продукции. Технология переработки растительного масла в маргарин и спецжиры основана на его гидрировании. Процесс протекает в больших ёмкостных реакторах на специальных катализаторах с подачей водорода и длится около 5 часов, затем мелкодисперсный катализатор отфильтровывают из продукта и отправляют на металлургические заводы для переработки. Фактически катализатор служит расходным материалом и используется однократно. Традиционные катализаторы представляют собой композицию, состоящую из металла, нанесённого на природный материал – кизельгур. В настоящее время практически все российские масложировые предприятия используют импортные катализаторы. В то же время научный задел в области катализаторов гидрирования позволяет в течение 1.5–2 лет преодолеть такую зависимость и создать производство отечественных катализаторов на основе экологически безопасного синтетического диоксида кремния. Потребность в катализаторах относительно невелика – до 400 т/год, однако значение процессов, в которых применяются эти катализаторы, крайне важно для отечественной пищевой промышленности.

Производство подавляющего большинства современных крупнотоннажных катализаторов нефтепереработки и нефтехимии требует использования высокотехнологичной сырьевой базы. В качестве одного из важнейших сырьевых компонентов выступают синтетические цеолиты (рис. 6). Технология их синтеза предполагает использование высоких давлений и температур и специального оборудования (автоклавов). В катализаторах нефтепереработки и нефтехимии применяются различные марки цеолитов – от простейших типа Y (в катализаторах крекинга вакуумного газойля) до весьма химически сложных по составу и производству цеолитов типа SAPO-31 (катализаторы получения зимних (арктических) топлив и масел). В научных организациях России накоплен значительный потенциал по основам синтеза широкого ассортимента цеолитов: ZSM-5, ZSM-22 и 23, SAPO-31 и 41 и др.

Научные компетенции сотрудников Института нефтехимического синтеза РАН, химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИЦ “Институт катализа СО РАН”, Башкирского научного центра РАН, а также малого предприятия ООО “Цеолитика” соответствуют мировому уровню. В качестве примера можно привести передовую разработку (ИНХС РАН, ООО “Цеолитика”, МГУ) нового бессточного метода синтеза цеолитов. К сожалению, в России в промышленных масштабах производятся фактически только две марки цеолитов (типа Y и ZSM-5). Для решения проблемы импортозамещения катализаторов нефтепереработки и нефтехимии требуется создание производства широкой номенклатуры синтетических цеолитов мощностью до 800 т/год на основе научных разработок отечественных организаций.

* * *

Подводя итоги необходимо отметить следующее.

На основе научных разработок институтов РАН, вузов и исследовательских центров крупных компаний создана технологическая база импортонезависимости России в области массовых базовых катализаторов нефтепереработки.

В области катализаторов нефтехимии (прежде всего катализаторов полимеризации) научный задел институтов РАН и отдельных вузов (МГУ) позволяют обеспечить импортозамещение ряда катализаторов при создании промышленных мощностей.

Один из ключевых вопросов импортонезависимости – обеспечение российских производств катализаторов высокотехнологичными сырьевыми компонентами (прежде всего синтетическими цеолитами и особо чистым оксидом алюминия). Для решения этой задачи целесообразна интеграция научных организаций и производственных компаний в едином комплексном проекте.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую признательность коллегам из рабочей группы по импортозамещению катализаторов нефтепереработки и нефтехимии при Минэнерго России, а также сотрудникам ФИЦ “Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН”, которые содействовали сбору фактической информации по промышленным катализаторам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Доронин В.П., Сорокина Т.П., Потапенко О.В. и др.* Возможности современной технологии производства катализаторов крекинга на АО “Газпромнефть–ОНПЗ” // Катализ в промышленности. 2016. № 6. С. 71–76.
2. *Белый А.С., Смольков М.Д., Кирьянов Д.И. и др.* Катализаторы риформинга. Разработка и освоение технологии производства // Деловой журнал Neftegaz. RU. 2020. № 3 (99). С. 38–42.
3. *Пинаева Л.Г., Доронин В.П., Белый А.С. и др.* Современные катализаторы нефтепереработки: научно-технический уровень и обеспечение российскими катализаторами предприятий топливно-энергетического комплекса России // Мир нефтепродуктов. Вестник компаний. 2020. № 2. С. 6–16.
4. *Шакун А.Н., Фёдорова М.Л.* Российские катализаторы и технологии для производства высококачественных автомобильных бензинов // Форум “Инновационные технологии в области производства и использования горюче-смазочных материалов”. СПб., 2013. С. 60–68.
5. *Klimov O.V., Pashigreva A.V., Fedotov M.A. et al.* Co–Mo Catalysts for Ultra-Deep HDS of Diesel Fuels Prepared via Syntesis of Bimetallik Surfase Compounds // Journal of Molecular Catalysts A: Chemical. 2010. V. 322. № 1–2. P. 80–89.
6. *Пимерзин А.А., Никульшин П.А., Томина Н.Н.* Высокоактивные сульфидные катализаторы для гидрогенизационных процессов нефтепереработки // III Российский конгресс по катализу “Роскатализ”. Тезисы докладов конгресса. 2017. С. 244.
7. *Казаков М.О., Надеина К.А., Климов О.В. и др.* Разработка новых отечественных катализаторов глубокой переработки вакуумного газойля // Катализ в промышленности. 2016. № 6. С. 85–93.
8. *Салахов И.И., Батыршин А.З., Сергеев С.А. и др.* Полимеризация пропилена в жидком мономере в присутствии современных высокоэффективных титан-магниевых катализаторов // Катализ в промышленности. 2014. № 2. С. 27–31.
9. *Микенас Т.Б., Захаров В.А., Никитин В.Е. и др.* Нанесённые катализаторы циглерового типа для производства полиэтилена (ПЭ): влияние состава активного компонента, способов его формирования и модификаторов на активность катализаторов и молекулярную структуру ПЭ и сополимеров этилена с α-олефинами // Катализ в промышленности. 2011. № 2. С. 22–28.
10. Патент РФ 2289591. Способ получения полиэтилена низкого давления. Акланов В.А., Баулин А.А., Бобров Б.Н., Кудряшов В.Н., Поташкин А.Ф. // Опубл. 20.12.2006. Бюл. № 35.
11. *Нифантьев И.Э., Сметанников О.В., Тавторкин А.Н. и др.* Титаномагниевые нанокатализаторы полимеризации // Наногетерогенный катализ. 2016. № 1. С. 19–30.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 10, с. 950–960

ОБОЗРЕНИЕ

ГЕМАТОЭНЦЕФАЛИЧЕСКИЙ БАРЬЕР В НЕЙРОИММУННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ И РАЗВИТИИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

© 2022 г. А. С. Дятлова[a,*], Н. С. Новикова[a,**], Б. Г. Юшков[b,***], Е. А. Корнева[a,****], В. А. Черешнев[b,*****]

[a] Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург, Россия
[b] Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

*E-mail: anst.diatlova@gmail.com
**E-mail: novikiem@gmail.com
***E-mail: b.yushkov@iip.uran.ru
****E-mail: korneva_helen@mail.ru
*****E-mail: v.chereshnev@mail.ru

Поступила в редакцию 17.01.2022 г.
После доработки 20.03.2022 г.
Принята к публикации 01.07.2022 г.

Гематоэнцефалический барьер (ГЭБ) представляет собой своеобразный фильтр, обладающий высокой избирательностью по отношению к веществам различных типов. ГЭБ обеспечивает иммунный статус мозга, а также является важным регулятором нейроиммунных взаимодействий. В данном обзоре анализируются некоторые молекулярные и клеточные особенности ГЭБ, а также пять основных путей нейроиммунной коммуникации, опосредуемых ГЭБ. Обсуждаются функции ГЭБ в нейроиммунных взаимодействиях при различных заболеваниях: рассеянном склерозе, болезнях Альцгеймера и Паркинсона. Рассмотрены последние данные о нарушении функции ГЭБ при коронавирусной инфекции COVID-19, вызываемой вирусом SARS-CoV-2.

Ключевые слова: гемато-энцефалический барьер, нейроиммунные взаимодействия, нейродегенеративные заболевания, COVID-19.

DOI: 10.31857/S0869587322100048

Взаимодействие нервной и иммунной систем обеспечивает возможность адаптивного реагирования последней на поступление в организм чужеродных агентов – бактерий, вирусов, грибков и т.д. Изучение участия гематоэнцефалического барьера (ГЭБ) в этом процессе представляет особый интерес. ГЭБ обеспечивает поддержание гомеостаза центральной нервной системы (ЦНС) и выполняет защитную функцию [1]. Это своего рода фильтр, пропускающий в ЦНС кислород, ионы и другие жизненно важные молекулы, но ограничивающий прохождение многих других веществ. Высокая избирательность ГЭБ по отношению к веществам различных типов объясняется его гистологическим строением.

Говоря о гематоэнцефалическом барьере, обычно подразумевают его эндотелиальную составляющую, однако в литературе выделяют эпителиальные клетки сосудистых сплетений как образующие барьер, обеспечивающий сохранение постоянства состава спинномозговой жидкости. В 2012 г. сформулирована концепция глимфатической системы – единой очистительной системы мозга, включающей в себя некоторые компоненты ГЭБ [2]. В данном обзоре представлены данные, касающиеся сосудистой части ГЭБ, но не особенностей барьера спинномозговой жидкости и глимфатической системы.

ДЯТЛОВА Анастасия Сергеевна – младший научный сотрудник лаборатории иммунопатофизиологии отдела общей патологии и патологической физиологии ИЭМ. НОВИКОВА Наталия Сергеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунопатофизиологии отдела общей патологии и патологической физиологии ИЭМ. ЮШКОВ Борис Германович – член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией ИИФ УрО РАН. КОРНЕВА Елена Андреевна – академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории иммунопатофизиологии отдела общей патологии и патологической физиологии ИЭМ. ЧЕРЕШНЕВ Валерий Александрович – академик РАН, научный руководитель ИИФ УрО РАН.

Эндотелиальные капилляры ГЭБ представляют собой микроваскулярную сеть, основу которой, как и в прочих сосудах организма, составляют эндотелиальные клетки. Капилляры ЦНС – непрерывные нефенестрированные [3], то есть их базальная мембрана непрерывна, без межклеточных щелей и пор (фенестраций) в плазматической мембране. Таким образом, эндотелиальная выстилка капилляров мозга – сплошная.

Помимо базальной мембраны и эндотелиальных клеток, важным компонентом ГЭБ являются глиальные и муральные клетки, а также нейроны, иммунные клетки ЦНС и периферической крови, суммарно формирующие нейрососудистую единицу. Функции ГЭБ в основном обеспечиваются эндотелиальными клетками, взаимодействующими с другими компонентами нейрососудистой единицы [4].

КОМПОНЕНТЫ ГЭБ И ЕГО ФУНКЦИИ

Молекулярный и клеточный состав ГЭБ определяет его функции. ГЭБ состоит не только из эндотелиальных клеток капилляров ЦНС, базальной мембраны капилляров, но и нескольких других типов клеток – муральных, включающих в себя гладкомышечные клетки и клетки-перициты, а также нейронов, астроцитов, периваскулярных макрофагов и микроглии, в некоторых случаях иммунных клеток периферической крови.

Эндотелиальные клетки капилляров ЦНС обладают уникальными свойствами, отличающими их от эндотелиальных клеток капилляров других органов. Отсутствие пор в плазматической мембране эндотелиоцитов обусловливает низкую скорость трансцитоза. Эти клетки соединены друг с другом непрерывными комплексами белков – плотными контактами, что также резко снижает вероятность параклеточного транспорта и позволяет регулировать движение ионов, молекул и клеток между кровью и мозгом. Молекулярную основу плотных контактов образует ряд белков, среди которых кадгерины, катенины, окклюдин, клаудины и каркасные белки ZO-1, ZO-2 и ZO-3 [5]. Клаудины необходимы для формирования параклеточного барьера, а каркасные белки ZO-1, -2 и -3 стабилизируют структуру и связывают плотные контакты с цитоскелетом. Кроме того, плотные контакты связаны с базальными адгерентными контактами, соединяющими все эндотелиальные клетки, что усиливает прочность конструкции. Плотные контакты являются своеобразными фильтрами с пропускной способностью менее 4 нм: они, как физический барьер, позволяют свободно проникать в мозг и из него только небольшим газообразным и липофильным молекулам, тогда как перенос больших молекул осуществляется посредством специальных транспортных систем [6].

К люминальной поверхности эндотелиальной клетки поляризованы efflux-транспортёры, или транспортёры оттока. Они представляют наибольший интерес для изучения, так как препятствуют проникновению фармакологических препаратов в ЦНС. Efflux-транспортёры выводят из мозга потенциально вредные соединения, такие как глутамат, даже против градиента концентрации, что требует АТФ в качестве источника энергии. К ним относят суперсемейство ABC-транспортёров – белков с общей доменной организацией (наличие трансмембранных и АТФ-связывающих доменов, которые также называют ABC-доменами). Наиболее изученным представителем этого суперсемейства в ГЭБ является Р-гликопротеин (Pgp), обладающий широкой субстратной специфичностью и осуществляющий активный транспорт разнообразных веществ. Считается, что основная физиологическая роль Pgp – выведение ксенобиотиков. В эндотелиоцитах ГЭБ и астроцитах представлено большее количество Pgp, чем в других клетках организма [7].

Второй тип транспортёров – высокоспецифичные переносчики питательных веществ, которые облегчают транспортировку определённых молекул через ГЭБ в ЦНС (influx-транспортёры, или транспортёры притока). Транспортёры притока облегчают доставку лекарств в ЦНС [8]. Большое количество митохондрий в эндотелиоцитах капилляров ЦНС, вероятно, имеет решающее значение для регуляции активного транспорта.

Как правило, большие гидрофильные молекулы не могут переноситься через ГЭБ, за исключением случаев специфического рецепторного или адсорбционно-опосредованного трансцитоза. Именно таким образом во внеклеточное пространство мозга переносятся трансферрин, липопротеины низкой плотности, инсулин и другие пептидные гормоны [9].

Сочетание вышеперечисленных свойств эндотелиальных клеток позволяет ГЭБ жёстко регулировать транспорт веществ из кровеносного русла в ЦНС и в обратном направлении, поддерживая гомеостаз в ткани мозга.

Муральные клетки – гладкомышечные клетки, окружающие крупные сосуды, и клетки-перициты, покрывающие эндотелиальные стенки более мелких сосудов. Перициты располагаются на аблюминальной поверхности и погружены в базальную мембрану эндотелиальных клеток. Особенностью перицитов является отсутствие специфических маркеров, что затрудняет их идентификацию среди других типов клеток. Среди молекул, которые теоретически могут быть маркерами перицитов, выделяют PDGFRβ, NG2, CD13 и CD146, но NG2 и CD13 также экспрессируются гладкомышечными клетками. Перициты

содержат белки-констрикторы, что обусловливает возможность их сокращения и позволяет контролировать диаметр капилляра [10]. Перициты не прилегают к эндотелиальным клеткам, но формируют с ними адгезионные контакты по типу "вилка–розетка", а также другие типы контактов: адгезионные бляшки, плотные и щелевые контакты [11]. К основным отличиям перицитов ЦНС от перицитов периферии относят их происхождение (нервный гребень, а не мезодерма), а также соотношение количества эндотелиоцитов и перицитов: в ЦНС этот показатель достигает 1 : 1, а на периферии – 100 : 1 [12]. Функции перицитов многообразны, в их числе регуляция ангиогенеза, синтез компонентов внеклеточного матрикса (ВКМ), участие в ранозаживлении, а также регуляция степени инфильтрации ЦНС иммунными клетками [13].

Базальная мембрана (БМ), выстилающая капилляры, подразделяется на два типа: внутреннюю васкулярную и внешнюю паренхиматозную. Васкулярная БМ представляет собой ВКМ, синтезируемый эндотелиоцитами и перицитами, а компоненты паренхиматозной БМ синтезируются астроцитами [14]. Молекулярный состав сосудистой и паренхиматозной базальных мембран несколько различается, хотя преимущественно они состоят из коллагена IV типа, ламинина, нидогена, протеогликанов и гликопротеинов. Основная функция БМ – барьерная, и разрушающее действие на неё матриксных металлопротеаз (MMPs) является одним из звеньев патогенеза различных неврологических расстройств [15].

Астроциты – клетки макроглии, отростки которых подходят к кровеносным сосудам и формируют дистрогликан-дистрофиновый комплекс, необходимый для правильного встраивания в мембрану аквапорина-4. Астроциты регулируют поступление воды в ЦНС, а также обеспечивают клеточную взаимосвязь между нейронными цепями и кровеносными сосудами. Эти нейрососудистые соединения позволяют астроцитам регулировать кровоток в ответ на сигналы, приходящие от нервных клеток, например, регулировать сокращение и расслабление гладкомышечных клеток и перицитов, окружающих кровеносные сосуды. Предполагается, что в процессе эмбрионального развития астроциты не являются необходимым условием для формирования ГЭБ, однако нормальное развитие и поддержание функций ГЭБ невозможны в отсутствие астроцитов [16].

Клетки иммунной системы мозга подразделяются на два главных типа – микроглиальные клетки и периваскулярные макрофаги. Микроглиальные клетки мигрируют в ЦНС ещё в процессе эмбриогенеза, они образуются из гематопоэтических предшественников желточного мешка, а периваскулярные макрофаги имеют моноцитарное происхождение и проходят через ГЭБ, оседая в периваскулярном пространстве Вирхова–Робина [17]. Периваскулярные макрофаги обеспечивают первую линию защиты врождённого иммунитета. Функции микроглиальных клеток не ограничены участием в иммунной защите: они способствуют ранозаживлению, регулируют нейрональное развитие в эмбриогенезе, выполняют роль антиген-презентирующих клеток в адаптивном иммунитете [18].

Другие виды клеток – нейтрофилы, макрофаги, Т-клетки – при различных формах патологии участвуют в регуляции функции ГЭБ. Активные формы кислорода, синтезируемые этими клетками, увеличивают проницаемость сосудов, что может лежать в основе нарушения ГЭБ при различных неврологических заболеваниях [19].

Таким образом, нейроваскулярную единицу ГЭБ составляют эндотелиоциты капилляров головного мозга, перициты, астроциты, микроглиальные клетки, а также нейроны, ВКМ и гликокаликс (рис. 1).

В ГЭБ есть особые участки, отграничивающие так называемые циркумвентрикулярные органы, прилегающие к стенкам III и IV желудочков мозга. К ним относят субфорникальный орган, заднее поле (*area postrema*) в продолговатом мозге, эпифиз и медиальную эминенцию нейрогипофиза. Гематоэнцефалический барьер здесь наиболее проницаем, что обусловлено другим типом капилляров – непрерывных фенестрированных, плотной сетью пронизывающих циркумвентрикулярные органы. Из-за повышенного кровоснабжения и проницаемости ГЭБ, циркумвентрикулярные органы оказываются важным компонентом системы нейроэндокринной регуляции, контролируя уровень цитокинов и температуру тела, водно-солевой баланс, артериальное давление, регулируя деятельность ЖКТ [20].

УЧАСТИЕ ГЭБ В НЕЙРОИММУННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

ГЭБ и клетки нейрососудистой единицы служат интерфейсом для взаимосвязи между ЦНС и периферией и являются важными регуляторами нейроиммунной коммуникации. Выделяют пять нейроиммунных осей, опосредуемых ГЭБ: модуляция проницаемости ГЭБ; модуляция транспортёров ГЭБ; захват и транспорт иммуноактивных веществ клетками ГЭБ; перенос иммунных клеток через ГЭБ в ткань мозга; секреция иммуноактивных веществ клетками ГЭБ и нейрососудистой единицы [21]. Эти оси могут функционировать независимо друг от друга, но чаще активируются совместно, обеспечивая различные варианты передачи сигналов от иммунной системы в мозг.

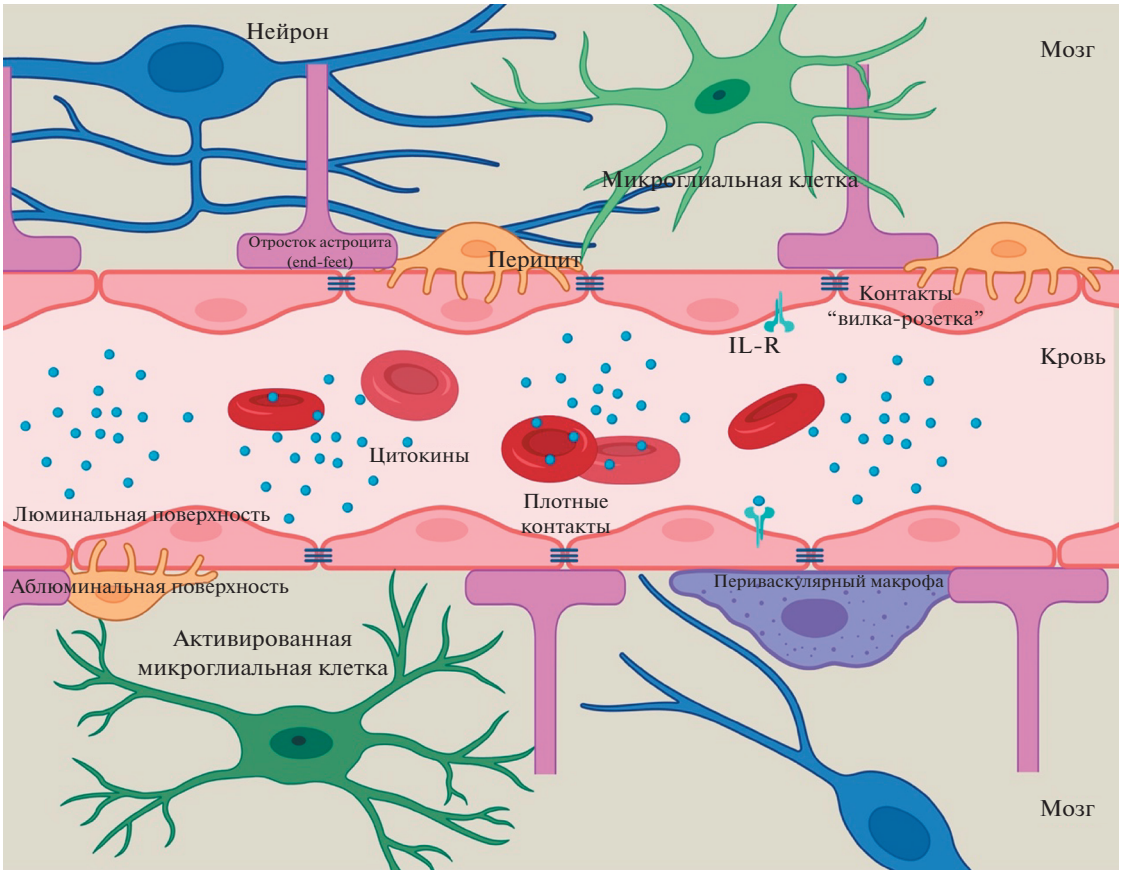


Рис. 1. Схематическое изображение нейроваскулярной единицы

Нарушения проницаемости ГЭБ могут быть вызваны рядом факторов, включая активность цитокинов и хемокинов, бактерий и их компонентов, белков комплемента, белков острой фазы и т.д.

Строго говоря, термин “разрушение” обычно относят к патологическим процессам, однако даже в физиологических условиях защитная функция ГЭБ может незначительно варьироваться. Степень его проницаемости зависит от локализации: небольшие артериолы головного мозга имеют множество кавеолярных пузырьков, которые практически отсутствуют в капиллярах головного мозга. Показано, что эти кавеолы в артериолах опосредуют нервно-сосудистое соединение и физиологические функции при большей проницаемости ГЭБ [22].

Нарушения проницаемости могут быть следствием повреждающих и неповреждающих изменений, отражающих соответственно наличие или отсутствие физических повреждений. Первые подразумевают изменения на гистологическом уровне: повреждение эндотелиальных клеток, плотных контактов, и т.д. Неповреждающие изменения затрагивают молекулярный уровень реализации функций ГЭБ.

Повышение проницаемости ГЭБ может происходить посредством усиления пара- и трансцеллюлярного транспорта из-за снижения функций белков плотных и межклеточных контактов и усиления везикулярных механизмов. Разрушение плотных контактов между эндотелиоцитами ГЭБ происходит, когда синтез белков плотных контактов снижен, если они неправильно локализованы или посттрансляционно модифицированы [23]. Показано, что медиаторы воспаления модулируют синтез и активность белков плотных контактов. Например, инъекция IL-1β в паренхиму мозга приводит к потере экспрессии окклюдина и ZO-1 в эндотелиальных клетках. В эксперименте это приводило к усилению параклеточного транспорта фосфотирозина, используемого в качестве маркера, и рекрутированию нейтрофилов в сосуды, где плотные контакты отсутствовали. TGF-β1 подавляет экспрессию клаудина-5 [1]. К медиаторам воспаления, повышающим параклеточный транспорт через ГЭБ, относят брадикинин, гистамин, серотонин, арахидоновую кислоту и АТФ [24].

В качестве одного из механизмов, лежащих в основе модуляции белков плотных контактов медиаторами воспаления, предполагают действие

кальпаина – внутриклеточной кальций-зависимой протеазы, регулирующей адгезию клеток. Показано, что ингибирование кальпаина предотвращает индуцированную IL-1β потерю белка ZO-1 в плотных контактах эндотелиоцитов и изменения в сборке цитоскелета F-актина [25].

К протективным факторам, способствующим поддержанию синтеза белков плотных контактов эндотелиоцитов, относят IL-25, нетрин-1, аннексин A1 (синтезируются эндотелиоцитами) и белки семейства SHH (синтезируются астроцитами). IL-1β снижает экспрессию SHH [26].

Ферментативная деградация белков плотных контактов также может происходить при развитии нейровоспаления. Протеазы нейтрофилов, такие как MMP9 и эластаза, способствуют разрушению ВКМ и эндотелия при ишемии и реперфузии. Интрацеребральная инъекция эластазы нейтрофилов вызывает отёк эндотелия и очаговый некроз кровеносных сосудов у крыс [27]. Ингибирование или нокаут матриксных металлопротеаз предотвращает деградацию плотных контактов и нарушение ГЭБ в острой фазе после ишемии и реперфузии мозга [28].

Другой возможный механизм нарушения проницаемости ГЭБ – физическое разрушение эндотелиальных клеток, в результате чего в них образуются везикулярные каналы, сквозь которые проходят крупные молекулы. Данный механизм продемонстрирован при отёке головного мозга, черепно-мозговой травме, сепсисе. Нарушения синтеза белка пузырьков плазмалеммы PLVAP в эндотелиоцитах ассоциированы с болезнью Альцгеймера и рассеянным склерозом [29]. Таким образом, патологическая фенестрация ГЭБ может быть важным фактором нарушения его проницаемости.

Модуляция функций ГЭБ иммунноактивными веществами. Как упоминалось выше, эндотелиоциты ГЭБ на своей поверхности содержат большое количество транспортёрных систем, среди которых есть как системы активного транспорта, так и работающие по принципу облегчённой диффузии. Функции некоторых из них изменяются при нейровоспалении и модулируются сигнальными молекулами, например, белком Pgp. Его лиганды включают в себя ингибиторы протеаз, опиаты, противоэпилептические средства, циклоспорины, глюкокортикоиды, альдостерон, дексаметазон и блокаторы кальциевых каналов. Активность Pgp объясняет, почему определённые вещества не накапливаются в головном мозге в достаточных количествах, чтобы оказывать влияние на ЦНС. Функция изменяется при воспалении, причём основным эффектом *in vivo* является подавление его транспортной активности. Так, индукция провоспалительными цитокинами (TNFα, IL-1β, IL-6, IL-2, IFNγ) ведёт к снижению экспрессии мРНК Pgp в эндотелиоцитах ЦНС, его синтеза и активности [30].

Воспаление также влияет на influx-транспортёры. Так, белок интерлейкин-6 (IL-6), секретируемый астроцитами, стимулирует активность котранспортёра Na-K-Cl, а его чрезмерная активация приводит к развитию отёка мозга [31].

Специальный интерес представляют эффекты, оказываемые на функции ГЭБ липополисахаридом (ЛПС). Известно, что на эндотелиоцитах ГЭБ экспрессируется рецептор TLR4, напрямую опосредующий эффекты ЛПС. В первичной культуре эндотелиоцитов ЛПС вызывает нарушение гематоэнцефалического барьера, связанное с дисфункцией белков плотных контактов, а в высоких дозах индуцирует их апоптоз [32]. Эффекты ЛПС на разрушение ГЭБ смягчаются ингибитором циклооксигеназы индометацином [33], а значит, циклооксигеназы участвуют в механизмах ЛПС-индуцированного разрушения ГЭБ.

Получены противоречивые данные о влиянии муральных и глиальных клеток нейроваскулярной единицы на реакцию эндотелиоцитов на ЛПС. Культивирование эндотелиоцитов головного мозга крупного рогатого скота совместно с астроцитами крыс оказывало протективный эффект на ЛПС-индуцированное разрушение эндотелиоцитов. Такого эффекта не наблюдалось при совместном культивировании эндотелиоцитов мышей с астроцитами и перицитами [34].

Реагируют ли ГЭБ и эндотелиоциты на базовые уровни ЛПС в кровотоке? Известно, что физиологическая концентрация ЛПС в крови (выявленная при помощи ЛАЛ-теста) составляет до 1 EU/мл, и ЛПС может играть роль в физиологической регуляции функций ГЭБ. По данным авторов работы [35], которые провели анализ результатов 74 исследований, посвящённых изучению эффектов ЛПС на ГЭБ, в 60% случаев сообщалось о его повреждающем действии. Эффекты ЛПС на ГЭБ зависят от дозы липополисахарида, кратности его введения, вида экспериментального животного, его пола, возраста и т.д. Авторы построили модель логистической регрессии, в которой учли эти экспериментальные факторы и установили, что значимым предиктором среди них является только вид экспериментального животного. Так, повреждающие изменения ГЭБ у мышей в 4 раза более вероятны, чем у крыс. Доза ЛПС, напротив, не была значимым фактором. В большинстве исследований использовалась септическая доза ЛПС, что затрудняет обобщение полученных результатов для менее тяжёлых инфекций, распространённых у людей.

Транспорт иммуноактивных веществ через ГЭБ. Основная функция ГЭБ – предотвращение проникновения из крови в мозг веществ, которые могут иметь нейротоксические эффекты. К таким

молекулам относят цитокины и хемокины, однако многие из них регулируемо транспортируются через ГЭБ в направлении от крови к мозгу. Различия между поступлением в ЦНС нейроактивных веществ через нерегулируемую "утечку" и посредством регулируемого транспорта в данном случае – ключевой вопрос: в первом случае происходит дисфункция ГЭБ, что может привести к нейротоксичности; во втором – ЦНС, по-видимому, регулирует транспортные свойства ГЭБ в соответствии со своими потребностями.

О механизмах транспорта цитокинов через ГЭБ и о факторах, влияющих на этот транспорт, известно немного. Например, цитокин-индуцированный хемоаттрактант нейтрофилов CINC1 проникает в мозг по ненасыщаемому механизму, предположительно по механизму трансклеточной диффузии. Хемокин CCL2 транспортируется по кавеоло-зависимому пути. Белком-переносчиком TNF в ГЭБ, вероятно, является его рецептор, так как у мышей с нокаутом этого рецептора не происходит транспорта TNF через ГЭБ, но нарушения транспорта для эпидермального фактора роста, IL-1 и их рецепторов не отмечается [36]. Большинство исследований транспорта цитокинов проведено на мышах, но продемонстрировано, что транспорт IL-1α и IL-6 через ГЭБ осуществляется в эмбриогенезе у крыс, а IL-1β и IL-6 – у эмбрионов овцы [37], что свидетельствует об экспрессии переносчиков цитокинов в ГЭБ на ранних стадиях развития и у разных видов животных.

TNF-α, транспортирующийся через ГЭБ при системном воспалении, стимулирует клетки микроглии, способствуя развитию нейровоспаления и повышению секреции TNF, что приводит к апоптозу дофаминергических клеток в чёрной субстанции (*substantia nigra*). Такая модель двойного действия цитокинов периферической крови и клеток ЦНС может в целом применяться к цитокинам, которые проходят через ГЭБ при воспалении [38].

Интересно, что скорость транспорта цитокинов неоднородна по всему мозгу. Так, клетки циркумвентрикулярных органов транспортируют примерно в 7 раз больше цитокинов, чем соседние области [39]. Такой быстрый обмен информацией между иммунной и нервной системами обеспечивает возможность реализации регуляторной функции этих органов.

Транспорт клеток иммунной системы через ГЭБ. ЦНС считается иммунопривилегированным органом, поэтому в физиологических условиях транспорт клеток иммунной системы через ГЭБ минимален и строго регулируется. В норме мононуклеарные клетки попадают в мозг во время эмбрионального развития и становятся резидентными иммунокомпетентными клетками – микроглией. Однако при патологических процессах – инфекции, травме – лейкоциты периферической крови под действитем цитокиновых сигналов рекрутируются в мозг, а ГЭБ имеет особые механизмы надзора и рекрутирования лейкоцитов в ткань мозга.

Поступление лейкоцитов в спинномозговую жидкость и паренхиму головного мозга через ГЭБ зависит от многоступенчатого процесса экстравазации, который варьируется в зависимости от базальной экспрессии молекул адгезии. Типичный процесс экстравазации лейкоцитов в ткани включает начальный захват циркулирующих лейкоцитов, их "якорение", "катание" по эндотелию и последующий диапедез. Прикрепление лейкоцитов к эндотелиальным клеткам обеспечивается повышенной экспрессией молекул адгезии VCAM, ICAM, интегринов. Начальные этапы захвата лейкоцитов опосредуются взаимодействиями селектинов на поверхности эндотелиальных клеток с гликопротеинами на поверхности лейкоцитов [40]. Периферические и менингеальные эндотелиальные клетки, а также эндотелиальные клетки сосудистого сплетения экспрессируют селектины, которые хранятся в тельцах Вибеля–Паладе. В ответ на медиаторы воспаления тельца Вибеля–Паладе мигрируют к люминальной поверхности эндотелиоцитов, обеспечивая быструю экспрессию селектинов на люминальной мембране. Эндотелиальные клетки паренхимы головного мозга не хранят селектины в тельцах Вибеля–Паладе и нуждаются в синтезе селектинов *de novo* для обеспечения захвата и миграции лейкоцитов. Диапедез лейкоцитов может осуществляться как параклеточным, так и трансцеллюлярным транспортом, затрагивая в основном белки плотных контактов и цитоскелета эндотелиоцитов. Активированная микроглия секретирует воспалительные факторы, усиливает экспрессию молекул адгезии в эндотелиоцитах и участвует в рекрутировании лейкоцитов ЦНС, повышая интенсивность воспалительного процесса [41].

Один из факторов, стимулирующих проникновение лейкоцитов в ЦНС, – провоспалительный цитокин IL-1β. При этом механизм проникновения в данном случае, вероятно, рецепторный: эндотелиоциты экспрессируют рецептор к IL-1 типа 1 (IL-1R1) в ЦНС. Нокдаун IL-1R1 в эндотелии отменяет приток лейкоцитов в ЦНС, индуцированный интрацереброventрикулярно вводимым IL-1β. Интересно, что влияние IL-1β на миграцию лейкоцитов может быть ингибировано при системном воспалении. Системное введение ЛПС в течение 2 часов после интрацереброventрикулярной инъекции IL-1β ингибирует рекрутирование лейкоцитов в ЦНС, предотвращая активацию селектинов на эндотелиоцитах [42].

Сложилось мнение, что перенос лейкоцитов в ЦНС при патологии осуществляется в основном в сосудистых сплетениях. При повреждении спинного мозга макрофаги рекрутируются к месту повреждения через сосудистое сплетение путём повышения экспрессии молекул адгезии на эпителиальных клетках сплетения. На модели окклюзии средней мозговой артерии показано, что около двух третей Т-клеток, которые инфильтрируют периинфарктную зону, рекрутируются из стромы сосудистого сплетения. В том же исследовании отмечено, что апикальная область стромы сосудистого сплетения физически связана с сосудами паренхимы головного мозга. Предполагается, что быстрая миграция Т-клеток из стромы сосудистого сплетения в мозолистое тело и периинфарктную зону связана с наличием прямого пути доставки Т-клеток в ткани ЦНС, в обход спинномозговой жидкости и мозговых барьеров [43].

В ряде исследований, посвящённых изучению механизмов возникновения и развития экспериментального аутоиммунного энцефаломиелита (ЭАЭ) у мышей продемонстрировано существование “нейронных шлюзов” (*neural gateways*), включающих симпатическую норадренергическую иннервацию местных кровеносных сосудов и регуляцию проникновения аутореактивных $CD4^+$ Т-клеток в ЦНС. Эти исследования показали, что высвобождаемый симпатическими окончаниями в ответ на различные стимулы норадреналин усиливает NFkB-опосредованную транскрипцию провоспалительных генов в эндотелиальных клетках определённых сосудов, тем самым обеспечивая “ворота” для входа иммунных клеток в ЦНС. Например, так называемый рефлекс “gravity–gateway” способствует проникновению аутореактивных $CD4^+$-клеток в дорсальные кровеносные сосуды, соответствующие пятому поясничному (L5) позвонку. Этот рефлекс является соматосимпатическим, опосредованным проприоцептивными сигналами, вызванными сокращениями мышц задних конечностей. Норадреналин, высвобождаемый симпатическими окончаниями на уровне L5, вызывает расширение кровеносных сосудов и усиливает сигналинг IL-6 и экспрессию хемокина CCL20, способствуя доступу активированных $CD4^+$-клеток в ЦНС. Рефлекс “pain–gateway” – болевой рефлекс, вызываемый стимуляцией ноцицепторов задних конечностей, запускает высвобождение норадреналина и увеличивает экспрессию CX3-CL1 и активацию резидентных моноцитов в вентральных сосудах, иннервируемых симпатическими нервами на уровне L5, что приводит к рецидиву экспериментального аллергического энцефаломиелита (ЭАЭ) [44].

Эти исследования также подтвердили наличие stress-gateway-рефлекса, вовлекающего паравентрикулярное ядро гипоталамуса и симпатические нервные волокна, иннервирующие сосуды пограничных областей третьего желудочка, таламуса и зубчатой извилины. Предположительно, этот рефлекс может вызывать опосредованное CCL5 накопление аутореактивнопатогенных $CD4^+$ Т-клеток в этих структурах и косвенно запускать реакции со стороны волокон блуждающего нерва, способствующие повреждению кишечника у мышей с ЭАЭ [45].

Используя прижизненную двухфотонную микроскопию на модели ЭАЭ, научная группа Х. Векерле проследила процесс инвазии специфических к основному белку миелина Т-клеток (TMBP-клеток) в ЦНС. Экспериментальным животным вводили 5×10^3 TMBP-клеток для индукции ЭАЭ. Показано, что небольшое количество единичных TMBP-клеток проникает в лептоменингеальные сосуды в первый день после введения клеток. В последующие часы в сосуды оболочек проникает больше TMBP-клеток; они активно передвигаются внутри кровеносных сосудов, часто против кровотока. Это подобное ползанию движение преобладает в сосудах оболочек мозга, в то время как классическое для Т-клеток “катание” наблюдается в сосудах периферических органов. После “ползания” внутри сосудов оболочек Т-клетки проникают через стенку сосудов и продолжают мигрировать по их аблюминальной поверхности. Значительная часть Т-клеток устанавливает контакты с местными антигенпрезентирующими клетками, вследствие чего происходит стимуляция эффекторных Т-клеток к выработке провоспалительных медиаторов, последующей тканевой инвазии и образованию воспалительных инфильтратов [46]. Эти наблюдения подробно описывают начальные стадии иммунологических реакций в ЦНС.

Секреция иммуноактивных веществ клетками ГЭБ. Клетки, которые образуют ГЭБ и сосудистые сплетения, постоянно взаимодействуют с другими клетками ЦНС. Концепция перекрёстных взаимодействий воплощена в термине нейроваскулярной единицы. Перекрёстные взаимодействия служат для информирования клеток ГЭБ о потребностях ЦНС и адаптации ею функций в конкретной ситуации. Многие из веществ, обеспечивающих это перекрёстное взаимодействие, являются нейроиммунными медиаторами, включая цитокины, простагландины, оксид азота и т.д. Таким образом, нейроиммунные медиаторы непосредственно участвуют в перекрёстных взаимодействиях нейроваскулярной единицы и формировании функциональной активности ГЭБ.

Эндотелиоциты ГЭБ секретируют различные цитокины. Конститутивная секреция цитокинов может модулироваться иммунными стимуляторами, такими как ЛПС, вирусы, вирусные белки,

бактерии. Эндотелиоциты могут реагировать на эти сигналы, поступающие из ЦНС или крови. Совместное культивирование эндотелиоцитов с другими компонентами нейроваскулярной единицы, такими как астроциты и перициты, модулирует интенсивность секреции цитокинов. Секреция цитокинов является биполярной: они могут секретироваться с люминальной поверхности эндотелиоцита в кровь или с аблюминальной поверхности эндотелиоцита в ЦНС [47].

Возможность комбинации нескольких нейроиммунных осей означает, что эндотелиоцит может получать сигнал (например, с люминальной поверхности) и высвобождать цитокин с другой стороны (с аблюминальной стороны к мозгу). В этом случае информация с одной стороны ГЭБ передаётся на другую. Например, авторы работы [48] выяснили механизм, обеспечивающий иммунную регуляцию транспорта железа через ГЭБ с помощью астроцитарного церулоплазмина. ЛПС, действующий на люминальную поверхность эндотелиоцитов, вызывает секрецию IL-6 и IL-1β с их аблюминальной поверхности, которые, в свою очередь, стимулируют астроцитарную секрецию церулоплазмина, действующего на аблюминальную поверхность эндотелиоцитов, что облегчает перенос железа через ГЭБ [48].

Таким образом, ГЭБ представляет собой многокомпонентную систему, в которой каждое молекулярное и клеточное звено участвует в формировании защитного барьера для поддержания гомеостаза ЦНС. Нарушения в работе любого из этих звеньев представляет собой угрозу для проницаемости барьера, что в результате может привести к развитию патологического процесса. Дисфункции ГЭБ констатировали при многих заболеваниях: рассеянном склерозе, гипоксическом и ишемическом инсульте, болезнях Паркинсона и Альцгеймера, эпилепсии, опухолях головного мозга. Наблюдаемая дисфункция барьера может варьировать от лёгких и временных изменений его проницаемости до хронического разрушения барьера, связанного с перестройкой функциональной активности транспортёров и деградацией базальной мембраны. В большинстве случаев невозможно определить, является ли нарушение барьера причиной возникновения заболевания или результатом его прогрессирования. Тем не менее нарушение барьера часто способствует развитию патологии и её усилению.

При болезни Альцгеймера наблюдается дисфункция ГЭБ: существует гипотеза о двухстадийных сосудистых нарушениях, согласно которой сосудистая дисфункция играет ведущую роль на начальных этапах развития заболевания, приводя к ишемии-гипоксии и повреждению эндотелиоцитов на первой стадии. Во время второй стадии повреждение эндотелиоцитов и ГЭБ ведёт к отложению нейротоксических веществ в ЦНС, окислительному стрессу и нейровоспалению. Нейровоспаление и окислительный стресс усиливают активность β- и γ-секретаз, что в свою очередь способствуют образованию и постепенному накоплению амилоида Aβ. Кроме того, известна корреляция между дисфункцией ГЭБ и накоплением нейрофибриллярных клубков из гиперфосфорилированного τ-белка. Следовательно, ГЭБ может быть новой терапевтической мишенью для лечения болезни Альцгеймера [49].

При болезни Паркинсона также наблюдается повышенная проницаемость ГЭБ. Продемонстрировано, что избыточное накопление альфа-синуклеина способствует подавлению экспрессии белков плотных контактов ZO-1 и окклюдина. При этом у пациентов с болезнью Паркинсона выявлено снижение экспрессии и функциональной активности транспортёров ГЭБ, таких как GLUT-1 и Pgp. Дисфункция транспортёров при болезни Паркинсона вызывает снижение клиренса нейротоксических веществ, что способствует прогрессированию заболевания [50].

В спинномозговой жидкости пациентов с болезнью Паркинсона повышено количество факторов ангиогенеза [51]. Аберрантный ангиогенез приводит к образованию незрелой сосудистой сети с отсутствием плотных контактов, что имеет своим следствием проникновение в ЦНС нейротоксических веществ и потерю дофаминергических нейронов. Таким образом, повреждение ГЭБ ускоряет развитие нейродегенеративных заболеваний.

Нарушение ГЭБ и трансэндотелиальная миграция активированных лейкоцитов – одни из самых ранних цереброваскулярных аномалий, наблюдаемых в мозге пациентов с рассеянным склерозом. Показано, что у людей с наследственной предрасположенностью вирусные инфекции и токсины окружающей среды снижают иммунную толерантность и стимулируют высвобождение провоспалительных факторов, таких как IL-6 и NF-kB. Последние способствуют разрушению плотных контактов эндотелиоцитов, нарушают целостность ГЭБ и стимулируют трансмиграцию лейкоцитов. Экспрессия транспортёра Pgp также увеличивается и усиливает миграцию $CD4^+$ и $CD8^+$ Т-клеток, что усиливает нейровоспаление [52]. В условиях воспаления повышается и экспрессия селектинов эндотелиоцитов, что способствует адгезии лейкоцитов. Цитокины и хемокины активируют рецепторы адгезии эндотелия и усиливают последующую лейкоцитарную инфильтрацию. $CD4^+$ Т-клетки идентифицируют белки миелиновой оболочки и активируют высвобождение провоспалительных факторов (включая IFN-γ, TNF-α, оксид азота и свободные радикалы), что приводит к демиелинизации.

Нейтрофилы, моноциты и микроглия инфильтрируют паренхиму мозга и высвобождают внеклеточный глутамат, вызывая эксайтотоксичность и ускоряя дисфункцию ГЭБ, а это усиливает прогрессирование заболевания [53].

Исследования ГЭБ при заболевании COVID-19, вызываемом вирусом SARS-CoV-2, находятся в начальной стадии. Представляется, что вирус поражает сосудистую сеть многих систем и органов, в том числе головного мозга. Последствия COVID-19 включают в себя неврологические симптомы: головную боль, тошноту, головокружение, образование микротромбов и в редких случаях энцефалит. Изучение взаимодействия SARS-CoV-2 с клетками, формирующими ГЭБ, представляется весьма актуальным для понимания механизмов возникновения таких последствий. С использованием постмортальных материалов головного мозга больных COVID-19 показано, что белок ACE2, известный как мишень связывания спайкового белка SARS-CoV-2, повсеместно экспрессируется в сосудах различных калибров лобной коры. При этом экспрессия ACE2 повышается у пациентов с деменцией и гипертонией. В клеточной культуре первичных эндотелиальных клеток головного мозга человека (hBMVEC) также обнаруживается экспрессия ACE2. В условиях моделирования ГЭБ *in vitro* продемонстрировано, что спайковый белок S1 способствует потере целостности барьера, вызывая провоспалительную реакцию на эндотелиальных клетках головного мозга, что может способствовать изменению состояния функции ГЭБ [54].

Л. Пеллегрини с соавторами обнаружили экспрессию рецептора ACE2 в зрелых клетках хороидного сплетения, но не в нейронах или других типах клеток. Они доказали тропность SARS-CoV-2 к эпителиальным клеткам хороидного сплетения и обнаружили, что вирус практически не заражает нейроны или глию. Утверждается, что при повреждении эпителия SARS-CoV-2 происходит нарушение защитной функции ГЭБ, что может приводить к нейровоспалению [55]. Показано также, что радиоактивно меченый спайковый белок S1 преодолевает ГЭБ у мышей как при внутривенном, так и при интраназальном введении. Дальнейшие исследования подтвердили, что S1 проникает через ГЭБ с участием фермента ACE2 посредством адсорбционного рецептор-опосредованного трансцитоза [56]. Комплекс данных демонстрирует подверженность ГЭБ воздействию SARS-CoV-2, что необходимо для понимания механизмов как неврологических, так и психиатрических проявлений этой вирусной инфекции.

* * *

Таким образом, очевидно, что нарушения функций гематоэнцефалического барьера играют существенную роль в механизмах развития нейровоспаления и нейродегенерации. Сочетание барьерной функции со способностью реагировать на иммуноактивные вещества и секретировать их позволяет ГЭБ осуществлять взаимодействие нервной и иммунной систем, транслируя сигналы в двух направлениях. Эти взаимодействия не постоянны и модулируются микроокружением ГЭБ. Такая модуляция требует перекрёстных взаимодействий компонентов барьера и нейроваскулярной единицы. ГЭБ представляет собой динамическую регуляторную систему, которая участвует как в превращении ЦНС в иммунопривилегированный орган, так и в обеспечении двунаправленной связи между иммунной системой и мозгом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bolton S.J., Anthony D.C., Perry V.H.* Loss of the tight junction proteins occludin and zonula occludens-1 from cerebral vascular endothelium during neutrophil-induced blood-brain barrier breakdown in vivo // Neuroscience. 1998. № 4 (86). P. 1245–1257.
2. *Кондратьев А.Н., Ценципер Л.М.* Глимфатическая система мозга: строение и практическая значимость // Анестезиология и реаниматология. 2019. № 6. С. 72–80.
3. *Muoio V., Persson P.B., Sendeski M.M.* The neurovascular unit – concept review // Acta Physiologica (Oxford, England). 2014. № 4 (210). P. 790–798.
4. *Tietz S., Engelhardt B.* Brain barriers: Crosstalk between complex tight junctions and adherens junctions // The Journal of Cell Biology. 2015. № 4 (209). P. 493–506.
5. *Daneman R., Prat A.* The Blood-Brain Barrier // Cold Spring Harbor Perspectives in Biology. 2015. № 1 (7): a020412.
6. *Löscher W., Potschka H.* Blood-brain barrier active efflux transporters: ATP-binding cassette gene family // NeuroRx: The Journal of the American Society for Experimental NeuroTherapeutics. 2005. № 1 (2). P. 86–98.
7. *Sanchez-Covarrubias L., Slosky L.M., Thompson B.J. et al.* Transporters at CNS Barrier Sites: Obstacles or Opportunities for Drug Delivery? // Current pharmaceutical design. 2014. № 10 (20). P. 1422–1449.
8. *Ayloo S., Gu C.* Transcytosis at the blood-brain barrier // Current Opinion in Neurobiology. 2019. (57). P. 32–38.
9. *Methner C., Mishra A., Golgotiu K. et al.* Pericyte constriction underlies capillary derecruitment during hyperemia in the setting of arterial stenosis // American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology. 2019. № 2 (317): H255–H263.
10. *Sweeney M., Foldes G.* It Takes Two: Endothelial-Perivascular Cell Cross-Talk in Vascular Development and Disease // Frontiers in Cardiovascular Medicine. 2018. № 5:154. https://doi.org/10.3389/fcvm.2018.00154

11. *Shepro D., Morel N.M.* Pericyte physiology // FASEB journal: official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology. 1993. № 11 (7). P. 1031–1038.
12. *Muramatsu R., Yamashita T.* Pericyte function in the physiological central nervous system // Neuroscience Research. 2014. (81–82). P. 38–41.
13. *Sorokin L.* The impact of the extracellular matrix on inflammation // Nature Reviews. Immunology. 2010. № 10 (10). P. 712–723.
14. *Thomsen M.S., Routhe L.J., Moos T.* The vascular basement membrane in the healthy and pathological brain // Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism. 2017. № 10 (37). P. 3300–3317.
15. *Wolburg H., Wolburg-Buchholz K., Fallier-Becker P.* Structure and functions of aquaporin-4-based orthogonal arrays of particles // International Review of Cell and Molecular Biology. 2011. (287). P. 1–41.
16. *Abbott N. J., Rönnbäck L., Hansson E.* Astrocyte-endothelial interactions at the blood-brain barrier // Nature Reviews. Neuroscience. 2006. № 1 (7). P. 41–53.
17. *Lapenna A., De Palma M., Lewis C.E.* Perivascular macrophages in health and disease // Nature Reviews. Immunology. 2018. № 11 (18). P. 689–702.
18. *Ajami B., Bennett J.L., Krieger C.* Local self-renewal can sustain CNS microglia maintenance and function throughout adult life // Nature Neuroscience. 2007. № 12 (10). P. 1538–1543.
19. *Pun P.B.L., Lu J., Moochhala S.* Involvement of ROS in BBB dysfunction // Free Radical Research. 2009. № 4 (43). P. 348–364.
20. *Mimee A., Smith P.M., Ferguson A.V.* Circumventricular organs: targets for integration of circulating fluid and energy balance signals? // Physiology & Behavior. 2013. (121). P. 96–102.
21. *Erickson M.A., Banks W.A.* Neuroimmune Axes of the Blood-Brain Barriers and Blood-Brain Interfaces: Bases for Physiological Regulation, Disease States, and Pharmacological Interventions // Pharmacological Reviews. 2018. № 2 (70). P. 278–314.
22. *Chow B.W., Kaplan L., Granger A.J. et al.* Caveolae in CNS arterioles mediate neurovascular coupling // Nature. 2020. № 7797 (579). P. 106–110.
23. *Luissint A.-C., Artus C., Glacial F. et al.* Tight junctions at the blood brain barrier: physiological architecture and disease-associated dysregulation // Fluids and barriers of the CNS. 2012. № 1 (9): 23.
24. *Abbott N.J.* Inflammatory mediators and modulation of blood-brain barrier permeability // Cellular and Molecular Neurobiology. 2000. № 2 (20). P. 131–147.
25. *Alluri H., Grimsley M., Anasooya Shaji C. et al.* Attenuation of Blood-Brain Barrier Breakdown and Hyperpermeability by Calpain Inhibition // The Journal of Biological Chemistry. 2016. № 53 (291). P. 26958–26969.
26. *Podjaski C., Alvarez J.I., Bourbonniere L. et al.* Netrin 1 regulates blood-brain barrier function and neuroinflammation // Brain: A Journal of Neurology. 2015. № 6 (138). P. 1598–1612.
27. *Armao D., Kornfeld M., Estrada E.Y. et al.* Neutral proteases and disruption of the blood-brain barrier in rat // Brain Research. 1997. № 2 (767). P. 259–264.
28. *Rempe R.G., Hartz A.M., Bauer B.* Matrix metalloproteinases in the brain and blood–brain barrier: Versatile breakers and makers // Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism. 2016. № 9 (36). P. 1481–1507.
29. *Guo L., Zhang H., Hou Y.* Plasmalemma vesicle-associated protein: A crucial component of vascular homeostasis // Experimental and Therapeutic Medicine. 2016. № 3 (12). P. 1639–1644.
30. *Fernandez C., Buyse M., German-Fattal M., Gimenez F.* Influence of the pro-inflammatory cytokines on P-glycoprotein expression and functionality // Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences: A Publication of the Canadian Society for Pharmaceutical Sciences, Societe Canadienne Des Sciences Pharmaceutiques. 2004. № 3 (7). P. 359–371.
31. *Sun D., Lytle C., O'Donnell M.* E. IL-6 secreted by astroglial cells regulates Na-K-Cl cotransport in brain microvessel endothelial cells // The American Journal of Physiology. 1997. № 6 (272). P. C1829–1835.
32. *Cardoso F.L., Kittel A., Veszelka S. et al.* Exposure to lipopolysaccharide and/or unconjugated bilirubin impair the integrity and function of brain microvascular endothelial cells // PloS One. 2012. № 5 (7): e35919.
33. *Wang H., Sun J., Goldstein H.* Human immunodeficiency virus type 1 infection increases the *in vivo* capacity of peripheral monocytes to cross the blood-brain barrier into the brain and the in vivo sensitivity of the blood-brain barrier to disruption by lipopolysaccharide // Journal of Virology. 2008. № 15 (82). P. 7591–7600.
34. *Banks W.A., Gray A.M., Erickson M.A. et al.* Lipopolysaccharide-induced blood-brain barrier disruption: roles of cyclooxygenase, oxidative stress, neuroinflammation, and elements of the neurovascular unit // Journal of Neuroinflammation. 2015.12:223.
35. *Varatharaj A., Galea I.* The blood-brain barrier in systemic inflammation // Brain, Behavior, and Immunity. 2017. 60:1–12.
36. *Pan W., Kastin A.J.* TNFalpha transport across the blood-brain barrier is abolished in receptor knockout mice // Experimental Neurology. 2002. № 2 (174). P. 193–200.
37. *Wang Y., Jin S., Sonobe Y. et al.* Interleukin-1β induces blood-brain barrier disruption by downregulating Sonic hedgehog in astrocytes // PloS One. 2014. № 10 (9): e110024.
38. *Joshi G., Aluise C.D., Cole M.P. et al.* Alterations in brain antioxidant enzymes and redox proteomic identification of oxidized brain proteins induced by the anti-cancer drug adriamycin: implications for oxidative stress-mediated chemobrain // Neuroscience. 2010. № 3 (166). P. 796–807.
39. *Yarlagadda A., Alfson E., Clayton A.H.* The Blood Brain Barrier and the Role of Cytokines in Neuropsychiatry // Psychiatry (Edgmont). 2009. № 11 (6). P. 18–22.
40. *Vestweber D.* How leukocytes cross the vascular endothelium // Nature Reviews. Immunology. 2015. № 11 (15). P. 692–704.
41. *Reale M., Iarlori C., Thomas A. et al.* Peripheral cytokines profile in Parkinson's disease // Brain, Behavior, and Immunity. 2009. № 1 (23). P. 55–63.

42. *Ching S., Zhang H., Lai W. et al.* Peripheral injection of lipopolysaccharide prevents brain recruitment of leukocytes induced by central injection of interleukin-1 // Neuroscience. 2006. № 2 (137). P. 717–726.

43. *Llovera G., Benakis C., Enzmann G. et al.* The choroid plexus is a key cerebral invasion route for T cells after stroke // Acta Neuropathologica. 2017. № 6 (134). P. 851–868.

44. *Kamimura D., Ohki T., Arima Y., Murakami M.* Gateway reflex: neural activation-mediated immune cell gateways in the central nervous system // International Immunology. 2018. № 7 (30). С. 281–289.

45. *Arima Y., Harada M., Kamimura D. et al.* Regional neural activation defines a gateway for autoreactive T cells to cross the blood-brain barrier // Cell. 2012. № 3 (148). P. 447–457.

46. *Bartholomäus I., Kawakami N., Odoardi F. et al.* Effector T cell interactions with meningeal vascular structures in nascent autoimmune CNS lesions // Nature. 2009. № 7269 (462). P. 94–98.

47. *Erickson M.A., Banks W.A.* Neuroimmune Axes of the Blood–Brain Barriers and Blood–Brain Interfaces: Bases for Physiological Regulation, Disease States, and Pharmacological Interventions // Pharmacological Reviews. 2018. № 2 (70). P. 278–314.

48. *McCarthy R.C., Kosman D.J.* Activation of C6 glioblastoma cell ceruloplasmin expression by neighboring human brain endothelia-derived interleukins in an in vitro blood-brain barrier model system // Cell communication and signaling: CCS. 2014. (12): 65.

49. *Cai Z., Qiao P.F., Wan C.Q. et al.* Role of Blood-Brain Barrier in Alzheimer's Disease // Journal of Alzheimer's disease: JAD. 2018. № 4 (63). P. 1223–1234.

50. *Pan Y., Nicolazzo J.A.* Impact of aging, Alzheimer's disease and Parkinson's disease on the blood-brain barrier transport of therapeutics // Advanced Drug Delivery Reviews. 2018. (135). P. 62–74.

51. *Janelidze S., Lindqvist D., Francardo V. et al.* Increased CSF biomarkers of angiogenesis in Parkinson disease // Neurology. 2015. № 21 (85). P. 1834–1842.

52. *Kooij G., Kroon J., Paul D. et al.* P-glycoprotein regulates trafficking of CD8(+) T cells to the brain parenchyma // Acta Neuropathologica. 2014. № 5 (127). P. 699–711.

53. *Macrez R., Stys P.K., Vivien D. et al.* Mechanisms of glutamate toxicity in multiple sclerosis: biomarker and therapeutic opportunities // The Lancet Neurology. 2016. № 10 (15). P. 1089–1102.

54. *Buzhdygan T.P., DeOre B.J., Baldwin-Leclair A. et al.* The SARS-CoV-2 spike protein alters barrier function in 2D static and 3D microfluidic in-vitro models of the human blood-brain barrier // Neurobiol Dis. 2020. 146: 105131.
https://doi.org/10.1016/j.nbd.2020.105131

55. *Pellegrini L., Albecka A., Mallery D.L. et al.* SARS-CoV-2 Infects the Brain Choroid Plexus and Disrupts the Blood-CSF Barrier in Human Brain Organoids // Cell Stem Cell. 2020. № 27 (6). P. 951–961.

56. *Rhea E.M., Logsdon A.F., Hansen K.M. et al.* The S1 protein of SARS-CoV-2 crosses the blood-brain barrier in mice // Nat Neurosci. 2021. № 24 (3). P. 368–378.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 10, с. 961–970

ОБОЗРЕНИЕ

ОДНОРАЗОВАЯ ПОЛИМЕРНАЯ УПАКОВКА: ПРОБЛЕМА БЕЗ РЕШЕНИЯ?

© 2022 г. А. А. Ярославов[a,*], М. С. Аржаков[a,**], А. Р. Хохлов[a,b,***]

[a] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[b] Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия

*E-mail: yaroslav@belozersky.msu.ru
**E-mail: msa60@yandex.ru
***E-mail: khokhlov@presidium.ras.ru

Поступила в редакцию 20.04.2022 г.
После доработки 27.05.2022 г.
Принята к публикации 05.06.2022 г.

Рост объёмов выпуска синтетических полимеров сопровождается увеличением количества полимерных отходов, которые отрицательно воздействуют на окружающую среду. Особого внимания требует ситуация с мусором из пластика с предельно коротким сроком эксплуатации (одноразовая упаковка и тара). Использованный одноразовый пластик с трудом поддаётся переработке, засоряет прибрежные территории и поступает оттуда в моря и океаны, нанося серьёзный ущерб морской фауне. В статье рассматриваются способы минимизации отходов из одноразового пластика, возникающие при этом проблемы и пути их решения.

Ключевые слова: полимерные материалы, одноразовый полимерный пластик, производство, переработка, утилизация, окружающая среда.

DOI: 10.31857/S0869587322100115

За последние несколько десятилетий полимеры прочно заняли одну из лидирующих позиций в общей иерархии современных материалов наряду с металлами и керамикой. Область применения полимеров и материалов на их основе простирается от простейших вариантов бытовой продукции до многокомпонентных смесей, композитов и гибридных конструкций, используемых в электронике, автомобильной и авиакосмической индустрии, строительстве, транспорте, сельском хозяйстве, медицине. Многие изделия, которые раньше производили из традиционных материалов – стекла, металла, дерева, кожи, растительных волокон – теперь изготавливают из пластмассы. Мировое производство пластмасс выросло с 2 млн т в 1950-х годах до 367 млн т в 2020 г. [1]. Ежегодно на эти цели расходуется 4% всей добываемой нефти [2].

Наибольшую долю полимерного рынка составляет полиэтилен (ПЭ), на который приходится примерно треть выпускаемой полимерной продукции. Далее идут полипропилен, поливинилхлорид, полистирол и полиэтилентерефталат.

ЯРОСЛАВОВ Александр Анатольевич – член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой высокомолекулярных соединений химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. АРЖАКОВ Максим Сергеевич – доктор химических наук, профессор кафедры высокомолекулярных соединений химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. ХОХЛОВ Алексей Ремович – академик РАН, вице-президент РАН, заведующий кафедрой физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Эти базовые полимеры – основа десятков тысяч разных видов, марок и сортов пластмасс. В течение более чем 50 лет лидером в полимерной отрасли были США. В 2005 г. первенство перешло к Китаю, на долю которого сейчас приходится более 30% мирового производства полимеров [3]. Китай является также основным потребителем полимеров, перерабатывая около четверти выпускаемого в мире полиэтилена и более трети полипропилена и поливинилхлорида.

Начиная с 1950-х годов в мире было произведено более 8 млрд т синтетических полимеров. При сохранении нынешней тенденции следует ожидать, что в течение следующих 30 лет количество пластика превысит 30 млрд т [4] и на его производство будет расходоваться до 20% общемирового потребления нефти. Вместе с тем широкое применение пластмасс в промышленном производстве и домашнем хозяйстве обернулось для окружающей среды серьёзной угрозой, связанной с бесконтрольным накоплением использованных и ставших ненужными полимерных материалов и изделий. Ежегодно в мире образуется 2 млрд т твёрдых коммунальных отходов [5], из которых на долю пластика приходится примерно 300 млн т, что составляет 70–80% от объёма его ежегодного производства. В связи с этим всё большую актуальность приобретают утилизация полимерных отходов и разработка научно-обоснованной методологии её практической реализации.

Анализ “жизненного цикла” полимерного материала от его производства до уничтожения [6] позволяет выделить следующие основные направления в области минимизации полимерных отходов. Безусловный приоритет – развитие безотходных и экологически безопасных технологий замкнутого цикла, включающих многократную переработку пластиков. Однако все предлагаемые технологии могут лишь отсрочить окончательное уничтожение полимерного мусора, в том числе многократно переработанного, что в настоящее время достигается путём его сжигания и захоронения. Последний вариант подразумевает необходимость широкого использования биоразлагаемых материалов и разработку эффективных способов последующей рекультивации мусорных полигонов.

Для более глубокого понимания “мусорной” проблемы приведём классификацию полимерных материалов по продолжительности их эксплуатации. Полимерные изделия со сроком эксплуатации более 10 лет (материалы строительного назначения, детали и конструкции, используемые в авто-, судо- и авиастроении) составляют не более 1/3 общего объёма производства; со сроком эксплуатации от 1 года до 10 лет (потребительские товары, игрушки, бытовая электроника и др.) – не более 1/4; менее 1 года – до 1/2. Среди последних основное место занимают упаковка и тара с экстремально коротким временем использования, которое часто не превышает нескольких суток или даже часов. Именно подобные одноразовые продукты представляют наибольшую угрозу экологическому состоянию планеты. При этом следует отметить, что упаковочная промышленность выступает основным фактором, определяющим рост мирового спроса на полимеры: различные плёнки, пакеты, бутылки, контейнеры обеспечивают более половины их мирового потребления. Высокие среднегодовые темпы роста производства полимерных плёнок во многом обусловлены возрастающими потребностями сельского хозяйства и пищевой промышленности. Увеличение производства и потребления упаковочного пластика связано с его очевидными преимуществами перед другими материалами (герметичность, стойкость к агрессивным средам, низким температурам и механическим воздействиям, способность к быстрому и качественному свариванию, прозрачность, лёгкость обработки, небольшая масса и низкая стоимость).

Количество производимого одноразового пластика неуклонно возрастает из-за быстрого роста населения Земли, увеличения численности городского населения, активного использования пластика в развивающихся странах, развития упаковочной индустрии и других факторов. Соответственно, возрастает необходимость нейтрализации отрицательного воздействия отходов пластика на окружающую среду.

Существует несколько путей решения этой проблемы. Как отмечено выше, первый и самый привлекательный – повторное использование полимерных отходов или вторичная их переработка (рециклинг). В идеале вторичная переработка пластика может привести к появлению новой цикличной (безотходной) экономики, основанной на многократном использовании единожды произведённого полимерного материала. Второй путь – сжигание пластикового мусора с целью получения энергии. Третий – его захоронение на специально оборудованных площадках (мусорных полигонах). Оптимальное соотношение вкладов этих способов нейтрализации пластиковых отходов оценивается следующим образом: рециклинг >> сжигание > захоронение. Очевидное преимущество имеет вторичная переработка отходов: она не только возвращает на рынок полимерные продукты, но и уменьшает выброс в атмосферу парниковых газов предприятиями по производству пластмасс.

Помимо этого от накопившегося мусора избавляются, экспортируя его за пределы страны-производителя. До недавнего времени таким образом ежегодно вывозилось около 13 млн т произ-

водимого пластикового мусора, или 4% его общего объёма; бóльшая доля “мусорного экспорта” (около 70%) приходилась на развитые страны (США, ЕС и Япония) [7]. Основным покупателем пластиковых отходов в течение последних лет был Китай, который принимал от половины до 2/3 глобального импорта мусора из пластмасс. Однако в 2018 г. экономика Китая достигла уровня, при котором количество производимых пластиковых отходов полностью покрывало потребности местных перерабатывающих предприятий. В результате правительство объявило о запрете на импорт некоторых видов пластика и сильно загрязнённых материалов. Вслед за Китаем запрет на ввоз пластикового мусора ввели страны Юго-Восточной Азии – Таиланд, Малайзия и Вьетнам. Эти события заставили европейские страны и США – основных поставщиков пластиковых отходов – пересмотреть практику их утилизации и повысить стандарты по качеству материалов, получаемых из вторично переработанных полимеров. Наконец, значительный сегмент рынка занимает теневая торговля пластиковым мусором, общий ежегодный объём которой оценивается в 10–12 млрд долл. [7]. Экспорт и теневая торговля не влияют на общую картину утилизации мусора: их вклад незначителен и с трудом поддаётся количественной оценке.

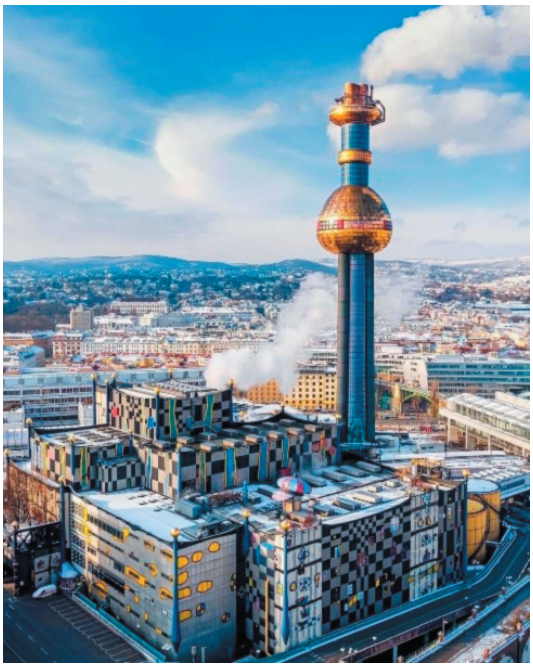
Источниками наиболее распространённого пластикового мусора являются два полимера – полиэтилен и полипропилен, на которые приходится более половины всех полимерных отходов. Это связано с их активным использованием для упаковки товаров и выпуска разнообразных одноразовых изделий. Развитие программы по переработке пластикового мусора привело к подготовке единой классификации полимеров. Впервые такая классификация была предложена Американским обществом пластмассовой промышленности в 1988 г. Окончательная на сегодня версия списка, одобренная решением Еврокомиссии [8], выглядит следующим образом (рис. 1).

Для вторичной переработки полимеров (полимерных отходов) используют различные технологии. *Механический рециклинг* основан на сохранении физических свойств полимеров без существенного нарушения их химического строения. Он включает измельчение (нарезка, дробление, перетирание) пластика и получение полупродукта, используемого для изготовления новых пластмассовых изделий. Этот способ не требует дорогостоящего оборудования и относительно легко реализуем. *Химический рециклинг* сопровождается деструкцией полимеров до исходных мономеров или других веществ с меньшей молекулярной массой, из которых получают новые полимеры или чистые химические соединения. Таким образом можно перерабатывать загрязнённый (несортированный) пластик. При *термическом рециклинге* (по сути, химическом рециклинге, но проводимом при высокой температуре) из полимеров получают синтез-газ (смесь монооксида углерода и водорода) и углеводородные смеси различного состава (бензин, мазут и др.), которые в дальнейшем применяются для производства тепловой и электрической энергии. Все варианты рециклинга наряду с перечисленными выше достоинствами имеют ряд существенных недостатков, среди которых выделяются необходимость тщательной сортировки мусора для извлечения пластика одного химического состава (особенность механического рециклинга), низкая эффективность (проблема химического рециклинга) и большие энергозатраты (связаны с химическим и термическим рециклингом). Эти причины сдерживают развитие рынка вторичной переработки пластмасс.

Рис. 1. Маркировка полимеров для удобства распознавания и использования:
01 PET (российский аналог ПЭТФ) – полиэтилентерефталат; 02 PE-HD, HDPE (ПЭНД) – полиэтилен высокой плотности (низкого давления); 03 PVC (ПВХ) – поливинилхлорид; 04 PE-LD, LDPE (ПЭВД) – полиэтилен низкой плотности (высокого давления); 05 PP (ПП) – полипропилен; 06 PS (ПС) – полистирол; 07 OTHER (O) – прочие (к этой группе относится любой другой пластик, который не может быть включён в предыдущие группы); 09 ABS – смешанный пластик

Сжигание рассматривается как дополнительная возможность утилизации пластикового мусора. Этот способ практически безальтернативен для композитных пластиков, которые не могут быть вторично переработаны из-за своего состава, неправильного сбора/сортировки/хранения или потери потенциала к переработке в ходе многократных процедур рециклинга. Современные мусоросжигательные заводы обеспечивают дожигание газов при высокой температуре (до 1400°C) и их последующую эффективную очистку [9]. Это приводит к минимальным выбросам в атмосферу токсичных веществ, прежде всего различных диоксинов, известных своей высокой нежелательной активностью по отношению к живым организмам. Благодаря современным технологиям строительство мусоросжигательных заводов возможно в крупных городах недалеко от места образования и накопления отходов. Примерами таких заводов могут служить Шпиттелау в Вене и Амагер Бакке в Копенгагене, которые снабжают городские сети электроэнергией и горячей водой (рис. 2). Благодаря оригинальному оформлению завод Шпиттелау стал одной из достопримечательностей австрийской столицы, а на крыше за-

а



б

Рис. 2. Мусоросжигательные заводы Шпиттелау в Вене (*а*) и Амагер Бакке в Копенгагене (*б*) Фотографии из открытых источников

вода Амагер Бакке расположены рекреационная зона Копенхилл и лыжный склон.

Пластиковый мусор, не попавший во вторичную переработку и не сгоревший в печах мусоросжигательных заводов, в лучшем случае поступает на мусорные полигоны или, что хуже, уничтожается путём открытого сжигания или попадает в окружающую среду. Такая пёстрая картина не позволяет достоверно оценить вклад различных способов утилизации пластика. Считается, что сегодня в мире повторно используется от 9 до 30% пластмасс [7]. Остальной пластик оказывается на мусорных полигонах, где медленно разлагается в течение десятков и сотен лет. Однако в этой картине никак не отражена судьба пластика, обошедшего все “ловушки” и в итоге попавшего в окружающую среду. Между тем это важная составляющая часть пластикового мусора, которая во многом определяет состояние природной среды.

Очевидно, что особую тревогу вызывает судьба одноразового пластика. Согласно Директиве Евросоюза по одноразовым пластикам (2019) [10], под этим термином понимают “товар, частично или полностью изготовленный из пластика, который был разработан, произведён и позиционируется на рынке как продукт, для которого не предусмотрен возврат производителю и повторное использование с целью, для которой он был произведён”. То есть речь идёт о полимерном материале (или изделии из него), принципиальной особенностью которого является однократное использование. К этой категории относится упаковка (плёнки, пакеты, контейнеры, коробки, бутылки). Одноразовая посуда и столовые приборы, соломинки, трубочки и мешалки для напитков и прочие товары чаще других попадают на стихийные свалки, откуда дождями и талыми водами смываются в реки, а затем в моря и океаны, формируя гигантские мусорные острова [11]. Ежегодно в Мировой океан попадает от 4 до 12 млн т полимеров или 1–3% производимого пластикового мусора [12], по другим данным – около 11 млн т [13]. Оказавшись в морской среде, пластик распадается на всё более мелкие фрагменты. Согласно оценкам, в океане находится от 5 до 50 трлн фрагментов пластика [14], многие из которых имеют размер менее 5 мм (так называемый микропластик). На дне мирового океана скопилось примерно 14 млн т микропластика [15].

Пластик поистине вездесущ. Крупнейшее его скопление обнаружено на дне Средиземного моря: в верхнем слое отложений содержится 1.9 млн пластиковых частиц на м^2 [16]. Пластиковый пакет и конфетные обёртки найдены в Марианской впадине на глубине более 10 км, а частицы микропластика – в снегах Эвереста на высоте 8440 м. Полимерные объекты (включая микропластик) попадают в организм морских животных, которые могут ими подавиться, умереть от голода или отравления. Ежегодно миллионы тонн микрочастиц пластика проникают в питьевую воду и продукты питания людей во всём мире. Например, концентрация микрочастиц в бутилированной (питьевой) воде может составлять до 10 тыс./л [17]. При этом масштабные исследования о последствиях попадания пластиковых микрочастиц в организм человека до сих пор не проводились. Однако описаны многочисленные примеры отрицательного воздействия микропластика на модельных животных, начиная с моллюсков и рако-

образных и заканчивая рыбами, птицами и млекопитающими [18–22].

Результаты проведённых экспериментов, осторожные оценки экспертов и не слишком оптимистичные перспективы заставляют пересмотреть имеющуюся практику производства, использования и утилизации одноразового пластика. Многие страны, включая ЕС, ведут активную работу, направленную на решение этой проблемы с целью формирования безотходной экономики, основанной на многократных циклах использования полимерной продукции. Можно выделить несколько основных направлений работы по изменению ситуации с одноразовым пластиком. Рассмотрим их в порядке приоритетности, как это описывается в многочисленных статьях на тему "мир без пластика (или с минимальным его присутствием)".

Распространение и совершенствование рециклинга. Этот очевидный путь должен обеспечить возвращение использованного пластика в качестве сырья для производства новых полимеров и, соответственно, уменьшить спрос на первичный пластик. Обе эти цели если и достижимы, то в весьма отдалённой перспективе. Собственно рециклинг столкнулся с трудностями, связанными прежде всего со сбором и сортировкой пластикового мусора.

Процедура сбора отходов домохозяйств в уличные контейнеры отработана и активно применяется главным образом в промышленно развитых странах. По данным Программы ООН по окружающей среде, систематический сбор и вывоз мусора в различных регионах мира организован весьма неравномерно: если в Северной Америке доля вывезенного мусора составляет 100%, то в Африке – от 25 до 70%. При этом более 2 млрд жителей планеты не имеют доступа к услугам по сбору и вывозу отходов [23]. Если в странах ЕС собирается и перерабатывается около 30% пластикового мусора [3], то в США этот показатель – всего 9% [24]. Согласно существующим прогнозам, масштабы переработки пластикового мусора будут возрастать, и к 2050 г. через рециклинг будет проходить до 50% всех отходов из пластмассы [3].

Много проще собирать пластиковые отходы, полученные в ходе промышленного производства: куски, ленты, обрезки труб, излишки материала после обработки изделий, некондиционный товар, россыпь полимерного гранулята и др. Такие отходы не содержат примесей или загрязнений и потому активнее подвергаются рециклингу, чем отходы из бывших в употреблении материалов и изделий. Нерешённой остаётся проблема переработки композитов, в которых полимер является одним из компонентов материала/изделия. Такие композиты не поддаются сортировке и поэтому не перерабатываются наиболее распространённым механическим способом.

Имеющийся опыт говорит о том, что системы переработки не смогли обеспечить эффективную утилизацию полимерных отходов и вернуть в производство достаточное количество полимерного материала, чтобы заметно снизить спрос на первичный пластик. Причины весьма скромных успехов в этой области связаны с постоянно возрастающим объёмом первичного производства полимеров и их невысокой ценой, отсутствием во многих странах доступных процедур сбора и сортировки отходов, невозможностью переработки смесевых и композитных пластиковых изделий.

Отказ от использования некоторых видов полимерной продукции. В июле 2021 г. в Евросоюзе вступил в силу запрет на производство и продажу одноразовых изделий из пластика [10]. В этот список входят пластиковые тарелки и столовые приборы, ватные палочки, трубочки и мешалки для напитков, пластиковые держатели для воздушных шаров, стаканы и контейнеры для еды и напитков из полистирола и некоторые другие полимерные изделия. К 2025 г. в странах ЕС будет вдвое снижено потребление тонких пластиковых пакетов. Ограничения Евросоюза коснулись товаров, которые все вместе составляют не очень представительную группу полимерных изделий. Однако они практически не поддаются переработке, в основном из-за красителей (цветной пластик), неустранимых загрязнений и отсутствия маркировки, или потому, что они изготовлены из смеси разнородных по природе материалов (пластик и бумага, пластик и хлопок). Кроме того, такие изделия трудно извлечь из общего потока отходов.

Дополнительная опасность подобных продуктов заключается в их высокой мобильности: эти лёгкие изделия переносятся на большие расстояния, попадая в итоге в реки и оттуда в моря и океаны. Масштабы производства такой продукции впечатляют. Например, в Германии ежегодно используют 2.8 млрд одноразовых кофейных стаканчиков, в Греции этот показатель составляет 600 млн, в Великобритании – 3 млрд. Каждый стаканчик служит в среднем 15 минут и затем становится мобильным мусором. Перерабатывается не более 1% использованных стаканчиков [25]. Причина столь низкого рециклинга – сложность разделения пластика и картона, из которых они сделаны.

Аналогичная ситуация складывается с одноразовыми пластиковыми бутылками, тарелками и столовыми приборами. Первые (вместе с крышками и колпачками) – наиболее распространённый вид мусора на пляжах Европы, вторые входят в первую десятку загрязнителей европейских пляжей. Этот пластик в итоге оказывается в мо-

рях, на него сейчас приходится 85% морского мусора в водах Европы. Проведённые среди граждан Евросоюза опросы показали, что 92% населения одобряют меры по сокращению производства/потребления одноразового пластика и обеспокоены отрицательным воздействием пластика на окружающую среду (87%) и здоровье (74%) [25].

Замена одноразовой упаковки (тары) на многоразовую. Здесь предлагается несколько вариантов: от использования традиционных полимеров (полипропилена, полистирола и др.) для производства возвратной многоразовой посуды, которую можно сдать в магазин/кафе после употребления, до контейнеров и бутылок, изготовленных из традиционных материалов (бумага, стекло, металл), которые можно принести с собой. Изделия из полипропилена пригодны для мытья в посудомоечной машине и могут быть использованы многократно (до 400 раз). Этот путь становится более привлекательным для потребителя, если в цену продукта добавлен депозит (залоговая цена), который можно вернуть при возврате товара. Способ опробован в различных странах (Германия, Канада, США, Австралия) и доказал свою жизнеспособность.

Возврат к традиционной посуде на рынке готовой (уличной) еды выглядит несколько архаично. Дело в том, что 100 лет назад человечество совершило шаг в противоположном направлении: от многоразовой металлической кружки к одноразовому бумажному стаканчику. В 1908 г. в США была подана заявка на патент [26] с описанием “безопасной чашки”, которая должна была прийти на смену негигиеничной железной кружке. Материалом для новой чашки служила водонепроницаемая бумага. В 1910 г. была создана “Компания индивидуальной чашки для питья”, которая сконструировала автоматы по продаже чашек в общественных местах. К 1960 г. продажи бумажных стаканчиков приносили ежегодный доход в размере 50 млн долл. В последующем объём продаж только нарастал и вышел на новый уровень с появлением одноразовой пластиковой посуды. Изменить эту ситуацию едва ли возможно. Рынок простой в изготовлении, удобной, лёгкой и дешёвой одноразовой посуды сохранится, хотя, возможно, и будет несколько потеснён конкурентами, предлагающими многоразовую посуду из стекла и металла.

Замена на биоразлагаемые (компостируемые) полимеры и композиты. Альтернативой традиционному пластику выступают биоразлагаемые полимеры, которые принято разделять на две большие группы. К первой относятся синтетические полимеры, содержащие добавку в виде солей переходных металлов, способную ускорять разрушение пластика при воздействии ультрафиолета и кислорода воздуха [27, 28]. В случае полиэтилена и пропилена, наиболее часто используемых для получения одноразового пластика, в качестве такой добавки применяют смесь солей, известную как d2w, производства фирмы Symphony Environmental (Великобритания). После некоторого периода стабильности, который обеспечивается антиоксидантами, входящими в состав d2w, начинается расщепление углерод-углеродных связей в макромолекулах, при этом пластмассовые изделия становятся хрупкими и распадаются на мелкие хлопьевидные частицы. В дальнейшем частично разрушенный и одновременно окисленный пластик подвергается действию микроорганизмов, которые расщепляют его до углекислого газа и воды. Так выглядит утилизация оксоразлагаемых полимерных материалов.

Второй вариант – использование природных биоразлагаемых полимеров для производства пластмассовых изделий [29]. Сырьём для их производства, обычно служат растительные культуры (пшеница, кукуруза, картофель, сахарный тростник, соя). Сырьё напрямую перерабатывают в полимер (целлюлоза, крахмал) либо подвергают ферментации с последующим выделением мономера и его полимеризацией (полилактид, полигидроксибутират). Наибольшей популярностью пользуются биоразлагаемые пакеты из кукурузного или картофельного крахмала; из синтетического полилактида делают биоразлагаемую пищевую упаковку и одноразовую посуду.

Однако эта оптимистичная картина осложняется рядом неприятных деталей. Фрагментация оксоразлагаемого пластика требует наличия кислорода. Его очень мало на стандартных полигонах твёрдых бытовых отходов (ТБО), особенно во внутренних частях полигонов, что резко снижает эффективность биоконверсии пластика. Помимо кислорода, на скорость разрушения оксоразлагаемого пластика влияют температура, влажность, интенсивность света. Контролировать эти параметры в условиях полигона невозможно, и поэтому нельзя назвать точные сроки разложения такого пластика в естественной среде. И, наконец, промежуточной стадией разрушения пластика является формирование нежелательного микропластика, а инициирующая оксоразложение добавка d2w и её аналоги токсичны из-за присутствия тяжёлых металлов. Добавки делают невозможным рециклинг оксоразлагаемх полимеров. Эти причины привели к тому, что в 2019 г. Еврокомиссия рекомендовала ввести запрет на использование оксоразлагаемых пластиков на территории Евросоюза [10], который начал действовать с июля 2021 г.

Не лучше обстоит дело с биоразлагаемыми пластиками на основе природного сырья. Например, утилизация материалов из полилактида требует специальных условий: 80%-ной влажности

воздуха и температуры 55–70°C [30]. Такие условия можно обеспечить только при промышленном компостировании (биологическом окислении). Без выполнения этих условий, например, на полигоне ТБО, полилактид деструктирует очень медленно, подобно разложению небиопластиков с периодом полного разрушения в сотни лет. Поэтому сложившееся у многих представление о том, что биоразложение начнётся после закапывания биопластика в землю или выбрасывания его в море, оказывается не более чем иллюзией.

Необходимо принимать во внимание и то обстоятельство, что сырьём для производства биоразлагаемых пластиков выступают растительные культуры, используемые в качестве пищи (кукуруза, пшеница, сахарный тростник). Таким образом, производство биопластика конкурирует с производством продовольствия. Сокращение пахотных земель и уменьшение водных ресурсов может привести к серьёзной коррекции перспективы массового производства биопластиков.

В завершение этого раздела остановимся на результатах принципиального и наглядного исследования, посвящённого анализу деградации пакетов из коммерческого пластика: биоразлагаемого, оксоразлагаемого и компостируемого. В качестве контроля были взяты пакеты из полиэтилена высокой плотности (традиционный вид упаковки) [31]. Образцы выдерживали в течение трёх лет на открытом воздухе, в земле и в морской воде, а также в контролируемых лабораторных условиях. Все образцы, хранившиеся на воздухе (в том числе полиэтиленовый пакет), распались на мелкие фрагменты, то есть микропластик. Пакеты из компостируемого пластика (из природных полимеров) растворились в морской среде (размер частиц растворённого пластика не анализировали), но сохранили целостный вид после пребывания в почве. Оксоразлагаемые и биоразлагаемые пакеты мало изменились после пребывания в почве и морской воде, более того, с ними вполне можно было идти в магазин за покупками. И это несмотря на имеющуюся на пакетах маркировку стандарта EN 13432, который определяет предельный 6-месячный срок их разложения. Неутешительный вывод авторов заключается в следующем: нет никаких оснований полагать, что оксо- и биоразлагаемые пластиковые пакеты имеют очевидное преимущество перед обычными пластиковыми пакетами с точки зрения их утилизации.

Съедобная пищевая плёнка и упаковка. До недавнего времени такая формулировка большинством населения воспринималась как экзотика. На самом деле съедобные плёнки известны уже много веков, многие из нас регулярно встречаются с этим видом товара в повседневной жизни. Еще в XVIII в. в Японии использовалась одноразовая посуда, изготовленная из прессованной рисовой муки: после использования её можно было съесть. В начале XX в. началось промышленное производство вафельных рожков для мороженого. В 1933 г. была разработана технология получения искусственных белковых (коллагеновых) оболочек для упаковки колбасных изделий.

Появление новых полимерных материалов и новых технических возможностей стимулировало поиск решений, направленных на расширение ассортимента полимерной продукции. Одновременно пришло осознание важности поддержания экологической чистоты на планете. Вместе эти факторы активизировали работы по созданию биоразлагаемых полимеров, в том числе биоразлагаемой (съедобной) упаковки.

В качестве основы для получения плёнки (тары) предложено использовать полимеры животного или растительного происхождения – белки (желатин, коллаген, глютен, казеин) и полисахариды (крахмал, целлюлоза и её производные, альгинат, агар, хитин/хитозан, декстрины, пектины) [32, 33]. Из этих полимеров или их смесей с пшеничной/рисовой мукой, растительными волокнами, зёрнами злаковых и бобовых культур делают материалы для формирования съедобной посуды (стаканы, чашки, ложки, трубочки для коктейля и пр.). Создана съедобная бумага для упаковки бутербродов, которая растворяется, едва попав в рот, и коробки для еды, изготовленные из картофельной муки по технологии, применяемой в производстве чипсов. Описаны материалы для производства съедобных пакетов на основе крахмала, которые практически мгновенно растворяются в горячей воде (медленнее в холодной). По утверждению разработчиков, полученный раствор можно пить без вреда для здоровья. Если после употребления пищи съедобная упаковка будет выброшена, она не загрязнит почву и станет отличной пищей для микроорганизмов. “Съедобное направление” в полимерной области постепенно занимает всё более заметное положение. У него появился свой термин “EdPack” (от “edible packaging” – с англ. “съедобная упаковка”). Этой идеей заинтересовались крупные компании, пока на уровне оригинальных рекламных ходов. Так, производитель автомобилей “Лендровер” выпустил иллюстрированный справочник по выживанию в пустыне, который можно съесть в экстремальной ситуации.

При всей очевидной перспективности это направление не сможет в обозримом будущем составить конкуренцию не только традиционному пластику, но и биоразлагаемым полимерам. Область распространения съедобного пластика пока не выходит за пределы пищевых производств, и нынешнее повышение внимания к такому мате-

риалу воспринимается скорее как масштабный эксперимент, цель которого – нащупать области потенциального интереса со стороны производителей и потребителей этой нетипичной продукции.

Уже сейчас понятны вопросы, которые требуют профессионального обсуждения. Первый касается гигиенических свойств защитной съедобной упаковки (тары). С одной стороны, она по определению должна быть съедена. С другой, она же защищает основной продукт от негативного внешнего воздействия (пыль, влага, человеческие прикосновения т.д.). Получается, что нужно думать о защите самóй съедобной упаковки. Съедобные стаканчики можно защитить дополнительным внешним слоем из материала (например, картона), который будет утилизирован после поедания стаканчика. Но это лишает процедуру потребления утреннего кофе простоты и лёгкости. Съедобность стаканчика означает одновременно его хрупкость, а значит, ненадёжность, что ставит под сомнение сохранность такого товара во время грузовых перевозок. И наконец, можем ли мы называть упаковкой обёртку, которую мы съедаем? Или это просто часть продаваемого товара? Это меняет традиционные представления о многофункциональной роли упаковки (сохранение, идентификация, информация, транспортировка, реклама) и требует развития новых подходов к оформлению и продвижению товара.

В России ситуация с отработанным пластиком выглядит не слишком оптимистично. Ежегодно 3 млн т пластика превращается в отходы, из них в рециклинг вовлекается не более 7% и более 90% попадает на полигоны ТБО [34]. Причины низкой эффективности переработки пластика – отсутствие налаженной системы его сбора и сортировки, а также невысокий спрос на вторичную продукцию. Последние 30 лет мусорные отходы в России в основном складировались на стихийных свалках. В последнее время увеличилась доля мусора, попадающего на сертифицированные полигоны ТБО.

Такая картина типична и для судьбы одноразового пластика. Массовое производство этого вида товаров в России началось на рубеже XX–XXI вв. и быстро заняло два сегмента рынка – упаковку и тару. Хорошо известные примеры одноразовой упаковки – плёнка и пакеты, пластиковой тары – одноразовая посуда. Замечательные свойства плёнки, удобство пластиковых пакетов, лёгкость и простота использования пластиковой посуды стимулируют развитие производства этих товаров. Ежегодно в России изготавливается более 40 млрд мешков и одноразовых пакетов и более 14 млн шт. пластиковой посуды, доля одноразовой составляет около 80% [35, 36]. С другой стороны, Россия вслед за Европой готовится принять ограничительные меры по производству и использованию некоторых видов одноразовых пластиковых товаров и активизировать переработку пластикового мусора. Эта программа может столкнуться с теми же проблемами, которые характерны для всего рынка переработки пластиковых отходов: отсутствием организованной системы сбора/сортировки мусора, нехваткой мусороперерабатывающих комбинатов, нежеланием компаний перерабатывать смесевые и композитные полимерные материалы, ограниченными объёмами производства и сферами применения переработанных пластиков и др. Дополнительная проблема – загрязнение пищевыми отходами плёнок и тары, поступающих из домохозяйств, что резко сужает их пригодность для вторичной переработки. По этой причине на переработку предпочитают брать чистую плёнку, поступающую с предприятий. В целом приходится признать, что переработка мягкого пластика, собираемого у населения в России, происходит с понижением качества продукции. Из полиэтиленовой плёнки делают, например, полимерпесчаную плитку, которая после истечения срока эксплуатации отправляется на полигон, поскольку переработать её невозможно.

Глобальным трендом становится отказ от одноразовых пластиков или резкое уменьшение его использования. Проведённые в России опросы показали, что подавляющее большинство россиян (85%) готовы отказаться от пластиковой посуды [37]. Это направление получает поддержку со стороны бизнеса: многие крупные торговые центры перестают выдавать бесплатные пакеты или заменяют их на более экологичные бумажные. Другим выходом из “мусорного кризиса” может быть сжигание мусора для получения энергии. Выше говорилось, что современные мусоросжигательные заводы обеспечивают сжигание мусора при высоких температурах и снабжены системами для эффективного улавливания токсичных газов – диоксинов. Это позволяет строить заводы в крупных городах, не опасаясь отрицательных последствий. Такой способ утилизации мусора широко распространён в мире. Например, в Японии сжигается 80% всех отходов, во Франции – 35%, в Германии – 32%, в Великобритании – 31%, в Италии – 19%, в США – 13% [34]. Наконец, остаётся вариант захоронения мусора на полигонах ТБО. Нужно лишь, чтобы это захоронение проводилось с учётом всех требований к организации и функционированию подобных сооружений.

* * *

Постоянно увеличивающиеся объёмы выпуска синтетических полимеров и неконтролируемый рост количества вышедших из эксплуатации

полимерных материалов/изделий вынуждают обратиться к поиску способов минимизации отрицательного воздействия пластикового мусора на окружающую среду. Особого внимания требует ситуация с мусором, полученным из одноразового пластика. Речь идёт об упаковке и таре, доля которых в общем выпуске полимеров составляет около 50%. Одноразовый пластик представлен в различных сферах человеческой деятельности – от пищевой промышленности до строительства. Он отличается малым весом, большим занимаемым объёмом, часто содержит инородные фрагменты (полимеры иной природы, надписи, цветные вставки и пр.) и не имеет маркировки и потому представляет мало интереса для переработчиков мусора. Попытки изменить ситуацию (активизация рециклинга, отказ от неперерабатываемого пластика, замена традиционного синтетического пластика на биодеградируемый, популяризация многоразовой упаковки и тары) сконцентрированы в основном в развитых странах и пока не затрагивают страны бедные и развивающиеся, где сохранению благоприятной экологической обстановки уделяется заметно меньше внимания. Примерно четверть населения планеты лишена доступа к организованному сбору и сортировке отходов, лишь немногим странам удаётся собирать, перерабатывать и утилизировать мусор.

Выполнивший свою функцию одноразовый пластик засоряет прибрежные территории и поступает оттуда в моря и океаны, нанося серьёзный ущерб морской фауне. Попавшие в океан полимерные материалы/изделия превращаются в микропластик – наиболее опасную разновидность пластикового мусора. Попытки собрать океанский (микро)пластик и отправить его на утилизацию пока успехом не увенчались. Принимаемые меры по уменьшению пагубного влияния (микро)пластика на окружающую среду не сократили его поток в океаны. Несмотря на то, что в настоящее время предложены и апробированы различные пути развития и оптимизации производства, рециклинга и утилизации одноразовых пластиковых изделий, проблема борьбы с полимерными отходами остаётся открытой. В сложившейся ситуации необходим поиск более эффективных научно-технологических решений. Однако успешное продвижение в этом направлении требует учёта целого ряда социально-экономических аспектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/
2. *Hopewell J., Dvorak R., Kosior E.* Plastics recycling: challenges and opportunities // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 2009. V. 364. P. 2115–2126.
3. Plastics – the Facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data. PlasticsEurope, 2020.
4. *Geyer R., Jambeck J., Law K.* Production, use, and fate of all plastics ever made // Sci. Adv. 2017. № 7. e1700782.
5. *Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F.* What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 / Urban Development Series. Washington, DC: World Bank, 2018.
6. *Ярославов А.А., Аржаков М.С., Хохлов А.Р.* Жизненный цикл полимерного материала: проблемы и перспективы // Вестник РАН. 2022. № 1. С. 15–22; *Yaroslavov A.A., Arzhakov M.S., Khokhlov A.R.* The Life Cycle of Polymer Materials: Problems and Prospects // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2022. № 1. P. 18–24.
7. Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses. Paris: OECD Publishing, 2018.
8. Commission decision of 28 January 1997 establishing the identification system for packaging materials pursuant to European Parliament and Council Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste (97/129/EC).
9. *Strobel R., Waldner M.H., Gablinger H.* Highly efficient combustion with low excess air in a modern energy-from-waste (EfW) plant // Waste Manag. 2018. V. 73. P. 301–306.
10. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment.
11. *Schmidt C., Krauth T., Wagner S.* Export of plastic debris by rivers into the sea // Environ. Sci. Technol. 2017. V. 51. P. 12246–12253.
12. *Boucher J., Friot D.* Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources. Gland, Switzerland: IUCN, 2017.
13. *Lau W.W.Y., Shiran Y., Bailey R.M. et al.* Evaluating scenarios toward zero plastic pollution // Science. 2020. V. 369. P. 1455–1461.
14. Throwing Away the Future: How Companies Still Have It Wrong on Plastic Pollution “Solutions”. Greenpeace USA, 2019.
15. *Barrett J., Chase Z., Zhang J. et al.* Microplastic Pollution in Deep-Sea Sediments From the Great Australian Bight // Frontiers in Marine Science. 2020. № 7. P. 576170.
16. *Kane I.A., Clare M.A., Miramontes E. et al.* Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation // Science. 2020. V. 368. P. 1140–1145.
17. Microplastics in drinking-water. Geneva: World Health Organization, 2019.
18. *Amin R.Md., Sohaimi E.S., Anuar S.T., Bachok Z.* Microplastic ingestion by zooplankton in Terengganu coastal waters, southern South China Sea // Mar. Pollut. Bull. 2020. V. 150. P. 110616.
19. *Cunningham E.M., Mundye A., Kregting L. et al.* Animal contests and microplastics: evidence of disrupted behaviour in hermit crabs Pagurus bernhardus // R. Soc. Open. Sci. 2021. № 8. P. 211089.

20. *Galafassi S., Campanale C., Massarelli C. et al.* Do freshwater fish eat microplastics? A review with a focus on effects on fish health and predictive traits of MPs ingestion // Water. 2021. № 13. P. 2214.
21. *Wang L., Nabi G., Yin L. et al.* Birds and plastic pollution: recent advances // Avian. Res. 2021. № 12. P. 59.
22. *Prata J.C., daCosta J.P., Lopes I. et al.* A one health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health // Sci. Total Environ. 2021. V. 777. P. 146094.
23. Global Waste Management Outlook. UNEP/ISWA, 2015.
24. Advancing Sustainable Materials Management: 2015 Fact Sheet. US Environmental Protection Agancy, 2018.
25. *Miller S., Bolger M., Copello L.* Reusable solutions: how governments can help stop single-use plastic pollution. A study by the Rethink Plastic alliance and the Break Free From Plastic movement. Oxford: 3Keel, 2019.
26. US patent 1032557.
27. *Kérouani S., Djerboua F., Sadoun T.* Efficient enhancement in polyethylene biodegradation as a consequence of oxidative fragmentation promoted by pro-oxidant/pro-degradant metal stearate // J. Polym. Eng. 2018. V. 38. P. 625–634.
28. *Liu X., Gao C., Sangwan P. et al.* Accelerating the degradation of polyolefins through additives and blending // J. Appl. Polym. Sci. 2014. V. 131. https://doi.org/10.1002/app.40750
29. *Vikhareva I.N., Buylova E.A., Yarmuhametova G.U. et al.* An overview of the main trends in the creation of biodegradable polymer materials // J. Chem. 2021. V. 2021. https://doi.org/10.1155/2021/5099705
30. *Lunt J.* Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers // Polym. Degrad. Stab. 1998. V. 59. P. 145–152.
31. *Napper I.E., Thompson R.C.* Environmental Deterioration of Biodegradable, Oxo-biodegradable, Compostable, and Conventional Plastic Carrier Bags in the Sea, Soil, and Open-Air Over a 3-Year Period // Environ. Sci. Technol. 2019. V. 53. P. 4775–4783.
32. Polymers for Food Applications / T. Gutiérrez (ed.). Cham: Springer, 2018.
33. *Katiyar V.* Sustainable Polymers for Food Packaging: An Introduction. Berlin, Boston: De Gruyter, 2020.
34. Мусорная реформа // Бюллетень Счётной палаты Российской Федерации. 2020. № 9.
35. Российский рынок тары и упаковки: итоги 2019 г., прогноз до 2022 г. Аналитический отчёт NeoAnalytics. https://www.neoanalytics.ru/rossiiskii-rynok-tary-i-upakovki-2020-1/
36. Российский рынок одноразовой посуды: итоги 2020 г., прогноз до 2024 г. Аналитический отчёт NeoAnalytics. https://www.neoanalytics.ru/rossiiskii-rynok-odnorazovoi-posudy-2021-1/
37. Результаты опроса ВЦИОМ 05.05.2019. ТАСС, 2019.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 10, с. 971–983

ТОЧКА ЗРЕНИЯ

МИРОВАЯ ИННОВАЦИОННО-ЦИФРОВАЯ ЭКСПАНСИЯ: ОСОБЕННОСТИ МОМЕНТА

© 2022 г. Л. В. Панкова[a],*, О. В. Гусарова[a],**

[a] Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН, Москва, Россия

*E-mail: lpankova@imemo.ru

**E-mail: olgusarova@imemo.ru

Поступила в редакцию 24.05.2022 г.
После доработки 24.06.2022 г.
Принята к публикации 11.07.2022 г.

Статья посвящена развитию инновационно-цифровых военных технологий. Авторы ставят перед собой цель углубить понимание важнейших направлений мировой технологической трансформации, а также сложности и взаимообусловленности основных критически важных и зарождающихся технологий военно-ориентированного характера в главных центрах инновационно-цифрового сдвига. Анализируется финансовое обеспечение и важнейшие особенности развития сферы исследований и разработок США, России и Китая, подчёркивается стратегический характер их конкуренции. Особое внимание уделяется ключевым цифровым функционалам, прежде всего искусственному интеллекту и квантовым вычислениям. Отмечается, что стремление США к глобальному технологическому и военно-техническому лидерству в условиях динамических изменений в технологическом развитии и, соответственно, появление не только новых возможностей, но и новых вызовов актуализирует изучение мирового инновационно-цифрового развития.

Ключевые слова: технологии, инновации, двойное использование, конкуренция, цифровизация, национальная и международная безопасность, сдерживание, стратегическая стабильность, экономика.

DOI: 10.31857/S0869587322100097

С вступлением в третье десятилетие XXI в. пришло чёткое осознание того факта, что мир входит в новую эру – эру жёсткой конкурентной борьбы в сфере новых зарождающихся технологий. По мнению и российских, и зарубежных экспертов, эти технологии неизбежно изменят характер вооружённой борьбы и проведение военных операций, причём во всех доменах[1], включая и вновь созданные – космический и кибер-домены – при общем усилении кросс-доменных взаимодействий.

ПАНКОВА Людмила Владимировна – доктор экономических наук, заведующая отделом военно-экономических исследований безопасности ЦМБ ИМЭМО РАН. ГУСАРОВА Ольга Владимировна – научный сотрудник отдела военно-экономических исследований безопасности ЦМБ ИМЭМО РАН.

Для России обладание высокими технологиями, расширение доступа к ним исключительно важно не только с точки зрения динамики инновационного развития страны, сокращения разрыва с технологическими лидерами, приобретения новых технологических возможностей (как в гражданской сфере, так и в военной), но и с точки зрения способности дать быстрый и решитель-

[1] Домены – термин, под которым понимаются виды вооружённых сил, всё чаще используется в зарубежной военной литературе и официальных изданиях, хотя доктринально это понятие ещё не определено.

Таблица 1. Финансирование исследований и разработок, 2021 г.

Страна	НИОКР, млрд долл.	НИОКР, % от ВВП	Доля в глобальном ВВП, %	Доля в глобальных НИОКР, %
Китай	621.50	1.98	22.3	25.5
США	598.70	2.88	14.8	24.5
Россия	60.57	1.50	2.8	2.5
Европа	479.3	–	18.5	19.6
РФ/СНГ	63.6	–	3.7	2.6
Азия	1122.4	–	46.0	46.0
Все страны	2440.5	1.70	100.0	100.0

Примечание. Объёмы финансирования НИОКР – по паритету покупательной способности; объём глобального ВВП по данным на 2021 г. – 140484.0 млрд долл.; объём глобальных НИОКР – 2440.5 млрд долл.

Источник: рассчитано и составлено по [3].

ный ответ на новые вызовы и угрозы. Развитие цифровых и других зарождающихся технологий (так называемых "новых традиционных") заставляет думать не только о новых перспективах. Возникают риски появления совершенно иных, чем прежде, угроз, включая, например, кибератаки; возможность несанкционированного воздействия на развивающееся "производство по требованию"[2], на нейробиологические архитектуры; повышение уровня летальности автономных систем вооружений; углубление латентности (скрытности) неправомерного доступа к информационным ресурсам и др.

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ – ГЛАВНЫЙ РЕСУРС ИННОВАЦИОННО-ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

За первые два десятилетия XXI века глобальные ассигнования на исследования и разработки более чем утроились: с 677 млрд долл. до 2.2 трлн долл. (в текущих ценах, за 2000–2019 гг.) [1, с. 2]. При этом более семи десятилетий США благодаря своим значительным инвестициям в исследования и разработки "являлись главной движущей силой их развития и в целом формирования глобального технологического ландшафта" [2, p. 2].

Однако за период 1960–2019 гг. доля США в глобальных расходах на НИОКР сократилась с 69 до 30%, а соответствующая доля американского военного ведомства – с 36 до 3.1% [2, p. 2]. В первую очередь это обусловлено ростом ассигнований на сферу исследований и разработок других стран (причём как со стороны государственных, так и частных структур). Отчасти сыграло свою роль и увеличение вложений в исследования и разработки американского бизнеса и федеральных невоенных организаций. И хотя США по-прежнему лидируют по доле затрат на НИОКР в общемировых расходах (29.9% в 2019 г.) и даже превысили совокупную долю шести стран – Японии (7.9%), Германии (6.7%), Южной Кореи (4.7%), Франции (3.3%), Великобритании (2.6%) и Италии (1.8%) – составившую в 2019 г. 26.0% [2, p. 9], их озабоченность вызывает рост расходов на НИОКР в Китае. В 2019 г. доля КНР в глобальных НИОКР достигла 23.9%, с 2000 г. (4.9%) рост составил практически 5 раз. Данная тенденция продолжается и в новом десятилетии: в 2021 г. доля США в глобальных расходах на НИОКР снизилась на 5.4% (до 24.5%), а доля Китая выросла на 1.6% (до 25.5%) по сравнению с 2019 г. (табл. 1). Уже в 2004 г. расходы Поднебесной на НИОКР превзошли Германию, а в 2009 г. и Японию. В 2021 г. финансовое обеспечение НИОКР в Китае впервые превысило соответствующий показатель США как по абсолютной величине ассигнований, так и по его доле в глобальных расходах на НИОКР. Это неизбежно ведёт к резкому усилению соперничества, что в условиях официально провозглашённой в США в 2018 г. конкуренции великих держав усиливает тенденцию её перехода на стратегический уровень, характеризуется расширением и укреплением взаимовлияния политических, экономических, военных и технологических аспектов (так называемая ПЭВТ-конкуренция).

Следует отметить, что хотя Россия и входит в десятку стран с наибольшими затратами на исследования и разработки, её доля в общих гло-

[2] "Производство по требованию" – новая концепция производства в условиях активизации процессов цифровизации и развития таких технологий, как, например, 3D-печать, лазерная резка и др. Продукция производится лишь в случае необходимости и в требуемом на данный момент количестве (объёме). В зарубежной литературе термин "производство по требованию" ("manufacturing on-demand") уже приобрёл устойчивый характер.

Таблица 2. Рейтинги стран в рамках глобальных индексов (ед.), 2021 г.

Страны	Глобальный инновационный индекс, GII	Глобальный индекс конкурентоспособности, GCI	Индекс сетевой готовности, NRI	Индекс военной мощи, GFP
США	3	10	4	1
Китай	12	16	29	3
Россия	45	45	43	2

Примечание: GII – Global Innovation Index; GCI – Global Competitiveness Index; NRI – Networked Readiness Index, GFP – Global Fire Power.

Составлено по: [5–8].

бальных расходах на эти цели невелика: в 2019 г. она составила, по данным ОЭСР[3], 2.0% (лишь незначительно превысив показатель Италии). Однако в 2021 г. доля РФ в глобальных НИОКР возросла до 2.5% (см. табл. 1). По скорости наращивания расходов на НИОКР за 2000–2019 гг. (более 340%) наша страна оказалась в первой четвёрке после Китая (1406%), Южной Кореи (450%) и Тайваня (более 370%). Данный показатель для США – 144%, Японии – 80% [2, p. 10]. По данным за 2021 г. совокупная доля США и Европы в глобальных НИОКР составила 44.1%, что ниже этого показателя для Азии (46.0%). Больше и доля Азии по сравнению с совокупной долей США и Европы в глобальном валовом продукте: соответственно 46.0% и 33.3%. Столь масштабные сдвиги в финансировании глобальных НИОКР как по объёму, так и по структуре при ускоренном распространении технологий не могли не сказаться на усилении внимания военно-политического руководства США к поддержанию американской концепции технологического и военного превосходства. Это особенно важно иметь в виду на новом этапе технологического развития, учитывая его беспрецедентную динамику и ожидаемые эффекты, сегодня ещё в значительной степени неопределённые.

Показательно, что совокупная доля США и Китая в глобальных исследованиях и разработках в 2021 г. составила 50%. При этом в конце второго десятилетия XXI в. на этих двух гигантов приходилось более половины мировых центров обработки информации, и, например, “94% всего финансирования стартапов в сфере искусственного интеллекта за последнее пятилетие” [4, p. 3]. Однако если принимать во внимание глобальные индексы инновационной деятельности, конкурентоспособности и сетевой готовности, США заметно опережают Китай (табл. 2), то есть финансирование технологий – необходимое, но недостаточное условие реализации инновационно-цифрового сдвига. Ключевой фактор здесь – качественная сторона национальной инновационной системы (НИС) во всех её аспектах – исследовательском, законодательном, подготовки кадров, финансовом.

Кратко отметим основные характеристики американской НИС. Она в определённом смысле уникальна, достаточно сложна и многоструктурна. Её финансовое обеспечение комплементарно: оно осуществляется через Национальный научный фонд, Министерство обороны, Национальное агентство по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), Министерство энергетики, Национальный институт стандартов и технологий и другие ведомства. Особенность механизма американской НИС – плотное взаимодействие всех её субъектов, всех стадий динамично развивающегося и существенно усложнившегося инновационного процесса, а также усиление связей между исполнителями НИОКР и пользователями технологических инноваций, причём как на уровне исследований, так и в разнообразном целевом спектре – коммерциализации научно-технических результатов, поддержке образования, совершенствовании военных технологий и т.д., что наблюдается уже с конца прошлого века. В новом столетии НИС США значительно усилена благодаря развитию различных форм государственно-частного партнёрства, ориентации на освоение технологий двойного назначения, использованию готовой коммерческой продукции прямо “с полки” и расширению союзнических отношений в научно-технической сфере. В последнем случае США не только укрепляют свою научно-технологическую инфраструктуру, но и получают возможность мониторинга и контроля над инновационно-цифровыми потоками своих союзников.

Таким образом, военные технологии создаются в США, как правило, в рамках сетевой структуры знаний, возможностей и кадров, включая академию, университеты, национальные лаборатории и частный сектор, который превращает идеи

[3] Организация экономического сотрудничества и развития – ОЭСР (Organisation for Economic Cooperation and Development – OECD).

в инновации, трансформирует открытия в успешный коммерческий и оборонный продукт. Министерство обороны – одно из крупнейших федеральных ведомств США, поддерживающих НИОКР. Среди более шести десятков его исследовательских центров и лабораторий следует выделить прежде всего Управление перспективных исследований и разработок ДАРПА (DARPA – Defense Advanced Research Project Agency), задача которого – определить перспективные направления разработки военных систем и ускорить их продвижение до стадии демонстрации технологий, чтобы избежать появления технологических сюрпризов. Это особенно важно в условиях стратегической неопределённости и высокой вероятности возникновения асимметричных угроз. Сегодня, в условиях мировой технологической экспансии, подобные организации действуют и в других американских ведомствах (например, в сфере американской разведки было создано управление подобное ДАРПА – IARPA – Intelligence Advanced Research Project Agency), а также создаются в Японии, Великобритании, странах Европы.

Возникает вопрос: каковы стратегические особенности нового этапа инновационно-цифрового развития? Во-первых, это ориентация на инновационно-цифровой прорыв, технологии четвёртой промышленной революции, которые могут привести к беспрецедентным достижениям в области вооружений [9]. Прежде всего речь идёт о таких цифровых технологиях двойного назначения, как искусственный интеллект, большие данные, машинное обучение, автономизация и роботизация, аддитивные технологии, технологии виртуальной и дополненной реальности. Во-вторых, это, конечно же, объявленная Соединёнными Штатами конкуренция великих держав – США, Китая и России, рассматриваемая американским экспертным сообществом как движущая сила международных отношений. В-третьих, наблюдается дисбаланс между индексами глобальной военной мощи и характеристиками качества инновационной системы США, России и Китая (см. табл. 2). В-четвёртых, конвергенция и рекомбинация зарождающихся технологий создаёт не только новые военно-технические возможности и технологические сюрпризы, но и чревата изменениями в относительной мощи государств, государственных и негосударственных акторов; расширяются возможности малых участников геополитического противостояния. Следует отметить, что феномен малых государств, обладающих серьёзными военными возможностями, представляет собой “новое явление, которое будет создавать новые угрозы” [10].

С начала третьего десятилетия XXI в. усиливается внимание к разработке критически важных и зарождающихся технологий (КВЗТ): “Превосходство в области приоритетных технологических направлений означает акцент на приобретение преимуществ на ранних стадиях инновационного цикла, укрепляя тем самым военно-техническое лидерство в долгосрочном плане” [11, с. 10]. В рамках пакета КВЗТ усилия фокусируются на наиболее результативных инвестициях в зарождающиеся, прорывные, открывающие новые возможности технологии. Важнейшими задачами национальных НИС становятся: отслеживание балансов в финансировании науки и технологий, исследований и разработок; совершенствование современных программ приобретения технологий; оценка новых начинаний; разработка концептуальных основ инновационной активности; экспериментирование и повышение боевых возможностей вооружённых сил.

Список зарождающихся технологий в рамках пакета КВЗТ постоянно расширяется. Определяющее место сегодня занимают цифровые технологии, как наиболее экзотический их вид, для которого характерен высокий уровень неопределённости результата использования. Встаёт проблема нахождения баланса между реализацией экзотических, рисковых технологий и прагматичными, хорошо понятыми и отработанными технологическими решениями. Технологии четвёртого промышленного уклада развиваются практически параллельно во многих развитых странах. Анализ соответствующих официальных документов США, России, Китая, а также таких организаций, как НАТО и Европейский Союз, позволил выделить и сопоставить важнейшие акценты в пакетах КВЗТ (табл. 3).

Приведённые в таблице 3 технологии (технологические направления) отражают лишь главные приоритеты цифровой трансформации и не покрывают глобальный трансформационный технологический ландшафт. В большинстве официальных списков КВЗТ (по странам и организациям) выделяется около 20 зарождающихся технологических направлений, а с учётом их членения на отдельные подгруппы – более 100 перспективных технологий. Речь идёт о технологиях виртуальной и дополненной реальности; технологиях беспроводной связи (в частности, 5G); нейротехнологиях; интернете вещей (в том числе военного применения); связи и сетевых технологиях; датчиках и сенсорах; источниках и накопителях энергии [17, с. 20]. В расширенных списках КВЗТ как США, так и России уделяется внимание развитию технологий распределённого реестра (distributed ledger technology), создающих основу нового подхода к созданию баз данных, распределённых между несколькими сетевыми узлами. По мнению ряда экспертов, распределённые реестры (одним из видов которых является блокчейн) – это новая парадигма сбора и передачи информации, концептуальный прорыв в управлении дан-

Таблица 3. Перспективные технологии (технологические направления): основные акценты в официальных документах НАТО, Европейского парламента, США, России и Китая

Технологии	НАТО	ЕС (Европарламент)	США	Китай	Россия
Искусственный интеллект (ИИ)	V	V	V	V	V
Большие данные	V	V	V	V	V
Машинное обучение		V	V	V	V
Квантовые технологии	V		V	V	V
Автономизация и робототехника	V	V	V	V	V
Биотехнология	V	V	V		
Космические средства	V	V	V	V	V
Летальное автономное оружие			V		
Гиперзвук	V		V	V	V
Оружие направленной энергии			V	V	V
Новые материалы и производственные технологии	V		V	V	V
Сенсоры и сетевая сенсорика			V	V	V

Источники: [2, 12–16].

ными. Кроме того, в условиях динамичного развития технологий растущее внимание привлекают перспективы облачных вычислений, которые иногда называют “компьютерными ресурсами по требованию” (on demand computing). Сюда можно добавить и периферийные, или граничные, вычисления (edge computing), представляющие собой важную составляющую распределённых вычислений, осуществляемых в пределах досягаемости конечных устройств. Данный тип вычислений используется для сокращения времени сетевого отклика, а также более эффективного использования пропускной способности сетей. В целом налицо общность основных акцентов в выборе ключевых приоритетов КВЗТ. Однако некоторые отличия всё же имеются. Так, обращает на себя внимание заинтересованность официальных кругов США в создании новых технологий летального автономного оружия (см. табл. 3).

На наш взгляд, важно подчеркнуть, что фундаментальную основу успешного развития и использования зарождающихся технологий составляют два фактора: современная инфраструктура информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) [18, p. 37] и совершенствование технологий микроэлектроники и полупроводников. Внимание к этим двум направлениям в ведущих странах мира резко возросло, предпринимаются усилия по преодолению отставания либо по сохранению достигнутых преимуществ.

В США серьёзно озадачены проблемой развития технологий микроэлектроники и полупроводников. Если в 1990 г. доля США в мировом производстве полупроводников составляла 37%, то в 2020 г. она снизилась до 12% [19]. В то же время отмечается, что полупроводники – основополагающая технология нашего времени, обеспечивающая мощь американской экономики и американских систем оружия [20]. В 2021 г. в США вышел законодательный акт о поддержке полупроводниковой промышленности (CHIPS for America)[4], причём, что очень показательно, в рамках Национального закона в сфере обороны 2021 (National Defense Authorization Act – NDAA, 2021). Подтвердив таким образом важность полупроводниковой промышленности как для гражданской, так и для военной сферы, американский конгресс выдвинул серию программ по содействию исследованиям, разработке и производству полупроводников в стране. НИОКР в области микроэлектроники и полупроводников заняли место среди национальных приоритетов наряду с квантовыми информационными науками и искусственным интеллектом (ИИ) [21].

По мнению ряда экспертов (в частности, компании “Intel”), будущее за развитием кремниевой фотоники как рекомбинации двух групп технологий – электроники и оптики, которая способна принципиально изменить систему передачи дан-

[4] CHIPS – Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors.

ных на расстояниях от миллиметров до тысяч километров. Компания “Intel” занимается разработками в области кремниевой фотоники уже 15 лет и готовится к переходу к следующему этапу – интегрированной фотонике, которая позволит внедрить оптические компоненты непосредственно в чипы.

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ЗАРОЖДАЮЩИХСЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Попытаемся классифицировать технологии в рамках трёх временны́х интервалов (ближнесрочном, среднесрочном и дальнесрочном) и по трём большим группам (рис. 1). Во-первых, это цифровые технологии, относящиеся к четвёртой промышленной революции, о которых говорилось выше[5]. Во-вторых, это “новые традиционные” технологии, которые обогащаются за счёт цифровых технологий. В-третьих, это основанные на синергии технологии, иногда их называют “эффекторными технологиями” [22, p. 28]. Сегодня невозможно с высокой точностью определить, что это будут за технологии, однако их ключевая особенность – способность к формированию новых средств и систем вооружённой борьбы и вероятность появления новых качественных эффектов. Как представляется, только в совокупности перечисленных трёх технологических групп можно выявить инновационно-цифровые технологические тренды и оценить влияние мировой инновационно-цифровой экспансии на методы и средства вооружённой борьбы.

Блок 1. С точки зрения военного эффекта невозможно рассматривать отдельно развитие цифровых и “новых традиционных” технологий, так как их взаимовлияние и соразвитие может стать важным (если не решающим) фактором, воздействующим на средства и методы вооружённой борьбы в период “2035–2040+”.

В рамках трёх очерченных выше групп выделяются отдельные кластеры, объединяющие технологии с высоким уровнем взаимовлияния и соразвития. Так, в группе цифровых технологий можно выделить кластер ключевых цифровых функционалов, включающий технологии искусственного интеллекта, машинное обучение, большие данные и, по нашему мнению, квантовые вычисления, а также космический кластер с широким набором перспективных технологий, по большей части двойного назначения. Часто объединяют в кластеры новые материалы и производственные системы, источники и накопители энергии, перспективную электронику и полупроводники, автономные системы и роботизацию, оружие направленной энергии, летальное автономное оружие и др. Здесь мы более подробно остановимся на кластере ключевых цифровых функционалов, объединение которого с кластером автономных систем и роботизации, по мнению некоторых экспертов, может стать центральным вопросом будущей вероятной войны [23].

Кластерно-таксономический анализ зарождающихся технологических направлений и критически важных технологий в общем пространстве системного подхода и выявления активных синергетических взаимодействий между ними составил основу методологического подхода к изучаемой теме. Это позволяет говорить о следующем поколении технологий и средств вооружённой борьбы в будущем при высокой вероятности вепонизации (милитаризации) КВЗТ и исключительном значении конкуренции в рассматриваемой области, переходящей на стратегический уровень (стратегическая конкуренция). Подтверждается мнение как российских, так и зарубежных экспертов, что в условиях, когда “воздействие техносферы на военно-политическую обстановку, на военную стратегию и способы ведения боевых действий становится всё более многоплановым и многомерным” [24, 25], насыщение средств вооружённой борьбы революционными цифровыми интеллектуальными технологиями в совокупности с ростом разрушительных возможностей вооружений актуализирует анализ и прогноз их влияния на обеспечение международной безопасности, стратегической стабильности и контроля над вооружениями в последующие десятилетия [26, с. 75].

Каковы ожидаемые эффекты от внедрения новых перспективных технологий?

Предсказать такие эффекты в средствах вооружённой борьбы, особенно с учётом их синергетического действия, достаточно сложно, если не невозможно. Они являются функцией многих факторов, включая особенности взаимодействия составляющих конкуренции в области политики, экономики, военного дела и технологий (ПЭВТ-конкуренция). Среди факторов выделяют и такие, как, например, “темпы технологического развития в конкурирующих государствах; способы, которыми зарождающиеся технологии интегрируются в существующие системы вооружений и отражаются в операционных концепциях; взаимодействие между зарождающимися технологиями и степенью, с которой национальная политика и международное право способствуют, запрещают их развитие, интеграцию и использование” [27, p. 26]. Выделим основные направления революционных изменений средств вооружённой борьбы. Сюда следует отнести: улучшенные средства командования и контроля; повышение каче-

[5] Заметим, что информационно-коммуникационные технологии относятся к предыдущему этапу промышленного цикла.

ства и возможностей информационных систем реального времени, ситуационной осведомлённости, логистики благодаря цифровизации поля боя; увеличение скорости принятия решений; рост точности поражающего действия новых средств вооружений. Зарубежные эксперты выделяют и необходимость учёта мультипликаторов силы и концентрации эффектов. Необходимо отметить и воздействие зарождающихся технологий на эффективность, боеготовность, надёжность систем и устойчивость к технологическим шокам. С конца второго десятилетия нынешнего века в рамках проекта Мэйвен (Project Maven) стали говорить о возможности ведения "алгоритмических боевых действий" [24], когда с опорой на системы ИИ скорость боевых действий будет превышать скорость принятия решений человеком.

Среди областей развития средств вооружённой борьбы необходимо обратить внимание на "эффекторные технологии" [22, p. 28]. Они определяются как технологии, которые имеют целью изменить свойства цели и, будучи интегрированными с другими технологиями (такими как сенсоры, перспективные компьютеры и т.д.), формируют/конструируют новые системы оружия. Они могут включать, например, обычные или новейшие взрывчатые вещества и боеголовки следующего поколения, кибер- и электронные средства вооружённой борьбы. Спектр их воздействия простирается от средств радиоэлектронного подавления и дезориентации до оружия направленной энергии, включая лазеры и мощное радиочастотное оружие. Способность этих технологий превосходить противника обеспечивает эффект сдерживания в дополнение к реализации возможности служить важным фактором развёртывания новых современных наступательных и оборонительных вооружений.

В целом сегодня нет ясного детализированного представления о будущем военно-технологическом сдвиге. Иногда представители военных организаций западных стран утверждают, что экзотическое нелетальное оружие способно оказать серьёзное воздействие на развитие средств вооружённой борьбы (например, химическое воздействие на свойства металлов позволяет сделать их более хрупкими). В любом случае очевидно, что в настоящее время активизируется поиск новых инструментов обеспечения перспективных военных возможностей.

Особое внимание американских экспертов вызывают шесть технологий, разрабатываемых США, Китаем и Россией, важных с точки зрения развития средств вооружённой борьбы и требующих, по их мнению, глубокого межстранового сопоставительного анализа. К ним относят: искусственный интеллект, квантовые технологии, автономное летальное оружие, гиперзвуковое оружие, оружие направленной энергии, биотехнологии [27]. Причём две технологии из этого списка – искусственный интеллект и квантовые технологии, относящиеся непосредственно к цифровому формату, – обладают потенциалом для обеспечения национальной безопасности как в ближнесрочной, так и дальнесрочной перспективе, включая сбор и анализ разведывательной информации, логистику, киберкосмические операции. На наш взгляд, в этот первоочередной список приоритетных инновационно-цифровых технологий следует добавить космические технологии.

Блок 2. Особое внимание следует обратить на следующие инновационно-цифровые технологии: искусственный интеллект, квантовые технологии, автономное летальное оружие, гиперзвуковое оружие, оружие направленной энергии, биотехнологии, космические технологии, требующие непрерывного мониторинга, контроля развития и глубокого сопоставительного анализа (в странах-конкурентах).

Активизация развития цифровых технологий относится ко второй половине 2010-х годов, а данные регрессионного анализа [32] и соответствующая статистика свидетельствуют, что вооружения и военная техника будущего закладываются в рамках перспективных НИОКР за 20–25 лет до начала их эксплуатации. Соответственно полноценную интеграцию КВЗТ в перспективные вооружения и военную технику следует ожидать не ранее периода 2035–2040+ (табл. 4), хотя цифровизация инновационной сферы военной экономики и её тесная связь с гражданским сектором будут способствовать непрерывному эволюционному наращиванию боевых возможностей вооружённых сил. Недооценка этого обстоятельства может привести к увеличению межстрановых технологических разрывов, к расширению угроз военной и военно-экономической безопасности и созданию дополнительных рисков в мировой политике.

Десятилетие 2025–2035 гг. можно рассматривать как период экспериментальной отработки и восприятия новых технологических возможностей и идей, радикального пересмотра главных критериев военно-технологической и военно-экономической деятельности. В то же время это период интенсивной подготовки к принятию решений о будущих проектах и программах, причём решений кардинальных, прежде всего с точки зрения международной безопасности и стратегической стабильности.

Таблица 4. Зарождающиеся технологии, их совершенствование, эффект и оборонное воздействие

Наращивание инновационно-цифрового потенциала

Эффект Время реализации	Незначительный/умеренный	Революционный/трудно-определяемый	Ключевые направления оборонного воздействия*
Ближнесрочная перспектива (до 2025 г.)	**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**		
	Базовые цифровые технологии 1 этапа		
	Большие данные Искусственный интеллект Машинное обучение Блокчейны	Автономизация и роботизация Кибертехнологии Облачные и граничные вычисления (edge-computing)	Ускорение разработки и прототипирования средств вооружённой борьбы Дроны нового поколения Летальное автономное оружие Гиперзвуковое оружие: • гиперзвуковые планирующие системы • гиперзвуковые крылатые ракеты Отработка применения нейросетевых технологий в решении задач боевого управления
	НОВЫЕ “ТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ”		
	Информационно-коммуникационные технологии Микроэлектроника и полупроводники Наноматериалы Технология производства водородных топливных элементов Литий-ионные аккумуляторы	Гиперзвуковые технологии Новые технологии наблюдения Системы предупреждения о ракетном нападении (1)	
Среднесрочная перспектива (2025–2035)	**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**		Роботизация поля боя Распространение средств блокировки доступа (A2/AD) Гибридная военно-коммерческая сеть Интеграции ИИ в систему боевого управления Новая экипировка/маскировка в вооружённых силах (включая незаметность) Сверхмалые плазменные двигатели Космические корабли с ядерным тепловым двигателем Оружие направленной энергии: лазеры, высокоэнергетическое микроволновое оружие, пучковое оружие
	Базовые цифровые технологии 2 этапа		
	Датчики и сенсорика Оптимизация платформ Интернет вещей для военной сферы Технологии распределённого реестра Цифровые двойники Малогабаритные ядерные энергетические установки	Квантовые компьютерные технологии Машинное обучение (глубокое) Квантовый ИИ Кибертехнологии Нейроинтерфейсы	
	Совершенствование традиционных систем оружия при активном использовании цифровых технологий Перспективные космические технологии Электрические авиадвигатели Суперконденсаторы	Кремниевая фотоника Импульсное излучение Технология плазменного пиролиза (2) Функциональные материалы Термобарьерные покрытия (с плазменным распылением)	
	ЭФФЕКТОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИНЕРГИЯ)		
	Начало развития		

Таблица 4. Окончание

Дальнесрочная перспектива (2035–2040+)	**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**		Мультидоменные боевые операции Автономизация систем связи и боевого управления Военные нейросети Космические системы: квантовый двигатель, квантовые спутники доступ в космос по требованию, думающие спутники, многоразовые космические буксиры с мегаваттной ядерной силовой установкой Формирование системы ПРО в космосе (в рамках принципиально нового технологического пакета) Алгоритмические боевые действия и др. Формирование новых видов оружия или средств вооружённой борьбы (4)
	Квантовая информатика Аддитивные технологии в производстве и эксплуатации кораблей, спутников и т.д.	Нейроморфный ИИ Нейро- и когнитивные технологии Квантовые генераторы гравитационных волн	
	НОВЫЕ “ТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ”		
	Новые материалы и производственные системы Метаматериалы и метаповерхности Наноэлектроника Технология активной системы управления воздушным потоком (3)	Интегрированная фотоника Технологии нереактивного движения в космосе Электродвигатели в гибридных самолётах будущего Биотехнологии	
	ЭФФЕКТОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИНЕРГИЯ)		
		“Созревание” технологий	

*В широком контексте новых идей, принципов, технологий и средств вооружённой борьбы.
Источники: [22, 28–31].

КЛАСТЕР КЛЮЧЕВЫХ ЦИФРОВЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ

В рамках кластера ключевых цифровых функционалов рассматриваются два основных: искусственный интеллект (во взаимосвязи с большими данными и машинным обучением) и квантовые вычисления и далее квантовый искусственный интеллект. Станут ли эти направления, объединяющие в себе достижения в области нанофотоники, нейро- и когнитивных технологий и т.п., инновационным ядром будущих десятилетий? В любом случае активное развитие ключевых цифровых функционалов – необходимый фактор обеспечения технологической безопасности и независимости.

Искусственный интеллект (ИИ). Значимость развития ИИ, являющегося вершиной цифровой трансформации, трудно переоценить. Однако сейчас практически невозможно просчитать его потенциал, спрогнозировать эффект его использования в сфере безопасности и обороны. ИИ иногда подразделяют на узкий и широкий [27]. В первом случае речь идёт о выполнении специфических задач, на которые был “натренирован” ИИ (эти технологии уже инкорпорированы в ряд вооружений и военной техники в США и в странах-конкурентах), во втором случае – о решении обширного круга задач.

Ожидается, что ИИ, понимаемый как способность машин исполнять задачи, которые обычно требовали человеческого интеллекта, во взаимосвязи с большими данными, технологиями машинного обучения (впоследствии с глубоким обучением) приведут к радикальной трансформации практически всех сфер оборонной деятельности. Эти технологии могут использоваться для проведения оценок и обеспечения рекомендаций по поддержке принятия решений; они имеют исключительное значение для автономных систем, распределения ресурсов, открывают новые пути достижения военных эффектов, которых невоз-

можно добиться в случае применения человекоцентричных систем [22, p. 18].

В развитие ИИ и связанные с ним технологии, которые в силу своего двойного характера могут использоваться в военных целях, много вкладывает коммерческий сектор. Но остаётся открытым вопрос, достаточно ли коммерческих НИОКР в области ИИ, чтобы удовлетворить потребности по противодействию военным вызовам, разработке нишевых алгоритмов и обеспечению высокой манёвренности, гибкости, "оптимизации платформ как пилотируемых, так и непилотируемых, даже несмотря на возраст, платформ" [22, p. 34].

Особое внимание следует уделить американскому проекту "Maven", запущенному в 2017 г. и нацеленному на адаптацию алгоритмов коммерческого ИИ к широкому набору военных функций: обнаружению, классификации, отслеживанию угроз в целях оптимизации принятия решений. Была разработана и меньше чем за год внедрена в боевое управление система использования технологии ИИ на базе нейронных сетей с глубоким обучением. В июне 2018 г. МО США учредило Объединённый центр по искусственному интеллекту (Joint Artificial Intelligence Center – JAIC), чтобы координировать усилия военных в этой области [29]. В феврале 2022 г. МО США планировало учредить новую координационно-командную структуру – Управление цифровых технологий и ИИ, ответственное за усиление и интеграцию больших данных, искусственного интеллекта и цифровых решений в военном департаменте.

Не остаётся в стороне и Китай. В 2017 г. опубликована программа всеобъемлющего развития ИИ, в которой ставится цель к 2030 г. превратить страну в лидера и глобальный инновационный центр в области искусственного интеллекта [18, p. 37].

В России в 2019 г. была утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, в которой определены две реперные точки – 2024 г. и 2030 г. Планируется, что к 2030 г. "Россия ликвидирует отставание в области ИИ и добьётся мирового лидерства в отдельных направлениях, связанных с ИИ" [33]. Как отмечалось на Международном военно-техническом форме "Армия-2019", наиболее перспективные российские направления совершенствования вооружений уже предполагают использование искусственного интеллекта, "который может оперативно помогать военным разбираться в боевой обстановке, приоритезировать цели и угрозы, оценивать вероятность наступления неблагоприятных событий, проводить анализ состояния боевой машины" [34]. Уже в конце 2010-х годов в России наметился переход к разработке второго поколения нейронных сетей для ИИ, которые позволяли бы выполнять задачи не только наблюдения за объектами, но и моделирования их поведения, управления ими и оптимизации принятия решений. По мнению многих экспертов, весьма вероятно, что к 2040–2050-м годам системы ИИ станут одними из наиболее значимых на поле боя, способствуя росту эффективности и точности новых систем вооружения.

Искусственный интеллект – это, безусловно, революция в военном деле; он позволяет применять автономные платформы ведения боевых действий при отсутствии недостатков, присущих человеку, и необходимости использования спутниковых ретрансляторов. Эксперты предсказывают, что с 50-процентной вероятностью можно утверждать, что в период между 2040 и 2050 гг. ИИ будет равен человеческому интеллекту, а к 2070 г. значительно превысит когнитивные возможности человека [35]. Согласно прогнозам ДАРПА, к 2030 г. военное ведомство США с большой вероятностью сможет разработать компьютер, способный к интеллектуальным суждениям при анализе информационных потоков. К 2040 г. возможности искусственного интеллекта приведут к экспоненциальному ускорению технологического развития.

В настоящее время технология ИИ является не вполне "созревшей", но она уже состоялась, хотя и не соответствует пока завышенным ожиданиям. По мнению учёных, для создания полноценного ИИ необходимы квантовые вычисления, за которыми последует создание нейроморфных процессоров, основополагающим компонентом которых станут нейроморфные чипы. Таким образом, речь пойдёт о нейроморфном ИИ, что потребует использования фундаментальных принципов работы естественных нейрокогнитивных систем.

В ближнерочной перспективе, согласно прогнозным данным Международной корпорации данных (International Data Corporation – IDC), к середине текущего десятилетия глобальные ассигнования на развитие систем ИИ резко возрастут: с 85.3 млрд долл. в 2021 г. до 204 млрд долл. в 2025 г. [36].

Квантовые технологии. Глубокое машинное обучение, базирующееся на нейросетях, способствовало квантовому рывку, начавшемуся в 2009 г., пределы его сегодня практически неизвестны. Квантовые компьютеры, способные выполнять сложнейшие вычисления, решать несколько задач параллельно, могут быть эффективны и для ИИ, и для машинного обучения, повысив эффективность обработки больших данных. Оказалось, что именно искусственный интеллект может способствовать реализации потенциала квантовых технологий. Дело в том, что технологии ИИ принципиально устойчивы к главному недостат-

ку квантовых систем – высокой вероятности ошибок. С другой стороны, обучение ИИ требует огромных вычислительных мощностей, а высокая производительность – отличительная способность квантовых компьютеров.

ЕС, США и Китай ускоренными темпами инвестируют в создание квантовых компьютеров. В 2017 г. ЕС принял программу развития квантовых технологий с финансированием в 1 млрд евро. Китай строит Национальную лабораторию по квантовым информационным наукам за 10 млрд долл. США в 2018 г. увеличили расходы на это направление: к ежегодно выделяемым с 2016 г. 200 млн долл. добавили 1.3 млрд долл. на ближайшие пять лет. Частные компании, такие как "Google" и "IBM", вкладывают средства в создание собственных установок и исследовательских групп. Объёмы вложений пока небольшие – они идут на исследования и создание прототипов. Как только будет понятно, как обеспечить стабильную работу квантовых компьютеров, инвестиции в их производство возрастут на порядки.

Эксперты полагают, что обогнать американские компании в создании универсальных квантовых компьютеров никому не удастся. Однако в новом мире может найтись место и для России. Залог тому – отечественный опыт как в создании квантовой техники, так и в программировании систем ИИ, организация в России в конце 2010-х годов "Росатомом" и Российским квантовым центром лаборатории по развитию квантового искусственного интеллекта[6]. "Применение квантовых компьютеров в сфере ИИ открывает уникальные возможности благодаря недостижимой для традиционных вычислительных систем скорости анализа исходных данных и перебора различных взаимозависимостей в поиске закономерностей", – отмечает генеральный директор компании "Цифрум" Б.С. Макевин [37].

Важно учитывать, что все построенные на сегодня в мире квантовые вычислители – это прежде всего экспериментальные системы. Для того чтобы перейти к их практическому использованию, кроме аппаратных средств необходима ещё и программная составляющая: соответствующие алгоритмы, библиотеки, инструментальные средства. По данным международного венчурного фонда "Runa Capital" [38], интерес со стороны подобных структур к области квантовых технологий только начинает набирать обороты: сейчас на мировой арене действуют порядка 250 стартапов в сфере квантовых технологий. Из них 45% находятся в США и Канаде, 30% – в Европе, 10% – в Великобритании, 15% – в других странах, таких как Китай, Чили, Япония, Сингапур, Израиль. Работы сфокусированы на квантовом программировании, квантовой связи и компьютерах на оптике и фотонике.

Интеграция ИИ и квантовых вычислений в системы перспективных вооружений (в том числе основанных на новых физических принципах) в совокупности с системами автономизации и роботизации закладывает основы фундаментального сдвига в системе военно-технического, военно-стратегического и военно-экономического развития.

* * *

Рассмотрение различных аспектов многоплановой, масштабной и многомерной тематики инновационно-цифровой экспансии применительно к вооружённому противостоянию позволит, по нашему мнению, заложить основу дальнейших исследований стратегического эффекта ускоренного развития критически важных и зарождающихся технологий, их воздействия на военно-технологическую мощь и оценку степени готовности России к новым инновационно-цифровым прорывам.

Масштаб и динамизм происходящих изменений в инновационно-цифровой сфере огромен. Сейчас актуальной задачей становится стратегическое предвидение в оценке влияния зарождающихся/разрушающих технологий на формирование перспективных средств вооружённой борьбы, инновационно-цифровых прорывов на важнейшие элементы национальной мощи и международной безопасности. Возрастает актуальность исследований в области технологической безопасности и независимости. Только на этом пути удастся найти ответы на крайне важные вопросы: как не допустить асимметричного военно-технологического превосходства стратегических конкурентов? становится ли инновационно-цифровое развитие инструментом воздействия на военные балансы и стратегии сдерживания? какие системы оружия и технологии необходимо поставить под контроль, особенно в долгосрочной перспективе? должно ли международное сообщество принять на себя ответственность за развитие новых систем оружия, прежде всего летального автономного?

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках проекта "Посткризисное мироустройство: вызовы и технологии, конкуренция и сотрудничество" по гранту Министерства науки и высшего образования РФ на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития (Соглашение № 075-15-2020-783).

[6] Соответствующее соглашение подписано между компанией по цифровизации атомной отрасли "Цифрум" и Российским квантовым центром.

ЛИТЕРАТУРА

1. Global Research and Development Expenditures: Fact Sheet. Congressional Research Service. September 27, 2021. https://sgp.fas.org/crs/misc/R44283.pdf
2. The Global Research and Development Landscape and Implication for the Department of Defense. Congressional Research Service. June 28, 2021. https://sgp.fas.org/crs/natsec/R45403.pdf
3. *Heney P.* Global R&D Funding Forecast released. February 22, 2021. https://www.rdworldonline.com/2021-global-rd-funding-forecast-released/
4. Доклад о цифровой экономике 2021. Международные потоки данных и развитие: кому служат потоки данных. Женева: Конференция Организации Объединённых Наций по торговле и развитию (UNCTAD), 2021. P. 3. https://unctad.org/system/files/official-document/der2021_overview_ru.pdf
5. WIPO. Global Innovation Index 2021: Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis. Geneva: World Intellectual Property Organization. https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021.pdf
6. World Competitiveness Ranking 2021. International Institute for Management Development's (IMD). 17 June 2021. https://www.imd.org/centers/world-competitiveness-center/rankings/world-competitiveness/
7. The Network Readiness Index 2021. Shaping the Global Recovery / S. Dutta and B. Lanvin eds. / Portulans Institute. 2021. https://networkreadinessindex.org/wp-content/uploads/reports/nri_2021.pdf
8. Global Firepower 2021: кто на свете всех сильнее? // Warspot. 02 ноября 2021. https://warspot.ru/20792-global-firepower-2021-kto-na-svete-vseh-silnee?ysclid=l34qxahl2c
9. *Raska M.* Strategic Competition for Emerging Technologies. Comparative Path and Patterns // PRISM. 2020. V. 8. № 3. P. 65–81. https://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/prism/prism_8-3/prism_8-3_Raska_64-81.pdf
10. Charting a course. Strategic Choices for a New Administration / Ed. by R.D. Hooker, Jr. / Washington, D.C.: NDU Press, December 2016. https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/cis/center-for-securities-studies/resources/docs/NDU-charting-a-course.pdf
11. *Панкова Л.В.* "Инновационные рывки" в США: стратегические предпосылки и дивиденды // Вестник московского университета. Серия 25. Международные отношения и мировая политика. 2016. № 3. С. 3–28.
12. *Jankowski D.P.* Russia and the Technological Race in an Era of Great Power Competition. Center for Strategic & International Studies (CSIS). Report. September 2021. https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/210914_Jankowski_URMT2021.pdf?FCiMUQFzXJJJ8_NYJgOlYC8sIf8Rqh_Z
13. Innovative technologies shaping the 2040 battlefield. European Parliamentary Research Service (EPRS), Scientific Foresight Unit. August 2021. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/690038/EPRS_STU(2021)690038_EN.pdf
14. Critical and Emerging Technologies List Update. National Science and Technology Council. Executive Office of the President of the US. P. 2. https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/02/02-2022-Critical-and-Emerging-Technologies-List-Update.pdf
15. Military and Security Developments Involving the People's Republic of China 2021. Annual Report to Congress. Office of the Secretary of Defense. 2021. https://media.defense.gov/2021/Nov/03/2002885874/-1/-1/0/2021-CMPR-FINAL.PDF
16. Цифровая Россия 2024. Как основные технологии изменят жизнь россиян // ТАСС. 24 мая 2019 г. https://tass.ru/nacionalnye-proekty/6469993?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru
17. *Абдрахманова Г.И., Быховский К.Б., Веселитская Н.Н. и др.* Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: докл. к XXII Апрельской междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. М., 13–30 апр. 2021 г. / Науч. ред. Л.М. Гохберг, П.Б. Рудник, К.О. Вишневский, Т.С. Зинина. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. https://conf.hse.ru/mirror/pubs/share/463148459.pdf
18. Frontier Technologies for sustainable development in Asia and the Pacific. United Nations ESCAP (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific). 2018. https://www.unescap.org/sites/default/files/publications/Frontier%20tech%20for%20SDG.pdf
19. CHIPS for America Act & FABS ACT // SIA. Semiconductor Industry Association. https://www.semiconductors.org/chips/
20. *Lewis J.A.* Semiconductor and Modern Defense Spending // CSIS. Sept. 8, 2020. https://www.csis.otg/analysis/semiconductors-and-modern-defense-spending
21. *Thomas W.* FY21 NDAA: Dual-Use Technology Proposals. Publications August 26, 2020. https://www.aip.org/fyi/2020/fy21-ndaa-dualuse-technology-proposals
22. Defence Technology Framework. Defence Science and Technology. UK Ministry of Defence. September 2019. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/830139/20190829-DTF_FINAL.pdf
23. *Telley Ch.* Info Ops Officer Offers Artificial Intelligence Roadmap. Breaking Defense. 2017, July 11. https://breakingdefense.com/2017/07/info-ops-officer-offers-artificial-intelligence-roadmap/?utm_source=hs_email&utm_medium=email&utm_content=54082310&_hsenc=p2ANqtz-8P9FMgC2MF1bCsHoMwJV7ceh1zHbKsFUQN-Lur9IqA4KOqnCJllGgvO_V6akf-BIBZSfLiq2bdJex-q9of1zDcJsXhc0Nw&_hsmi=54082310aspx
24. *Бартош А.А.* Кто, с кем и чем будет воевать в XXI веке // Независимое военное обозрение. 26.08.2021. https://nvo,ng.ru/gpolit/2021-08-26/1_1155_prognosis.html
25. *Yanakiev Y., Vella G.* Special Issue of Defence Technology Foresight // Journal of Defence & Security Technologies (JDST). 2020. V. 3. Is. 1. № 1. P. 1–6. https://www.researchgate.net/profile/Yantsislav-Yanakiev-2/publication/342168494_Issue_on_Defence_Technology_Foresight/links/5f80166d92851c14bcb8fa2b/Issue-on-De-

fence-Technology-Foresight.pdf?origin=publication_detail

26. *Панкова Л.В., Гусарова О.В.* Прорывные технологии и трансформация стратегии сдерживания // Контроль над вооружениями в новых военно-политических и военно-технологических условиях / Отв. ред. А.Г. Арбатов. М.: ИМЭМО РАН, 2020. С. 73–87.
27. Emerging Military Technologies: Background and Issues for Congress. Congressional Research Service. November 10, 2021. https://crsreports.congress.gov/product/details?prodcode=R46458
28. *Пороскоов Н.* Правительство расширило перечень современных технологий // Независимое военное обозрение. 2022. № 4. С. 12–13.
29. Defense Primer: Emerging Technologies. Congressional Research Service. December 21, 2021. https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11105
30. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы). Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 3684-р. http://static.government.ru/media/files/skzO0DEvyFOIBtXobzPA3zTyC71cRAOi.pdf
31. Разящая кинетика, направленное действие, искусственный интеллект (интервью с Ю. Борисовым) // Независимое военное обозрение. 2022. № 13. С. 2.
32. *Bowns S., Gebicke S.* From R&D investment to fighting power, 25 years later // McKinsey on Government. Spring 2010. № 5. P. 70–75. https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/dotcom/client_service/Public%20Sector/PDFS/McK%20on%20Govt/Full%20reports/TG_MoG_Issue5_final.ashx
33. *Маркоткин Н., Черненко Е.* Развитие технологий искусственного интеллекта в России: цели и реальность. 07 июля 2020 г. https://carnegieendowment.org/2020/07/07/ru-pub-82173
34. ИТ в погонах. Информационные технологии на пятом МВТФ “Армия-2019” // Connect-WIT. 04 июля 2019 г. https://www.connect-wit.ru/it-v-pogonah-br-br-informatsionnye-tehnologii-na-pyatom-mvtf-armiya-2019.html?ysclid=l56i77znls199130677
35. *Finlan A.* The shape of warfare to come: a Swedish perspective 2020–2045 // Defense & Security Analysis. 2021. V. 37. Is. 4. P. 472–491. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14751798.2021.1995976
36. Investment in Artificial Intelligence Solutions Will Accelerate as Businesses Seek Insights, Efficiency, and Innovation, According to a New IDC Spending Guide // International Data Corporation (IDC). August 30, 2021. https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS48191221
37. В России создана лаборатория по развитию квантового искусственного интеллекта // CNews. 08 июля 2020 г. https://www.cnews.ru/news/line/2020-07-08_v_rossii_sozdana_laboratoriya
38. Квантовые технологии, искусственный интеллект, блокчейн – за ними будущее инноваций? Runa Capital о квантовых технологиях и их перспективах. 01 декабря 2020 г. https://vc.ru/generations/182687-kvantovye-tehnologii-iskusstvennyy-intellekt-blokcheyn-za-nimi-budushchee-innovaciy

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 10, с. 984–993

ЗА РУБЕЖОМ

НАУЧНАЯ ПОЛИТИКА В КАНАДЕ

© 2022 г. Е. Г. Комкова[a,*]

[a]Институт США и Канады РАН, Москва, Россия

*E-mail: lena.komkova2012@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.07.2021 г.
После доработки 09.03.2022 г.
Принята к публикации 05.06.2022 г.

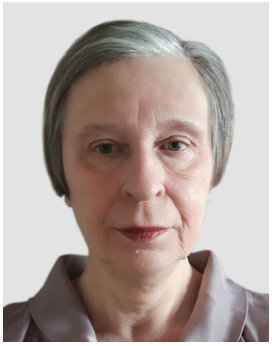
В статье анализируется становление и современное состояние научной политики в Канаде. Внимание к этой теме объясняется тем, что страна – член "Большой семёрки" ведущих промышленно развитых государств, хотя численность её населения составляет всего 0.5%, а ВВП около 2% мирового. По международным меркам Канада не является лидером научно-технического прогресса, её специфика в том, что при сравнительно небольших затратах на НИОКР она занимает передовые позиции по таким показателям, как количество научных публикаций в международных базах данных и число нобелевских лауреатов (только за последние 13 лет ими стали семь канадских учёных). Канадскую принадлежность имеют 3.6% статей, опубликованных в рецензируемых журналах по всему миру. Автор статьи ставит целью проследить эволюцию механизмов государственной поддержки науки в этой стране, обобщить актуальные практики, определить сильные и слабые стороны канадской модели организации науки. Этот опыт может представлять определённый интерес для России.

Ключевые слова: Канада, государственная научная политика, фундаментальная наука, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, организационный механизм управления наукой.

DOI: 10.31857/S0869587322100061

По абсолютным размерам расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) и их доле в ВВП Канада вряд ли может быть причислена к лидерам научно-технического прогресса. Канадская энциклопедия определяет её как страну с "компактной наукой" ("small-science" country) [1], а Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) характеризует как государство со средним уровнем развития НИОКР (medium R&D country) [2].

Как следует из данных ОЭСР, по размеру абсолютных расходов на НИОКР Канада занимает 11-е место в мире, уступая другим странам "Большой семёрки", а также Китаю, Южной Корее, России и Тайваню. Доля расходов на НИОКР в ВВП Канады – 1.59%, что ниже, чем у остальных членов "G7", кроме Италии, и ощутимо меньше, чем в среднем по ОЭСР (2.48%). Более того, в этой группе Канада оказывается единственной страной, чьи расходы на НИОКР в процентах к ВВП с 2000 по 2019 г. не выросли, а снизились (табл. 1).



КОМКОВА Елена Геннадиевна – доктор экономических наук, главный научный сотрудник ИСК РАН.

В самом начале XXI в. положение было иным, и канадские показатели расходов на науку в процентном отношении к ВВП были не намного ниже, чем усреднённые для ОЭСР. Однако последовавшее малое в абсолютном выражении увеличение объёмов таких вложений привёло к нарастающему отставанию: с 2.0% ВВП в 2001 г. доля расходов на НИОКР в Канаде уменьшилась до 1.84% в 2010 г., 1.69% в 2015 г. и 1.59% в 2019 г., что шло вразрез с мировым трендом, в соответствии с которым этот показатель для стран-членов ОЭСР за тот же период увеличился с 2.08% в 2001 г. до 2.48% в 2019 г. Одной из главных причин такого отставания можно считать более сильное и резкое, чем в других развитых странах, падение в ВВП Канады удельного веса обрабатыва-

Таблица 1. Расходы ведущих стран на НИОКР

Страны	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2019 г.	
	% ВВП	% ВВП	% ВВП	% ВВП	млрд долл. США по ППС*	% ВВП
США	2.62	2.52	2.74	2.72	657.4	3.07
Китай	0.90	1.31	1.73	2.06	525.7	2.23
Япония	3.00	3.13	3.25	3.24	173.3	3.20
Германия	2.39	2.44	2.71	2.93	148.1	3.19
Южная Корея	2.18	2.52	3.47	3.98	102.5	4.64
Франция	2.08	2.05	2.18	2.27	73.3	2.20
Великобритания	1.72	1.56	1.69	1.65	56.9	1.76
Россия	1.05	0.99	1.13	1.10	44.5	1.04
Тайвань	1.91	2.33	2.80	3.00	44.0	3.49
Италия	1.01	1.04	1.22	1.34	39.3	1.47
Канада	1.87	1.97	1.84	1.69	30.3	1.59
ОЭСР, всего	2.14	2.11	2.30	2.31	1564.1	2.48

Составлено по [3].

* ППС – паритет покупательной способности валют.

ющей промышленности – главного потребителя результатов НИОКР – после окончания технологического бума конца 1990-х годов.

Сегодняшняя норма для развитых стран – расходы на НИОКР порядка 2.5% ВВП. Столько или чуть меньше тратят Китай, Франция, Нидерланды, Дания, Финляндия, Норвегия, Словения и Исландия. Более "наукоориентированные" и богатые страны, такие как США, Германия, Япония, Бельгия, Австрия, Швеция, Тайвань, тратят на эти цели 3–4% ВВП. Наконец, в качестве лидеров можно выделить Южную Корею и Израиль, у которых доля расходов на НИОКР приближается к 5% ВВП.

По числу исследователей (167.4 тыс. человек) Канада в 2020 г. занимала 11-е место в мире (Россия 397.2 тыс. – 6-е место), по числу персонала, занятого исследованиями и разработками (в эквиваленте полной занятости) – 238.1 тыс. человек – 13-е место (Россия 748.7 тыс. – 4-е место) [4, с. 33]. Но даже с такими относительно скромными показателями канадская наука демонстрирует неплохие результаты.

Всего канадцы получили 28 Нобелевских премий, из них 24 – за научные исследования (8 в области химии, 6 – физики, 6 – физиологии и медицины, 4 – экономики), две по литературе и две премии мира. Для сравнения: из российских/советских учёных, писателей и общественных деятелей этой премии были удостоены 32 человека [5].

По количеству статей в международных научных журналах, опубликованных в 2005–2010 гг., канадские учёные были на 7-м месте в мире; в 2009–2014 гг. опустились на 9-е место, пропустив вперёд Италию и Индию. Их вклад в мировую науку больше всего был заметен в таких дисциплинах, как персонализированная медицина, квантовые информационные вычисления, нейронауки и компьютерные приложения, где на долю канадских исследователей в 2011–2015 гг. пришлось свыше 5% всех опубликованных в мире статей [6, p. 37, 41].

Эти данные соответствуют приводимым в кратком статистическом сборнике "Наука. Технологии. Инновации: 2022" [4]. Согласно им, удельный вес Канады в численности статей в журналах, индексируемых в Web of Science, составил 3.83% (Россия – 2.80%), в Scopus – 3.47 (Россия – 3.14). По числу таких статей в Web of Science канадские учёные в 2020 г. занимали 8-е место в мире, по числу статей в Scopus – 10-е (табл. 2).

Примерно такие же позиции канадские учёные занимают по количеству статей, опубликованных в престижных международных журналах "Nature" и "Science". По результатам за период с 1 декабря 2020 по 30 ноября 2021 г. Index Nature,

Таблица 2. Число статей в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных, по странам, 2010 г. и 2020 г.

Страны	Web of Science			Scopus		
	2010	2020		2010	2020	
	Место	Число	Место	Место	Число	Место
Китай	2	551282	1	2	608290	1
США	1	517024	2	1	489651	2
Великобритания	3	166637	3	3	157709	3
Германия	4	140002	4	4	134599	5
Индия	10	123866	5	7	139593	4
Япония	5	102024	6	5	102894	6
Италия	8	98787	7	9	97477	7
Канада	7	91097	8	8	87242	10
...						
Россия	14	66665	14	15	78999	13

Источник: [4].

Таблица 3. Баланс торговли и доля стран в мировом экспорте фармацевтической, компьютерной и авиакосмической продукции

	Фармацевтическая продукция		Компьютерная, электронная и оптическая продукция		Авиакосмическая продукция	
	Баланс торговли, млрд долл. США	Доля в мировом экспорте, %	Баланс торговли, млрд долл. США	Доля в мировом экспорте, %	Баланс торговли, млрд долл. США	Доля в мировом экспорте, %
Канада	–5.9	1.31	–27.6	0.53	1.2	3.32
США	–67.9	8.84	–212.2	7.29	75.0	31.38
Китай	–11.7	2.67	160.5	26.18	–19.2	1.73
Япония	–20.6	1.01	–9.2	3.44	–6.2	1.76
Россия	–10.1	0.13	–24.5	0.17	–1.2	0.89
ОЭСР	33.5	87.89	–315.6	39.03	114.2	84.12

Источник: [8].

объединяющий показатели обоих журналов, ставит Канаду на 8-е место после США, Китая, Германии, Великобритании, Японии, Франции и Южной Кореи (Россия – на 18-м месте). В разбивке по четырём основным для этих журналов дисциплинам – химии, науках о Земле и окружающей среде, науках о жизни и физике – Канада оказывается, соответственно, на 10-м, 6-м, 7-м и 11-м местах (для сравнения: РФ – на 18-м, 26-м, 27-м и 14-м местах) [7].

Другим общепринятым показателем, свидетельствующем о степени развития науки в стране, считается сальдо баланса внешней торговли наукоёмкой продукцией. ОЭСР традиционно отслеживает положение ведущих стран в международной торговле продукцией фармацевтики, компьютерами, электроникой и оптическими приборами, а также самолётами и другими изделиями авиакосмической промышленности. Положение Канады выглядит неоднозначным: у неё отрицательное сальдо в торговле продукцией фармацевтики (1.3% мирового экспорта), компьютерами, электроникой и оптикой (0.5%), но положительное в торговле авиакосмической продукцией (3.3% мирового экспорта) (табл. 3).

Таблица 4. Матрица расходов на НИОКР в Канаде по источникам финансирования и исполнителям, 2021 г., млн канадских долл. (в скобках – в %)

Источники финансирования	Исполнители					
	Федеральные лаборатории и агентства	Провинциальные лаборатории и агентства	Частные компании	Университеты	Некоммерческие организации	Всего
Федеральное правительство	2450	1	882	3871	30	7234 (18.0)
Провинциальные правительства	0	331	307	1295	46	2001 (5.0)
Частные компании	9	..	16100	1285	7	17417 (43.5)
Университеты	..	..	..	7922	..	7922 (19.8)
Некоммерческие организации	..	..	75	1621	33	1730 (4.3)
Зарубежное финансирование	..	..	3607	146	6	3760 (9.4)
Всего	2459 (6.1)	372 (0.9)	20972 (52.3)	16141 (40.3)	122 (0.3)	40066 (100)

Источник: [9].

ФИНАНСИРОВАНИЕ И ОСВОЕНИЕ СРЕДСТВ НА НИОКР В КАНАДЕ

Таблица 4 даёт представление как об основных источниках финансирования НИОКР, так и о главных исполнителях научных исследований в Канаде. Главные источники финансирования: частный бизнес (43.5% затрат), университеты (19.8%), федеральное правительство (18.0%), зарубежные источники (9.4%), правительства провинций (5.0%) и некоммерческие организации (private non-profit) (4.3%). Основные исполнители НИОКР по сумме освоенных средств: частный бизнес (52.3%), университеты (40.3%), федеральное правительство (6.1%), правительства провинций (0.9%) и некоммерческие организации (0.3%).

Сравнение с другими странами позволяет определить канадскую специфику, которая состоит в завышенной доле университетов в финансировании и исполнении НИОКР при заниженном участии бизнеса. Если в странах, входящих в ОЭСР, затраты частного бизнеса на НИОКР составляют в среднем 63% от совокупных, то в Канаде – немногим более 40% (в РФ – 30%), если в ОЭСР бизнес выступает исполнителем 71% всех НИОКР, то в Канаде – только 51% (РФ – 61%). Напротив, канадские университеты осваивают гораздо бóльшую часть ассигнований на НИОКР, чем в других странах – 41.5%, тогда как в США 12%, России – 11%, Китае – 8%, а в среднем по ОЭСР – 16.5% (табл. 5).

Хотя доля государства (в лице федерального и правительств провинций) в общем объёме финансирования НИОКР в Канаде не так велика, ему принадлежит ведущая роль в выработке национальных научно-технических приоритетов, а применительно собственно к науке – в финансировании фундаментальных исследований. Государство реализует свою роль в стимулировании НИОКР разными путями: выделяет учёным, работающим в университетах и частных лабораториях, прямые ассигнования на проведение исследований, поддерживает промышленные НИОКР косвенными методами за счёт предоставления частным компаниям щедрых налоговых вычетов и льгот [10, с. 49–69], самостоятельно проводит научные исследования в государственных лабораториях и делится их результатами с частным бизнесом и университетами, а также создаёт в стране общую институциональную среду, благоприятствующую развитию науки. Данные о распределении федеральных ассигнований на науку, предоставляемые Статистическим управлением Канады, показывают, что самые большие бюджеты имеют фонды, распределяющие гранты, а также Национальный научно-исследовательский совет Канады. Из ведомств крупными бюджетами

Таблица 5. Исполнители НИОКР в разных странах по ведущим секторам, 2019 г.

Страны	Частные компании		Университеты		Государство		Некоммерческие организации	Все НИОКР
	в % ко всем НИОКР	в % к ВВП	в % ко всем НИОКР	в % к ВВП	в % ко всем НИОКР	в % к ВВП	в % ко всем НИОКР	в % к ВВП
Южная Корея	80.3	3.73	8.3	0.38	10.0	0.46	1.43	4.64
США	73.9	2.27	12.0	0.37	9.9	0.30	4.25	3.07
Франция	65.8	1.44	20.1	0.44	12.4	0.27	1.76	2.20
Норвегия	53.0	1.14	34.3	0.74	12.7	0.27	–	2.15
Канада	50.6	0.81	41.5	0.66	7.5	0.12	0.39	1.59
Россия	60.7	0.63	10.2	0.11	0.29	0.29	0.43	1.04
ОЭСР в среднем	71.2	1.76	16.5	0.41	0.24	0.24	2.48	2.48

Составлено по [8].

на НИОКР располагают Министерство инноваций, науки и экономического развития, Министерство сельского хозяйства, Министерство природных ресурсов, а также Министерство обороны. Из агентств самые “наукоёмкие” – Атомик энерджи ов Кэнада (Atomic Energy of Canada ltd.) и Канадское космическое агентство [11]. В 2020–2021 финансовом году в связи с пандемией COVID-19 более чем на порядок был увеличен бюджет на науку Агентства общественного здравоохранения Канады (Public Health Agency of Canada).

Своими научными бюджетами эти организации распоряжаются по-разному. Большинство заказывает исполнение НИОКР на стороне, другие выступают крупными исполнителями и заказчиками одновременно, а три организации (министерства сельского хозяйства, обороны, Статистическое управление Канады) выполняют все или почти все НИОКР собственными силами.

Говоря о роли государства в формулировании и реализации научной политики, нельзя не сказать, хотя бы кратко, об участии в решении этих задач правительств провинций. Поскольку Канада является федерацией и наука в ней не отнесена конституцией к единоличной компетенции центральной власти, у провинций тоже есть заметная, хотя и не определяющая роль в сфере науки. Они, во-первых, финансируют университеты, в которых осуществляется львиная доля научных исследований. Во-вторых, имеют собственные научные лаборатории как в составе крупных провинциальных министерств, так и в форме независимых агентств и центров исследований. В-третьих, в ряде случаев выступают опытными полигонами для апробации новых инициатив и практик в организации науки, которые в случае успеха воспроизводятся на федеральном уровне. Кроме того, роль провинций заключается в том, чтобы с учётом региональной специфики лучше приспосабливать федеральные программы и стимулы к конкретным потребностям своих регионов.

Провинции в Канаде разнятся между собой в том, как они выстраивают свой научный профиль. Одни из них, например, Квебек, ведут работу по широкому спектру дисциплин и, по существу, воспроизводят на своей территории федеральную политику в миниатюре. Другие предпочитают сужать научный поиск, делая выбор в пользу специализации. Так, Саскачеван, обладающий высокоразвитым сельским хозяйством, ставит задачу занять лидирующие позиции в биологических науках. Нью-Брансуик наметил для себя шесть приоритетных направлений: информационно-коммуникационные технологии, биологические науки, пищевые и лесные товары высокой степени переработки, промышленное производство, включая авиакосмическую и оборонную отрасли. Альберта известна тем, что именно здесь в 1921 г. была создана первая в стране провинциальная научная организация – Научно-исследовательский совет Альберты, который специализировался на разработке технологий добычи природных ресурсов. В настоящее время эта провинция – мировой лидер в технологиях по извлечению нефти из нефтяных песков, она обладает также сильной научно-исследовательской базой в медицинских науках [12, p. 12, 18–23].

ГОСУДАРСТВЕННАЯ НАУЧНАЯ ПОЛИТИКА В КАНАДЕ: ГЕНЕЗИС И СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Развитие научно-исследовательской деятельности в стране породило потребность в координации научных усилий и создании государственной системы управления наукой. Этот процесс начался в 1960-х годах и активно продолжился в следующем десятилетии. Именно тогда здесь, как и в большинстве стран-членов ОЭСР, утвердилось понятие "государственная научная политика". В центре общественных, парламентских и научных дискуссий того времени находились вопросы, касавшиеся предназначения и путей научного поиска в стране. Рассматривались четыре основных подхода.

1. "Чистая" наука, наука ради науки, когда вопросы, что и как изучать, определяют сами учёные.

2. Государственная поддержка научных исследований в зависимости от социальной востребованности и общей полезности предполагаемых открытий.

3. Развитие науки на базе крупных целевых проектов (mission-oriented projects), на которые направляется львиная доля бюджетных ассигнований. (Примеры из истории: канадское участие в годы Второй мировой войны в англо-американском проекте "Манхэттен" по созданию атомной бомбы, послевоенная национальная программа развития атомной энергетики, предполагавшая постройку оригинального канадского реактора "КАНДУ".)

4. Всеобъемлющее научное планирование в соответствии с определяемыми государством национальными целями по примеру тогдашнего СССР.

Канадская энциклопедия утверждает, что вариант с всеобъемлющим научным планированием был признан нереализуемым в условиях рыночной экономики и подходящим только для чрезвычайных обстоятельств, вроде военного положения. Первый и третий подходы тоже не подошли (первый как не соответствующий современному этапу развития, а третий как не получивший последовательного воплощения на практике). Таким образом, основным подходом был выбран второй [1].

Другим важным вопросом, потребовавшим обсуждения, стал механизм осуществления государственной научной политики. Предлагались три варианта.

• Учреждение поста министра по делам науки, который бы отвечал за работу всех государственных научных учреждений и выполнял функции советника при кабинете министров. Этот вариант был отвергнут по причине того, что новая должность предполагала слишком много функций, излишнюю централизацию и забюрократизированность. Против этой идеи выступили канадские учёные, привыкшие к работе в плюралистической среде и не готовые поступиться своей автономией.

• Создание федерального министерства по делам науки и технологий, которое в своей деятельности могло как ограничиваться совещательной функцией при правительстве, так и иметь исполнительные полномочия.

• Формирование правительственного агентства с совещательными функциями.

Именно последний вариант в лице Научного секретариата в составе Управления Тайного совета был первоначально взят на вооружение в Канаде, но от него довольно быстро отказались в пользу учреждения поста профильного министра и/или министерства по делам науки.

Анализируя научную политику Канады последнего времени, можно выделить два несхожих периода: 2006–2015 гг., когда у власти в стране стояли консервативные правительства во главе с премьер-министром С. Харпером, и с 2015 г. по настоящее время, когда у власти стоит Либеральная партия.

Консервативные кабинеты С. Харпера (2006–2015) запомнились откровенно утилитарным подходом к науке при недооценке значения фундаментального знания, ликвидацией в 2008 г. поста национального советника по науке (National Science Advisor), попытками ограничить учёных, занятых в государственных лабораториях, в контактах со СМИ и свободном обмене мнениями и информацией. Эти действия многими были расценены как гонения на фундаментальную науку и вызвали неприятие не только со стороны академического сообщества, но и у солидарных с ним организаций гражданского общества. Кульминацией недовольства стал прошедший в июле 2012 г. на Парламентском холме в Оттаве марш двух тысяч учёных, получивший международную огласку [13].

Просчётами консерваторов не замедлили воспользоваться их извечные соперники – либералы, победившие на всеобщих выборах в 2015 г. и проводящие в отношении науки более цивилизованную и просвещённую политику. В их предвыборной платформе 2015 г. имелся отдельный параграф, в котором содержались обещания "ценить науку и относиться к учёным с уважением", а также учредить в Канаде пост главного уполномоченного (советника) по науке. Последний должен был обеспечить решение трёх взаимосвязанных задач: результаты исследований, проводимых в государственных лабораториях, сделать доступными для общественности; разрешить учёным свободно обсуждать свои проблемы и ре-

зультаты исследований; обеспечить научное обоснование правительственных решений [14].

В 2016 г. либеральным правительством Дж. Трюдо была учреждена независимая комиссия во главе с профессором медицины Д. Нейлором для оценки состояния канадской фундаментальной науки. Спустя год она представила доклад с 35 рекомендациями [6], но надо отметить, что они реализуются крайне медленно. Согласно отчёту неправительственной организации Evidence for Democracy, по состоянию на ноябрь 2021 г. удалось реализовать только 9 рекомендаций, 13 находились в стадии выполнения и 13 не выполнялись [15].

Частичным ответом на доклад Д. Нейлора стали меры поддержки науки, включённые в федеральный бюджет 2018–2019 гг., которые, по утверждению правительственных сайтов, "являются самыми крупными ассигнованиями на развитие фундаментальной науки" за всю историю Канады и предусматривают расходы в размере 2.8 млрд долл. (здесь и далее показатели приведены в национальной валюте) на обновление приборной базы государственных лабораторий.

В бюджете 2021–2022 гг. выделено финансирование на реализацию трёх общенациональных стратегий: искусственного интеллекта (стартовала в 2017 г. и сейчас получила дополнительные 444 млн долл. на 10 лет), квантовую стратегию (360 млн долл. на 7 лет) и стратегию геномики (400 млн долл. на 6 лет). Ещё более крупные расходы запланированы на осуществление энергетического перехода (5 млрд долл. на 7 лет) и на развитие биомедицины и наук о жизни (2.2 млрд на 7 лет) [16].

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ НАУКОЙ

Ключевым федеральным ведомством, ответственным за проведение государственной научной политики и координацию НИОКР в Канаде, является Министерство по делам инноваций, науки и экономического развития – одно из крупнейших министерств федерального уровня. В настоящее время его возглавляют сразу четыре министра, один из которых отвечает за инновации, науку и промышленность, второй курирует международную торговлю, малый бизнес и экономическое развитие, третий – туризм, четвёртый – экономическое развитие сельских районов. Суперминистерство было создано в 2015 г. путём объединения Министерства промышленности с Министерством науки и технологий. Входящее в новую структуру Управление по науке и исследованиям (Science and Research Sector) состоит из четырёх отделов: научной политики; научных программ и партнёрства; инфраструктурного фонда; чистых технологий и "чистого роста".

С 2017 г. в составе министерства действует секретариат главного советника по науке (Chief Science Advisor Office). Формально министру по делам инноваций, науки и экономического развития он не подчиняется и обладает независимостью в суждениях, оценках и рекомендациях. Главный советник ежегодно представляет доклады о положении дел в научной сфере министру и премьер-министру Канады. Секретариат главного советника по науке продвигает такие новые инициативы, как "открытая наука" и политика "научной добросовестности"[1] (scientific integrity policies). Поставлены следующие цели: с 1 января 2022 г. открыть свободный доступ ко всем журнальным статьям, публикуемым учёными, работающими на федеральное правительство, а с 1 января 2023 г. – ко всем другим их публикациям (докладам, выступлениям на конференциях, монографиям и главам в монографиях).

Помимо собственных научно-исследовательских подразделений в зону ответственности Министерства по делам инноваций, науки и экономического развития входят несколько десятков правительственных агентств и организаций, имеющих отдельный бюджет и разную степень автономии. Наиболее важные из них – Национальный научно-исследовательский совет Канады, три фонда, выдающие гранты на научные проекты, Фонд канадских инноваций и Совет канадских академий.

Национальный научно-исследовательский совет Канады (National Research Council), созданный в 1916 г., – одна из самых старых научных организаций страны (старше него только Королевское общество Канады). Первоначально в его состав входили три отдела: физики, химии и биологии, включая медицину. В настоящее время в центре его внимания три приоритета: новейшие технологии (информационно-коммуникационные технологии, методы измерений и стандарты, астрономия и астрофизика, технологии в области безопасности), науки о жизни (развитие водных и растениеводческих ресурсов, терапия здоровья человека и медицинские приборы) и технические науки (авиация и космос, автомобилестроение и наземный транспорт, строительство, горнодобыча, энергетика и охрана окружающей среды, океаническая, прибрежная и речная инженерия). В 2021–2022 финансовом году бюджет Национального научно-исследовательского совета Ка-

[1] Согласно определению правительственного сайта Канады, политика "научной добросовестности" направлена на то, чтобы обеспечить учёным, работающим в государственных лабораториях, права на объективность, открытость, транспарентность и воспроизводимость результатов научных исследований, а также на свободу от политического или коммерческого вмешательства в их деятельность.

нады составил 1276 млн долл., из которых 809 млн он освоил самостоятельно. До недавнего времени эта структура считалась ближайшим аналогом советской/российской Академии наук. Однако в последнее десятилетие различия между ними усиливаются. В результате реформы 2013 г. РАН была лишена собственных научно-исследовательских институтов. В мае того же года Национальный научно-исследовательский совет Канады объявил о том, что начинает переориентироваться с фундаментальных исследований на прикладные исследования и разработки, беря пример с Общества Фраунгофера в Германии.

В Канаде действуют три фонда, выдающие федеральные гранты на проведение научных исследований. Это созданные в 1978 г. Совет по исследованиям в области естественных и технических наук (Natural Sciences and Engineering Research Council), Совет по исследованиям в области общественных и гуманитарных наук (Social Sciences and Humanities Research Council), а также существующие с 1999 г. Национальные институты здоровья (Canadian Institutes of Health Research). В 2021–2022 финансовом году эти фонды выдали гранты более 33 тыс. учёных, а также 40 тыс. студентов и аспирантов на общую сумму 2.4 млрд долл. [17]. В 1997 г. к трём фондам добавился четвёртый – Канадский фонд инноваций (Canada Foundation for Innovation), выделяющий гранты на закупку научного оборудования и реализацию инфраструктурных проектов. В 2017 г. над фондами была возведена “зонтичная структура” в лице Канадского комитета по координации научных исследований (Canada Research Coordinating Committee).

Ещё одна важная организация, прямо не подчиняющаяся Министерству по делам инноваций, науки и экономического развития, но находящаяся с ним в отношениях ассоциированности, – образованный в 2002 г. Совет канадских академий – некоммерческая организация, объединившая под одной крышей Академию медицинских наук (Canadian Academy of Health Sciences), Академию технических наук (Canadian Academy of Engineering) и Королевское общество Канады (Royal Society of Canada). При своём учреждении Совет канадских академий получил от правительства грант в размере 30 млн долл. сроком на десять лет. С тех пор этот срок дважды продлевался: в 2015 г. на следующие пять лет выделялось 15 млн долл., с 2020–2021 финансового года на три года – 9 млн долл. Этими деньгами совет распоряжается самостоятельно при условии ежегодного проведения до пяти научных экспертиз по заданию правительства. Всего с 2002 г. им было выполнено свыше 50 исследований по оценке состояния научно-технического комплекса Канады и выработке рекомендаций как по заказу федерального правительства, так и по собственной инициативе.

Доклады о состоянии НИОКР в стране, периодически публикуемые Советом канадских академий, позволяют проследить смену специализаций канадской науки. В первом докладе, датируемом 2006 г., были определены четыре широких направления, в которых Канада обладала сравнительным преимуществом – природные ресурсы, информационно-коммуникационные технологии, здравоохранение и науки о жизни, охрана окружающей среды [18]. Во втором докладе (2012) приоритетными были названы уже шесть направлений: клиническая медицина, исторические науки, информационно-коммуникационные технологии, физика и астрономия, психология и когнитивные науки, изобразительное и исполнительское искусство [19]. В третьем докладе, подготовленном в 2018 г., к числу наиболее развитых дисциплин были причислены психология и когнитивные науки, здравоохранение и медицинские услуги, философия и теология, науки о Земле и охране окружающей среды, визуальные и исполнительские виды искусства [20].

Знаковым событием стало учреждение в декабре 2021 г. в Палате общин канадского парламента Постоянного комитета по науке и исследованиям (Standing Committee on Science and Research), который должен заниматься вопросами законодательного обеспечения государственной научной политики.

СПЕЦИФИКА КАНАДСКОЙ МОДЕЛИ

Механизм управления наукой в Канаде сходен с действующими в других западных странах, в частности, США [21, 22]. Однако у научно-технического комплекса Канады есть и определённая специфика, которая может быть сведена к следующему.

Канада, не относящаяся к числу великих держав, не ведёт НИОКР по всему спектру научных дисциплин. Для этого ей не хватает финансовых ресурсов, научных школ, высококвалифицированных кадров и международных амбиций. Страна выбирает для себя области специализации, отвечающие возможностям её научно-технической базы и потребностям хозяйства. По прошествии времени и под влиянием обстоятельств области научной специализации Канады меняются.

Канада не осуществляет крупномасштабных исследований в военной сфере. Государство тратит на гражданские НИОКР 97.8% своих расходов на науку, на оборонные исследования – 2.2%. (Для сравнения: в США это соотношение выглядит как 51.9% к 48.1%, в среднем для ОЭСР как 78.8% к 21.2%) [23]. Это объясняется тем, что военно-промышленный комплекс Канады – часть

ВПК США, да и на сами военные производства приходится небольшая часть ВВП страны.

Слабым звеном национального научно-технического комплекса с давних пор считается недостаточное участие бизнеса в финансировании и исполнении НИОКР [24, 25]. Доля частного бизнеса в совокупных затратах на НИОКР в Канаде исторически ниже, чем в среднем по ОЭСР и в большинстве других промышленно развитых стран. Одна из причина этого состоит в том, что в канадской экономике широко представлен иностранный капитал в лице филиалов и дочерних компаний крупнейших американских и других иностранных ТНК, которым в ряде случаев удобнее не вести самостоятельные НИОКР в Канаде, а получать по каналам внутрифирменного обмена результаты исследований, выполненных в стране основного базирования. Что касается национального канадского бизнеса, то он не так часто бывает представлен компаниями крупного размера, а у более распространённого здесь среднего и малого бизнеса может не хватать финансовых и иных ресурсов на весьма затратные НИОКР. В Канаде имеется только одна ТНК (Magna International), которая ежегодно тратит на НИОКР более 1 млн долл., и ещё восемь национальных компаний, чей бюджет на науку составляет от 500 тыс. до 1 млн [26].

Одним из наиболее стабильных элементов научной политики Канады служит конфигурация грантовыдающих фондов. Если в США существует один Национальный научный фонд, то в Канаде на федеральном уровне действуют четыре грантовыдающие организации. Руководство страны опасается их сливать или реформировать, обоснованно полагая, что это может вызвать неудобства для учёных, привыкших к определённым требованиям и процедурам при подаче заявок и сдаче отчётности, которые у каждого фонда свои.

Несмотря на то, что Канада проводит государственную политику в сфере науки с 1960-х годов и накопила в этой области немалый опыт, форма и направления научной политики, равно как и оптимальный набор и состав соответствующих организаций, до сих пор продолжают подвергаться тонкой настройке и изменениям. Говоря об эволюции роли государства в осуществлении НИОКР в последние десятилетия, можно отметить две тенденции: постепенное смещение акцента с фундаментальных на прикладные исследования и разработки, сознательное уменьшение роли государственных лабораторий в НИОКР в пользу передачи заказов внешним исполнителям – прежде всего университетам, а также бизнесу.

* * *

Канадский опыт управления наукой представляет определённый интерес для России в силу наличия нескольких черт сходства. Во-первых, две эти страны тратят на науку в процентах к ВВП меньше средних показателей по ОЭСР, не говоря о странах-лидерах. При этом обе относятся к немногочисленной группе развитых государств, чьи расходы на эти цели в относительном выражении стагнируют в течение последних нескольких десятилетий.

Во-вторых, и в той, и в другой стране слабым звеном научно-технического комплекса является бизнес, который проявляет пассивность и в финансировании, и в освоении средств на НИОКР. Хотя причины такой пассивности различны – в Канаде это засилье иностранного, прежде всего американского капитала, в России – недостаточный уровень конкуренции в промышленности, в обеих странах эта проблема очень плохо поддаётся решению.

В-третьих, обе страны имеют федеративную форму государственного устройства, что делает в целом успешный опыт участия канадских провинций в реализации государственной научной политики заслуживающим внимания и изучения.

Разумеется, не всё из канадского опыта нам подходит. Очевидно, что страна, являющаяся военно-политическим союзником США и находящаяся под прикрытием американского ядерного зонтика, имеет возможность экономить на финансировании военных НИОКР и других военных расходах, чего Россия в нынешнем геополитическом окружении себе позволить не может. Точно так же эффективность канадской науки и высокая цитируемость её результатов серьёзно усиливаются за счёт тесной коллаборации с учёными из других стран, прежде всего лидеров научно-технического прогресса – США, Великобритании, Германии, Франции, а в последнее время – Китая.

Известно, что в своё время Национальный научно-исследовательский совет Канады внимательно изучал теорию и практику функционирования Академии наук СССР. Возможно, сейчас настал наш черёд критически проанализировать содержание и приоритеты научной политики Канады и извлечь что-то полезное для себя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Grove J.W.* Science Policy // The Canadian Encyclopedia. https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/science-policy (дата обращения 05.01.2022).
2. OECD Science, Technology and Industry Outlook 2014. https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-industry-outlook-2014_sti_outlook-2014-en

3. Main Science and Technology Indicators. International Comparisons. OECD. V. 2015. Is. 2; V. 2021. Is. 1. https://doi.org/10.1787/177ef5f5-en
4. Наука. Технологии. Инновации: 2022. Краткий статистический сборник / Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский, М.Н. Коцемир и др. М.: НИУ ВШЭ, 2022. https://issek.hse.ru/news/527997187.html (дата обращения 07.02.2022).
5. List of Nobel laureates by country // Wikipedia. https://en.wikipedia.org (дата обращения 06.06.2022).
6. Investing in Canada's Future. Strengthening the Foundations of Canadian Research. Canada's Fundamental Science Review. 2017. (the Naylor report). https://sciencereview.ca/eic/site/059.nsf/vwapj/ScienceReview_April2017-rv.pdf/$file/ScienceReview_April2017-rv.pdf (дата обращения 27.01.2022).
7. Рассчитано по: www.natureindex.com. (дата обращения 01.03.2022).
8. Main Science and Technology Indicators. International Comparisons. OECD. V. 2021. Is. 1. https://doi.org/10.1787/177ef5f5-en
9. Spending on Research & Development. 2019 (final). 2020 (preliminary) and 2021 (intentions) // The Daily. 14.02.2022; Statistics Canada. Table 27-10-0273-01 Gross Domestic Expenditures on Research and Development. By Science Type and by Funder and Performer Sector. https://doi.org/10.25318/2710027301-eng
10. *Заварухин В.П., Корчмар Л.Л., Рубвальтер Д.А., Руденский О.В.* Механизмы косвенного финансирования инновационной деятельности: налоговые режимы, льготы и кредиты в странах ОЭСР // Информационно-аналитический бюллетень ЦИСН. 2006. № 4. С. 1–107.
11. Statistics Canada. Table 27-10-0026-01 Federal expenditures on science and technology, by major departments and agencies – Intentions. https://doi.org/ (дата обращения 10.02.2022). https://doi.org/10.25318/2710002601-eng
12. Science Policy: Considerations for Subnational Governments. Ottawa (ON): A Workshop Steering Committee Report, Council of Canadian Academies, 2017. https://cca-reports.ca/reports/science-policy-considerations-for-subnational-governments/ (дата обращения 02.02.2022).
13. *Dufour P.* How the Harper Regime Changed the Science Policy Landscape // The Canadian Science Policy Magazine. November 2019. V. 1. P. 16–17. https://cdn.sciencepolicy.ca/wp-content/uploads/2020/10/CSPC_Magazine_2019-Optimized.pdf (дата обращения 20.01.2022).
14. Evidence-based policy // Liberal Platform, 2015. P. 36–37. https://documentcloud.org/documents/2484248-liberal-party-of-canada-2015-platform (дата обращения 10.01.2022).
15. *Baqi U.A., Deith M., Halbe E. et al.* The Fundamental Science Review: Where are we at? Evidence for Democracy. 16.11.2021 https://evidencefordemocracy.ca/sites/default/files/fsr_review_table.pdf (дата обращения 27.02.2022).
16. Budget 2021: Building an Innovation Economy of the Future. Department of Finance. https://www.canada.ca/en/department-finance/news/2021/04/budget-2021-building-an-innovation-economy-of-the-future.html (дата обращения 27.02.2022).
17. Evidence. Standing Committee on Science and Research (SRSR-44-1). Meeting 6. Feb. 17, 2022. https://www.ourcommons.ca/DocumentViewer/en/44-1/SRSR/meeting-6/evidence (дата обращения 02.03.2022).
18. The state of science & technology in Canada. Council of Canadian Academies. Committee on the State of Science & Technology in Canada. 2006. https://cca-reports.ca/reports/the-state-of-science-and-technology-in-canada/ (дата обращения 24.02.2022).
19. The state of science and technology in Canada. The Expert Panel on the State of Science and Technology in Canada. Council of Canadian Academies. 2012. https://cca-reports.ca/reports/the-state-of-science-and-technology-in-canada-2012 (дата обращения 24.01.2022).
20. Competing in a Global Innovation Economy: The Current State of R&D in Canada. Ottawa (ON): Expert Panel on the State of Science and Technology and Industrial Research and Development in Canada, Council of Canadian Academies. 2018. https://cca-reports.ca/reports/competing-in-a-global-innovation-economy/ (дата обращения 24.01.2022).
21. *Rogov S.M.* Russia Must Become a Scientific Superpower // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2010. V. 80. № 4. P. 313–323; *Рогов С.М.* Россия должна стать научной сверхдержавой // Вестник РАН. 2010. № 7. С. 579–590.
22. *Супян В.Б.* Научные исследования в США: финансирование, структура, результаты // Журнал Новой экономической ассоциации. 2019. № 1 (41). С. 201–207.
23. OECD Main Science and Technology Indicators. V. 2021, Is. 1. Table 58, 59. https://doi.org/ (дата обращения 05.03.2022). https://doi.org/10.1787/177ef5f5-en
24. *Алёхин Б.И.* Канада: монополии и научная политика государства. М.: Наука, 1982.
25. *Немова Л.А.* Современный этап развития научно-технического потенциала Канады // США и Канада: экономика, политика, культура. 2003. № 8. С. 3–32.
26. Canada's Top 100 Corporate R&D Spenders 2021. https://researchinfosource.com/top-100-corporate-rd-spenders/2021/list/ (дата обращения 07.02.2022).

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 10, с. 994–1007

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

“ТВОИМ Я БУДУ НАВСЕГДА, МЕНЯ РОДИВШАЯ ЭПОХА”
К 100-ЛЕТИЮ С ДНЯ РОЖДЕНИЯ ЛОГИКА, ФИЛОСОФА, СОЦИОЛОГА А.А. ЗИНОВЬЕВА

© 2022 г. А. А. Гусейнов[a,*]

[a] *Институт философии РАН, Москва, Россия*

**E-mail: guseynovck@mail.ru*

Поступила в редакцию 12.05.2022 г.
После доработки 12.06.2022 г.
Принята к публикации 11.07.2022 г.

В статье представлены этапы биографии и творчества философа, логика, социолога и писателя Александра Александровича Зиновьева. Автор исходит из того, что интеллектуальные (философские, научные и литературные) занятия Зиновьева были непосредственно связаны с его жизнью, выражали и формировали её основное направление, соответствовавшее этапам истории страны. В биографии Зиновьева выделены отдельные отрезки, уделено внимание его роли в антидогматическом повороте отечественной философии, наметившемся в середине 1950-х годов, его участию в создании социологической теории советского общества и критике реального коммунизма, последовавшему изгнанию из страны, его анализу причин разрушения СССР как государства и социальной системы, судьбы России в условиях перехода процессов социального развития с уровня общества на уровень сверхобщества. Поставлен вопрос о том, насколько корректно характеризовать развитие взглядов Зиновьева как переход от критики коммунизма к его апологии. Рассмотрена его жизненная программа автономного личностного развития, обобщённая им понятием “социального индивидуализма”.

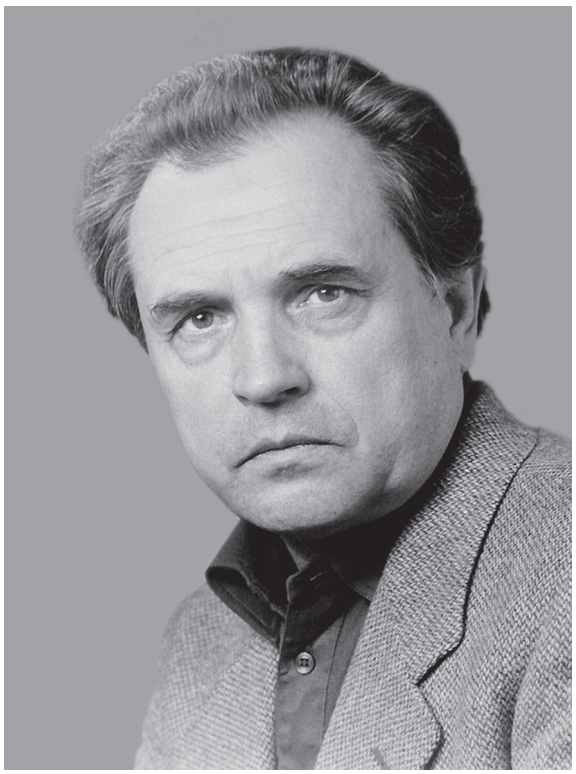
Ключевые слова: Александр Зиновьев, философия, логика, социальный реализм, коммунизм как утопия, коммунизм как реальность, “я есть суверенное государство”, Московский университет, Институт философии АН СССР.

DOI: 10.31857/S086958732210005X

Русский философ, социолог и писатель Александр Александрович Зиновьев родился 29 октября 1922 г., а считанными неделями позднее, 30 декабря того же года на политической карте мира появилось новое государство – Союз Советских Социалистических Республик. Зиновьев как индивид обрёл в этом новом государстве реальную жизненную основу, предопределившую перипетии его судьбы, сформировавшую его как советского человека. Этнолог и историк Лев Гумилёв объяснял истоки своего православия тем, что является материалистом: родившись в православной среде, он, по его мнению, не мог стать иным. Так и Зиновьеву самим бытием было предначертано стать “русским коммунистом”, как он скажет о себе к концу жизни. Новое государство нашло в Зиновьеве не только одного из безвестных сотен миллионов тружеников, ставших его строителями, но и проницательного исследователя, раскрывшего его действительную социальную природу. Обществам, как и отдельным людям, свойственно ошибаться в суждениях о самих себе. Зиновьев же более чем кто-либо иной приблизился к тому, чтобы дать советскому обществу адекватное знание о самом себе, и в этом качестве он стал его вехой.

В жизни Зиновьева можно выделить ряд относительно самостоятельных этапов (стадий). Они различаются между собой не только внешним рисунком (тем, где находился и чем занимался), фактами биографии, но и эволюцией взглядов, изменением (развитием, расширением, уточнением) их содержания, тематических и ценностных акцентов. “Периоды моей личной жизни в самых существенных чертах совпадали с периодами жизни страны”, – говорит Зиновьев, уточняя: они совпадали не в том смысле, что он шагал в общем строю, а лишь в смысле реакции на них и по-

ГУСЕЙНОВ Абдусалам Абдулкеримович – академик РАН, научный руководитель ИФ РАН.



А.А. Зиновьев. Фото 1970-х годов

ведения, изменения “умонастроений и форм борьбы за выживание и сохранение в качестве автономной личности” [1, с. 278].

1922–1939: средняя школа. Первые 17 лет жизни Зиновьева были, видимо, самыми обычными. Он провёл их так же, как и все советские дети, лишь с той особенностью, что принадлежал к их первому поколению, осваивавшему принципы коллективистского воспитания и научного (нерелигиозного) образования. Начальную школу закончил в родной костромской деревне, обнаружив несомненные способности к учёбе и большую тягу к ней, и в 1933 г. семья отправила его учиться в Москву. К этому времени его отец со старшим братом уже обосновались в столице в небольшой комнатушке площадью 2.5 × 4.5 м^2 полуподвального помещения, куда впоследствии переместилась и остальная часть большой крестьянской семьи (из одиннадцати детей Александр был шестым ребёнком), захваченной волной индустриализации. Бытовые условия, в которых Александр пребывал на протяжении последующих шести лет школьной жизни, с фотографической точностью описаны им в книге “Исповедь отщепенца”. Представить, как можно было жить в таких стеснённых условиях, сегодня уже невозможно. В московской школе он также выделялся быстротой и точностью мышления, в особенности математическими способностями, и закончил её с золотым аттестатом (как пишет Зиновьев в своей автобиографии, он любил учиться и, будь такая возможность, всю жизнь ходил бы в учениках).

Школа не только обогатила его ум, она придала ему социальную заострённость. Зиновьев с детства обладал деятельной натурой, любил общаться, быть среди людей, в то же время умел постоять за себя. Живость речи и художественное дарование, в частности способность быстро и в неожиданных ракурсах создавать смешные портреты, привлекали к нему окружающих. Московская школа обеспечила благодатную почву для его активной общественной натуры. Как уже упоминалось, Зиновьев принадлежал к первому поколению молодых людей, выросших при советской власти и осознававших себя строителями новой жизни. Они столкнулись с очевидным расхождением между высокими коммунистическими целями и реальностью, которая сложилась в стране на основе и в ходе их воплощения. В чём причина этого противоречия? – вот вопрос, с которым он входил в сознательную жизнь. Ответ на него не мог быть только теоретическим. Речь шла о более важном: как поступать самому? И Зиновьев ответил личным протестом, первым открытым социальным бунтом, которых у него в жизни будет много. Он со своими разделявшими его недовольство товарищами стал обсуждать возможность совершить покушение на Сталина как на человека, исказившего хорошие идеи. Замысел сорвался после спонтанного выступления Зиновьева, тогда уже студента первого курса философского факультета Московского института философии, литературы и истории им. Н.Г. Чернышевского, на партийно-комсомольском собрании с критикой положения в колхозах, из-за которого он оказался на Лубянке.

1940–1946: Отечественная война. Не по доброй воле, а в силу обстоятельств Зиновьев 29 октября 1940 г., ровно в день своего 18-летия, оказался в Красной армии. Воспользовавшись оплошностью следователей, он убежал и год скрывался, вытолкнутый из нормальной жизни; бегство под прикрытие армии стало для него спасением. Если бы, рассуждал впоследствии Зиновьев об этом отрезке своей жизни, у него имелась цель достичь успехов в науке или искусстве, армейские годы следовало бы считать потраченными впустую. Но он не имел такой, да и вообще какой-то определённой цели. Цели складываются в зависимости от места и обстоятельств, могут меняться, они вторичны по отношению к тому, что впоследствии Зиновьев назовёт направлением жизни. А для выработки такого собственного направления, для понимания общества и собственной роли в нём армейский опыт имеет особую ценность. Армейская жизнь строго регламентируется уставом и построена на отношениях начальствования

и подчинения, она в этом отношении может служить моделью советского общества, своеобразной абстракцией коммунальности вообще. И найти, отстоять себя, свою независимость в этих условиях – настоящий личностный вызов.

Четыре года армейской службы Зиновьева выпали на Великую Отечественную войну против немецко-фашистских захватчиков, которая была не просто войной, а войной не на жизнь, а на смерть: она потребовала предельного напряжения сил от всей страны и бесстрашия от каждого воина. Желая уйти в тень, он оказался в самом центре событий, именно там, где делалась история. Зиновьев служил в кавалерии, танковых войсках и закончил войну боевым лётчиком-штурмовиком. Своё участие в войне он рассматривает как продолжение поиска собственного направления жизни. В довольно подробном описании личного военного опыта он практически не интересуется собственно военным аспектом (перечислением фронтов, на которых находился, описанием боёв, в которых участвовал) и т.п. Война его интересует как социальное и человеческое явление.

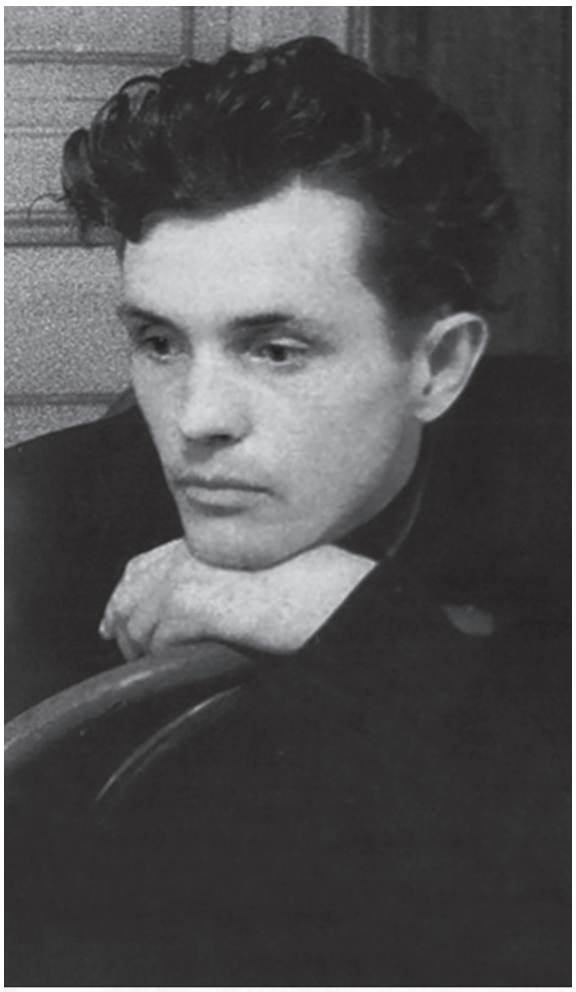
Размышляя о войне, он задумывается прежде всего над источниками нашей победы и приходит к выводу, что это была победа советского строя: без модернизации, технического перевооружения за предыдущие два десятилетия, без культурной революции и без коммунистической идеологии она была бы невозможна. Как часто говорил Зиновьев, войну с фашизмом выиграли десятиклассники, выпускники советских школ тридцатых годов. Большую роль играл, конечно, традиционный патриотизм народа, но сам по себе он не помешал, например, растерянности, массовому бегству, предательству первых месяцев войны. Надо было осмыслить и организовать патриотический порыв, возвысить его в таких ярких предельных образцах, как подвиг Александра Матросова, противопоставить его предателям и трусам, предать последних презрению и расстреливать на месте, надо было связать коммунистические идеи с естественным чувством родины, показать, что “Россия и коммунизм существовали не наряду друг с другом, а в единстве” [1, с. 210]. Словом, мы победили, ибо было за что воевать.

В своих военных воспоминаниях Зиновьев сосредотачивается по преимуществу на будничных, бытовых ситуациях и отношениях людей, его интересует, что и в этих условиях, наряду с проявлениями героизма, также действуют, даже усиливаются мотивы карьеризма, подхалимства, шкурничества, обогащения и другие привычные схемы социального поведения. Война дала новую пищу и направление его социологическим поискам.

1946–1954: Московский университет. Это были годы студенчества и аспирантуры на философском факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Зиновьев со своей непритязательной, живой и деятельной натурой легко вписался в послевоенную атмосферу хаоса с расслабленностью социальных помочей поведения и распущенностью нравов, всеобщим ожиданием настоящей свободной жизни. Ему удавалось сочетать учёбу с работой, чтобы не прибегать ни к чьей материальной помощи. А самое главное, атмосфера оказалась благодатной для его размышлений.

Александр Зиновьев в годы Великой Отечественной войны

Послевоенный хаос во всём, всеобщее ожидание перемен и безудержное пьянство, скрашивающее убожество быта и государственного пресса, развязывали языки и создавали пространство для дружеских компаний, откровенных разговоров, импровизаций, анекдотов, шуток и т.п. Общая атмосфера скрытых надежд, что социализм после того, как он победил в самой страшной войне, наконец-то обнаружит свои преимущества и в мирной жизни, на философском факультете университета привела к недовольству студентов и молодых преподавателей убогим уровнем понимания философии. Толчком стала состоявшаяся на факультете в 1948 г. дискуссия о соотношении формальной и диалектической логики. Зиновьев, будучи студентом третьего курса, оказался в центре



Александр Зиновьев в студенческие годы

начавшегося процесса. Его карикатуры в стенной и университетской газетах, шуточные по форме и разящие по существу определения господствовавших догм сделали его фольклорной фигурой в философской среде (например, мы, поступившие на тот же факультет в 1956 г., наряду с официально заучиваемым ленинским определением материи – “объективная реальность, данная нам в ощущениях”, знали также его зиновьевскую версию, которая дополнялась всего лишь одним словом: “богом”).

Своё отношение к официальной марксистско-ленинской философии Зиновьев формировал одновременно с поиском себя и своего места в жизни; перефразируя строку его любимого поэта Маяковского, можно сказать, что он учил диалектику не только по Гегелю. Уже студентом он начал вырабатывать свой взгляд на марксистскую философию как светскую идеологию (правда, для идеологии слишком усложнённую и рафинированную), претендующую на научный статус. И занялся той частью философии, которая была дальше всего от идеологических искажений, – логикой (в известном смысле в ней он “скрылся” от философии и впоследствии нередко утверждал, что он логик, а не философ).

Он вступил на собственный исследовательский путь, первым итогом которого стала его кандидатская диссертация “Метод восхождения от абстрактного к конкретному (на материале “Капитала” К. Маркса)”. Её защита вылилась в шумное событие философской и общекультурной жизни Москвы, проходила в остром противостоянии молодых сторонников Зиновьева с догматически настроенной профессурой факультета. Хотя решение учёного совета было положительным, его утверждение растянулось на годы, а сама диссертация оказалась фактически выведенной из публичного пользования[1]. Защите диссертации Зиновьева предшествовало бурное обсуждение на факультете тезисов двух молодых преподавателей – Эвальда Ильенкова и Валентина Коровикова о предмете философии[2], и вместе с ней стало поворотной вехой отечественной философии [3, с. 176–195].

Зиновьев вошёл в философию разработкой научного метода мышления. В своей диссертации он провёл логический анализ диалектического метода как общенаучного подхода к предмету в ситуации, при которой экспериментальное исследование заменяется силой абстракции. Это было именно то, что требуется в первую очередь для познания внутренней противоречивости социальной реальности. Он нашёл научно обоснованный подход к тому, до чего доходил интуитивно. Вот сделанное уже много позднее важное его признание на этот счёт: “Меня всегда поражало то, как же хорошо образованные люди, наблюдавшие грандиозные социальные явления и рас-

[1] Диссертация Зиновьева ходила в копиях, составленных учеником и сторонником Зиновьева, впоследствии известным методологом Г.П. Щедровицким, и впервые в форме монографии была опубликована Институтом философии РАН в 2002 г. в качестве подарка к 80-летию автора и вручена ему на торжественном юбилейном приёме, устроенном ректором МГУ им. М.В. Ломоносова академиком РАН В.А. Садовничим.

[2] Тезисы назывались “К вопросу о взаимодействии философии и знаний о природе и обществе в процессе их исторического взаимодействия” и были осуждены решением Учёного совета факультета как попытка ревизовать понятие предмета философии. На обсуждении, по воспоминаниям Щедровицкого, выступил также Зиновьев и, обыгрывая знаменитый тезис Маркса, произнёс фразу, которая также стала знаменитой: “Если бы Маркс был жив, он бы к своим одиннадцати тезисам добавил двенадцатый: раньше буржуазные философы объясняли мир, а советские философы и этого не делают” [2, с. 28].

полагавшие огромным фактическим материалом, ухитрялись делать на этой основе мелкие, поверхностные или заумно-бессмысленные выводы. Я самими обстоятельствами моей жизни и моими взаимоотношениями с моим окружением вынуждался на нечто противоположное этому: на большие и бескомпромиссные чёткие обобщения, основанные на наблюдении сравнительно небольшого числа "мелких" явлений. Со временем я открыл для себя, что с социологической точки зрения именно "мелкие" пустяки являются грандиозными основами исторического процесса, а внеше грандиозные явления суть лишь его поверхностная пена. Положения диалектики об отношении сущности и явления, содержания и формы тут, как нигде, оказались кстати" [1, с. 157].

1955–1976: Институт философии. После такой скандальной защиты Зиновьев не мог получить преподавательского места в университете, хотя заслуживал его по всем параметрам, ибо наряду с творческим исследовательским умом он "прирождённый учитель и воспитатель" [4, с. 50], как сказал о нём его ближайший друг и сам талантливый философ Карл Моисеевич Кантор. К тому же Александр Александрович обладал общительной натурой, уникальной способностью мыслить, разговаривая. Ему удалось зацепиться за место научно-технического сотрудника (машинисткистенографистки) и перейти вскоре на должность младшего научного сотрудника в Институте философии Академии наук СССР, в котором он проработал 21 год и считал время пребывания в этом образцовом советском гадюшнике[3] лучшими годами своей жизни.

В институте первые два года он работал над совершенствованием логической формы диалектического метода в том понимании, которое было дано в его кандидатской диссертации, применив его к анализу советского общества. Видимо, намерение состояло также в том, чтобы актуализировать работу для печати. Текст не прошёл "цензуру" сектора диалектического материализма, а автору был дан совет заняться чистой логикой, исходя, видимо, из того общераспространённого соображения, что общество является предметом исторического материализма. Зиновьев последовал этому совету и занялся логикой, но не для того, чтобы замкнуться в её узких рамках и забросить свой интерес к познанию общественных процессов, а, напротив, как оказалось по факту и, видимо, и по замыслу, с иным намерением: раздвинуть возможности логики и приступить к социальным штудиям с более серьёзной методической основательностью. Он поставил задачу реформировать логику, исходя из того, что её следует рассматривать в единстве с проблемами теории познания и онтологии ("Три ветви старой философии – формальная логика, гносеология и онтология – должны быть слиты в нечто единое при систематическом построении логики в современных условиях науки" [6, с. 14]). Конкретно это означало расширение её предмета "за счёт логической обработки языковых выражений, фигурирующих в языке опытных наук. В частности, это терминология, относящаяся к пространству, времени, эмпирическим связям, изменениям, детерминизму и индетерминизму и т.д. Такая терминология или совсем не определена, или определяется плохо, она многосмысленна, неустойчива, логически не связана в должные комплексы" [7, с. 90].

Свою логику Зиновьев назвал комплексной. Она изложена в его многочисленных монографических трудах 1960-х – начала 1970-х годов, изданных в Москве и за рубежом (преимущественно на английском и немецком языках). Вот некоторые из них: "Философские проблемы многозначной логики" (1960), "Логика высказываний и теория вывода" (1962), "Логическое и физическое следование. Проблемы логики научного познания" (1964), "Логическое следование. Проблемы логики и теории познания" (1968), "Комплексная логика. Неклассическая логика" (1970), "Логическая физика" (1972). Фигура Зиновьева в логике (как, впрочем, и в социологии, которой он займётся вслед за этим, считая логику подготовкой к ней) остаётся спорной, говоря точнее, замалчивается. Вот что об этом сказал его ученик, известный немецкий логик Хорст Вессель, выступая на симпозиуме в честь его 70-летия: "Александр Зиновьев сделал уникальный и неповторимый вклад в развитие науки логики. Его комплексная логика является самой богато разработанной программой логических новаторских исследований. Сегодня наталкивается она на непонимание и препятствование. Думаю, что в ближайшие десятилетия будут делаться многочисленные "открытия" в логике, которые были сделаны Зиновьевым уже в семидесятые годы двадцатого столетия. Этот процесс уже начался, как правило – без ссылок на Зиновьева. Однако историческая справедливость будет восстановлена, и Зиновьев займёт достойное место в истории логики как один из самых значительных логиков двадцатого века" [8, с. 76].

Сформулировав оригинальные логические учения и обнародовав их, создав также свою научную школу, Зиновьев получил признание профессионального сообщества, в том числе международного. Одновременно он достиг потолка формальных ступеней научного карьеры (стал

[3] Институт в целом и в лице основных героев стал прообразом почти толстовского (в двух томах и четырёх частях) романа Зиновьева "Жёлтый дом" [5]. В нём на примере жизни одного учреждения (Главного идеологического института) дана по-настоящему эпическая картина коммунизма, каким он реально сложился и существовал в коллективном опыте советского народа.

доктором наук, профессором, заведующим кафедрой), которых можно было достичь в стране в эти годы (по крайней мере, в области философии), не идя на сделки со своей совестью. Словом, Зиновьев стал узнаваемым публичным лицом, позиция которого имела не только личное значение, что всегда было для него первостепенным делом, но и определённый социальный вес. Это открывало перед ним новые возможности и соблазны: ведь теперь он – не частный индивид, который со своими мыслями о покушении на Сталина, дерзкими стихами и карикатурами в стенных газетах мог затеряться в общей людской массе, он стал к середине 1970-х годов такой фигурой, слова и действия которой уже могли получить большой общественный резонанс.

Институт был для Зиновьева не только местом работы. Подобно всем советским трудовым коллективам, он был, как любили тогда говорить, ещё и вторым домом. Здесь складывались дружеские связи, возникало сложное переплетение деловых и личных отношений, разыгрывались статусные игры, карьерные интриги и т.п., словом, разворачивалась полноценная коммунальная жизнь вокруг и внутри самой трудовой деятельности. К середине 1950-х годов основной вектор общественных изменений и политических страстей в стране определяли процессы, получившие название хрущёвской оттепели. Их суть заключалась в раскрепощении личности и общественной жизни от репрессивных тисков и тотального идеологического контроля сталинского режима. Десталинизация началась подспудно уже после победы в войне, но особенно оживлённо после смерти самого вождя. В обществе нарастало стремление расслабиться. Как отмечает Зиновьев, XX съезд КПСС и разоблачение культа личности Сталина были скорее подведением итогов и официальной легитимацией этого стремления, чем его началом и стимулированием. Придя в Институт философии в конце 1954 г., Зиновьев уже застал группу осознанных антисталинистов, фактически боровшихся против лиц и порядков, препятствовавших развитию философии. Зиновьев присоединился к этим людям и настроениям, значительно усилив их, стал одним из источников, одной из центральных фигур либеральных идей и форм общения в своей среде. Его свободолюбивая натура, привычка к коллективистской жизни и любовь к ней в сочетании с живой остроумной речью, дополненные и усиленные неподдельным научным авторитетом, сделали его любимцем института. О нём говорили, его окружала благоприятная аура, он умудрялся публиковать свои научные труды, имел небольшую группу учеников и широкий круг харизматичных друзей, наконец-то наладил свой быт, получив однокомнатную квартиру и хорошо оплачиваемую должность старшего научного сотрудника. В его жизни произошло ещё одно событие: он женился[4] на молодой красивой сотруднице института Ольге Сорокиной[5]. Словом, Зиновьев был счастлив или близок к тому.

Увы, обстоятельства – и общая обстановка в стране, и собственное положение в профессиональной философской среде – явились новым вызовом Зиновьеву. Общая обстановка характеризовалась поворотом к брежневизму. Его суть заключалась в том, чтобы остановить инерцию хрущёвского потепления и стабилизировать господствующий режим в подмороженном состоянии, позволяющем ему сохранять управляемость и доказывать свои преимущества в условиях мирного сосуществования социализма с капитализмом. А для этого – подтянуть государственную дисциплину и натянуть идеологические вожжи. Процесс этот начался со смещения Хрущёва, точнее даже с самого Хрущёва, его атак на распоясавшихся художников и литераторов, а его поворотным пунктом стал ввод войск стран Варшавского договора в Чехословакию с целью подавить реформы, получившие название “Пражской весны”. Ситуация в профессиональной среде изменилась таким образом, что либеральные философы-шестидесятники в своей борьбе против догматизма, за творческое развитие философии, имея в виду, разумеется, марксистскую философию, достигли определённых успехов: получили известность, возможности публиковать свои труды, претендовать на руководящие позиции и по-

[4] Это был его третий брак. Первый оказался эпизодом фронтовой жизни, в нём у него родился сын Валерий (1944). Вторым стал студенческий брак, в котором у него родилась дочь Тамара (1954), он распался через 10 лет (отчасти, как признавал Зиновьев, по его вине). У него с обоими детьми до конца жизни сохранялись близкие, сердечные и заботливые, отношения.

[5] На этот раз он женился в благостную пору своей трудной жизни, когда, расставшись с прежними брачными узами, лелеял своё одиночество. Как он свидетельствует в “Исповеди отщепенца”, “ложась спать, я повторял многократно слова: “Как хорошо, что я один! Боже, благодарю тебя за то, что я один!” Просыпаясь, я говорил себе те же слова. Я говорил это себе много раз в течение дня. Однако я не устоял, и мы поженились” [1, с. 369]. В новой дружной семье у него родились две дочери: Полина (1971) и Ксения (1990). С новой женой Зиновьев прожил до конца жизни. Она оценила исключительность его ума и характера, масштабность его предназначения, стала его музой как художника и помощницей как писателя. И при этом оказалась хорошей хозяйкой. Она отлично готовила и со вкусом сервировала стол. В дизайне квартир (в частности, тех двух квартир, в которых Зиновьев жил последние шесть лет и я имел счастье бывать, в том числе в профессорском корпусе высотного здания МГУ на Воробьёвых горах) она умела создавать эстетически оформленные автономные пространства, в которых свободно и уютно могли располагаться гости, друзья и близкие семьи, проходить встречи и застолья, приносившие Зиновьеву настоящее наслаждение. Овдовев, Ольга Мироновна Зиновьева сама стала заниматься общественной деятельностью, посвящая свои силы и энергию пропаганде имени гениального мужа [9].

степенно их занимать. Это породило конкуренцию уже среди них.

Положение Зиновьева в изменившихся условиях стало особенно уязвимым. Прежде всего благодаря его очевидным научным успехам в логике, опубликованным книгам и их переводам за рубежом. Кроме того, бытовало мнение, что он ведёт исследования в русле логического позитивизма. Сам же он не хотел развеивать такие представления ясным заявлением, что развивает логику в духе марксистско-ленинской философии, и умудрялся[6] публиковать свои труды без прикрытия общими фразами и натянутыми цитатами из классиков. Ситуация обострилась в 1974 г. после принятия его в действительные члены Финской академии наук. Скрытая зависть и открытые упрёки единомышленников в том, что он "ради дела" не хочет прикрывать свою научную работу камуфляжем марксистских слов и цитат, поставили Зиновьева перед выбором: идти ли своим путём, лавируя между внешними обстоятельствами до тех пор, пока это возможно, или сдаться им, если обойти их становится невозможным; ведь, в конце концов, как говорит русская пословица, плетью обуха не перешибёшь.

1974–1978: изгнание. Зиновьев пишет, что лучшими моментами его жизни были те, когда он "имел возможность проявить свои личные качества очевидным для окружающих образом" [1, с. 321]. Творить милостыню тайно – не для него. Но как же отнестись к тем, кто мешает ему выделиться, завидует успехам, стремится помешать, подставить подножку и т.п.? Он прекрасно знал, что межличностная конкуренция служит цементирующей основой социальности, закономерным выражением общественной природы человека. И никогда враждебным действиям по отношению к себе он не придавал личного характера, за исключением, разумеется, уличных или подобных хулиганских выходок, на которые он мог дать и давал мгновенный и вполне персональный отпор в лучших русских традициях. Например, Зиновьев никогда не отвечал своим газетным и прочим критикам и злопыхателям, хотя, насколько могу судить по личному опыту общения с ним, знал об их существовании. У него по факту жизненного опыта и в качестве осознанной позиции выработался определённый стиль, даже, можно сказать, алгоритм поведения по отношению к своим врагам: "Презирай врагов своих. Делай вид, что они для тебя не существуют. Игнорируй их – они недостойны твоей борьбы с ними. Ни в коем случае не люби их – этого они тем более недостойны. Избегай быть жертвой твоих врагов и избегай того, чтобы они были твоими жертвами. Не персонифицируй своих врагов. Считаешь ли ты комаров и мух, кусающих тебя, врагами?! А гнилостные бактерии и черви?" [1, с. 346]. Это этическое обобщение, сопоставимое по своему значению с евангельской заповедью, аллюзией на которую оно является, получает продолжение в желании изобразить врагов в неприукрашенном виде, отобразив в социологическом зеркале, а тем самым одним ударом дать "им" всем в морду.

Такой удар Зиновьев решил нанести, приступив в 1974 г. к написанию книги о социальной природе советского общества, что всегда было его сокровенным желанием и осознанной целью. Всё складывалось благоприятно для того, чтобы создать свою книгу с большой буквы, исследовав в ней советскую коммунистическую систему. К этому времени он выполнил свою логическую программу и овладел научным методом, необходимым для такого исследования. В этом смысле он не менял предмет научных занятий, а продолжал их. Кроме того, накопленный жизненный опыт провёл его через все круги социального ада и обогатил таким богатством противоречивых наблюдений, которые требовали выхода. Ещё один важный момент состоял в следующем: реальное коммунистическое общество к этому времени прошло пору юности и достигло зрелого состояния (его и стали называть развитым социализмом), раскрыло все свои потенции. И, как он считал тогда, оно пришло на века.

Суммируя состояние предмета, который ему предстояло исследовать, и свои возможности осуществить такое исследование, Зиновьев решил написать книгу в свободной литературной форме. Реальная картина коммунизма должна была быть не только объективной, но ещё и живой, узнаваемой. Так появились "Зияющие высоты" [10], первая книга (роман) в жанре социологического реализма. Для советского общества, изображённого в этой книге, она стала его первым объективным "рентгеновским" снимком, а для автора – силой, поднявшей его на вершину всемирной славы.

Но первым её следствием для Зиновьева явилось то, что она обрекла его на изгнание. Он писал свою книгу тайно, опасаясь бдительных "друзей", быстро, чтобы окружающие не успели догадаться, а настороженные агенты КГБ – помешать. Погрузился в работу самозабвенно, размышляя только о ней, придумав особую архитектонику книги, позволяющую создавать её самостоятельными частями и легко прятать написанное. В начале 1975 г. книга была готова и через

[6] Именно "умудрялся": свою книгу "Философские проблемы многозначной логики" он представил для обсуждения в Институте философии, снабдив цитатами классиков марксизма и марксистских авторов, а, получив необходимые разрешения и улучив благоприятный момент, по пути в издательство подменил текстом той же книги, но уже без этих цитат [1, с. 306]. Кстати, такого рода трюки были вполне типичны для нравов и общей атмосферы того времени.

иностранных друзей переправлена за границу, нашла там своего издателя[7]. Можно представить, чем был для Зиновьева и его жены, поддерживавшей его и активно вовлечённой в эти события, год ожидания выхода книги в свет. Зиновьев понимал, что своей книгой, представляющей собой для реального коммунизма бомбу, подобно той, какой стал “Капитал” Маркса для капитализма, он вступает в прямую схватку с системой, переходит на ты с историей, а намерением опубликовать её на Западе рискует собой и благополучием семьи. Сложность состояла в том, что он, с одной стороны, достиг пика в том направлении и понимании жизни, к которым стремился, а, с другой, обрекал себя на глубокое человеческое одиночество. Издать такую книгу, да на буржуазном Западе означало быть исторгнутым из общества – отправленным в лагеря или высланным из страны. Именно таким окажется выбор, который встанет перед ним через три года.

В 1976 г., когда в Швейцарии уже началась работа над изданием романа, никто, кроме посвящённых, об этом не знал, внешне всё оставалось спокойно. Зиновьев готовился к первому советско-финскому симпозиуму по логике в Хельсинки, на который должна была отправиться большая советская делегация. Накануне отъезда он узнаёт, что ему одному из всех, именно ему, известному логику и члену Финской академии наук, не дают разрешения. Ему и раньше отказывали в заграничных научных поездках, но этот отказ стал демонстративным и наглым оскорблением его научного и гражданского достоинства. Зиновьев не мог такого снести: он встретился с группой западных журналистов и выразил протест по этому поводу. Его заявление было передано по западным радиостанциям, которые к этому времени советская интеллигенция охотно слушала. Уже одним этим действием Зиновьев ставил себя вне норм лояльного советского интеллектуала. Вскоре вслед за этим, а именно 26 августа, западные радиостанции объявили о выходе романа, которого он напряжённо ждал. Теперь всё: Рубикон был перейдён.

Дальше заработал отлаженный для врагов режима репрессивный механизм брежневской эпохи развитого социализма: коллеги осудили, стали сторониться; КГБ взяло под негласный надзор его жизнь; учёный совет института признал его не соответствующим должности и лишил работы; партийная организация исключила из партии; государственные органы лишили званий, наград (в том числе воинских); библиотекам предписали изъять его книги из открытых фондов; жэк снял льготу по квартирной плате, которая полагалась за научную степень; издательствам же и не надо было запрещать печатать, а авторам – цитировать его труды (они догадались и без этого). Словом, с Зиновьевым обошлись по-зиновьевски – в соответствии с законами социальности. Его выключили из социума, из привычных коммунальных форм советской жизни, которые при всей удушающей атмосфере были для него, как и для всех советских людей, источниками существования и защиты, пусть и ограниченными. Оставался только личный круг: семья, личные друзья, некоторые диссиденты, отдельные простые люди. Показательная деталь для понимания личности Зиновьева: в “Исповеди отщепенца”, не персонифицируя общую массу коллег, которые проводили репрессии против него и даже требовали усилить их, он поименно называет тех, кто поддержал, навещал, помогал[8]. Сам же Зиновьев, оставаясь на избранном пути и приноравливаясь к изменившимся обстоятельствам, продолжал литературную работу. Он подготовил и издал в том же швейцарском издательстве роман “Светлое будущее”, в котором прямой критике подвергался лично Брежнев. Этот роман окончательно убедил и эмоционально настроил власти, что остановить Зиновьева, вернуть в русло советской нормальности уже невозможно. Его поставили перед выбором: или тюрьма и ссылка с семьёй, или эмиграция. Так его вынудили покинуть Родину.

1978–1990: эмиграция (первая половина). В августе 1978 г. он с семьёй (женой и дочерью семи лет) прибыл в Федеративную Республику Германию по формальному приглашению Мюнхенского университета. А в сентябре того же года был опубликован указ Президиума Верховного Совета СССР “О лишении гражданства СССР Зиновьева Александра Александровича...”. Как пишет Зиновьев и что подтверждается всей логикой его жизни, предшествовавшей этому событию и последовавшей за ним, он не хотел эмигрировать. Здесь было всё своё, родное: коммунальная среда, которая закалила его и выковала характер, социальный строй, анализ и критика которого стали делом его жизни, народ, которому он принадлежал по высшему из человеческих прав – праву рождения. Да, это была клетка, но его клетка, в которой он научился быть свободным. А чем обернётся для него свободный мир, не задохнётся ли он в этой свободе равнодушия?! Думаю, Зиновьев знал, что ему приклеят ярлык антисоветчика, диссидента, человека, который перешёл в лагерь противника. И именно этого он страшился в первую очередь.

Политика мирного сосуществования капиталистической и социалистической систем была, по сути дела, соглашением двух блоков – НАТО

[7] О том, как писалась книга, о ней самой и, в целом, о литературном творчестве Зиновьева см. [1, с. 98–131].

[8] См. [1, с. 418–435], там же на странице 434, в частности, упоминается, что академик П.Л. Капица передал семье деньги, на которые та жила целый месяц.

во главе с США и Варшавского договора во главе с СССР – о правилах холодной войны. Соглашением о том, что она ведётся без традиционных военных столкновений и вооружённых территориальных захватов, а соблюдение этих условий обеспечивается поддержанием баланса ядерного оружия на уровне возможности гарантированного ответного смертельного удара. Все другие формы взаимодействия, включая и идеологические (конкуренция, борьба, взаимопроникновение, сдерживание, сотрудничество, шпионаж и т.п.), оставались легитимными в пределах международного права и национальных законодательств. Формат холодной войны допускал частные и персональные (родственные, профессиональные, туристические и др.) контакты, возможности которых постепенно расширялись и приобретали относительную самостоятельность и правовую защиту. В этом контексте в СССР возникали такие точки гражданской активности, прежде всего различные формы борьбы за права человека, которые получали поддержку в странах Запада и стали каналом их идеологического влияния на общественное сознание в нашей стране. Так, в частности, сложилась заметная общественная группа граждан, не согласных с официальной коммунистической идеологией и политикой государства и получивших название диссидентов, возникла неподцензурная литература (“самиздат”, “тамиздат”), получили популярность вещающие на страну зарубежные радиостанции. В ходе мирного сосуществования (холодной войны) противоположные социальные системы боролись между собой за доминирование (в перспективе – господство) в глобальном масштабе. Между ними происходили процессы взаимопроникновения, подобные диффузии твёрдых тел, а роль атомов и молекул в них исполняли отдельные индивиды и их маленькие группы. Диссидентская деятельность, в том числе практика издания неподцензурных русскоязычных произведений на Западе, которые потом нелегально ввозились в Советский Союз, была одной из форм проникновения капитализма в коммунистическую систему. Это был путь, проложенный ещё Герценом. В официальной идеологии и обыденном сознании он считался одним из признаков перехода во враждебный лагерь.

Зиновьев сразу по приезде обозначил свою позицию по этому поводу. На вопросы журналистов и собеседников, называвших его жертвой режима и интересовавшихся тем, как он ощущает себя в свободном мире, он отвечал, что не считает себя жертвой (его часто повторяемая формула: “режиму досталось от меня больше, чем мне от режима”) и что он всегда оставался свободным человеком. Он, блестящий знаток многозначной логики, не давал загнать себя в формальную ловушку идеологии холодной войны. Он не считал себя

А.А. Зиновьев. Автопортрет

коммунистом, но также не считал себя и антикоммунистом. Зиновьев многократно публично говорил, что не является диссидентом. Он считал себя исследователем и критиком советского коммунизма и вёл себя так, чтобы оставаться на этих позициях. Для него была совершенно неприемлемой позиция антисоветчика; кстати, именно так клеймили Зиновьева отрекавшиеся от него коллеги и друзья, оправдывая себя тем, что, мол, они знали о его критических настроениях, но не подозревали, что он стал антисоветчиком. Сохранить свою социальную идентичность и свободу неангажированного исследователя стало одной из первых и сознательных забот Зиновьева в эмиграции.

За границей первые два года Зиновьев работал профессором логики Мюнхенского университета, получая твёрдую зарплату, все последующие годы жил частной жизнью, занимаясь литературной и публицистической деятельностью, скромность доходов от которой приходилось компенсировать необычайно интенсивной работой. Быт его по западным стандартам был вполне скромным, а по его привычкам и запросам комфортным. Саму же эмиграцию он рассматривал как наказание, остракизм. Физически находясь на Западе, внутренне, ментально он жил жизнью советской страны. 21 год его пребывания на Западе можно разделить, как минимум, на два периода; второй из них начался с возвращения ему советского гражданства в 1990 г.

В первый период он продолжает и завершает свою аналитику советского социального строя. Создаёт ряд социологических романов и пове-

стей[9], развивая круг идей и образов “Зияющих высот”. Одновременно собирает и систематизирует свои суждения о коммунистическом обществе, разбросанные в литературных произведениях, и издаёт их в традиционной форме научного эссе “Коммунизм как реальность” (1981)[10]. Зиновьев в эти годы также много ездит по миру с лекциями, даёт большое количество интервью, всюду разъясняя свою позицию и своё ви́дение развернувшегося в мире противостояния.

Другой темой, которая занимает его наряду с социологией и даже в противовес социологии, становится мораль. Её он развивает в форме размышления над основным направлением своей собственной жизни, теми ценностями и правилами, которые он сам вырабатывает и культивирует, считая их правильными. Чужеродная социальная среда эмиграции усилила в нём потребность в саморефлексии. Она была ему свойственна всегда и присутствует во всех его литературных произведениях, но в концентрированном виде и в качестве основной задачи он реализует её в поэмах “Мой дом – моя чужбина” (1983), “Евангелие для Ивана” (1984), повестях “Иди на Голгофу” (1985), “Живи” (1988), а также в автобиографическом сочинении “Исповедь отщепенца” (1990). Все знают Зиновьева как философа, учёного-логика, социолога, писателя, поэта, художника. Но часто забывают, что он создал свою собственную этику, которую сам называл “учением о житии” и “зиновьйогой”[11]. Его иногда не без основания называют также великим учителем, проповедником.

Основное направление своей жизни (учения о житии) Зиновьев выразил формулой “Я есть суверенное государство из одного человека”. Парадоксальная сущность этой формулы состоит в соединении двух начал человеческого существования (единичности и всеобщности, чувств и разума, индивидуальности и социальности, эгоизма и альтруизма), которые в рамках предшествующих антропологических учений, как правило, оставались разделёнными и противоречивыми. И не просто в соединении, а в конкретном характере, способе этого соединения, укоренённом в личности: единственности бытия каждого живого существа и его разумности как определяющего начала человеческой формы бытия. Раскрывая суть своей формулы в том виде, в каком он сам воплощал её, Зиновьев называл себя “социальным индивидуалистом”. Уточняя конкретно-исторический характер своего социального индивидуализма, он называл себя утопическим коммунистом, который решился в своей индивидуальной жизнедеятельности воплотить тот высший гуманистический идеал, который в принципе не может быть воплощён в коллективном (общественном, государственном) опыте. В наиболее полной и самой доброжелательной биографии Зиновьева, написанной П.Е. Фокиным, своеобразие его личности связывается с тем, что он был крестьянский сын и мировидение его в своей глубинной основе было крестьянским: “Глубинную основу его личности составляло крестьянское мировидение. Мировидение конкретного, здравомыслящего человека, стоящего лицом к действительности. Её познающего и преобразующего. Противостоящего ей и принимающего её. В полноте и данности её” [15, с. 710]. Признавая, что в этой характеристике подмечено исключительно важное для Зиновьева как мыслителя и человека внимание к точке зрения здравого смысла, и даже не ставя под сомнение выступающее в качестве основного аргумента авторское утверждение, будто “Правда, справедливость – единственный Бог крестьянина” [15, с. 711], хочется тем не менее поставить под сомнение само стремление свести своеобразие личности Зиновьева к некой всеобщей основе. Принцип “Я есть суверенное государство”, если рассматривать его логическую форму, состоит в том, чтобы не подводить жизнь под общее определение, а строить её исходя из единственности данного индивида, развёртывающейся во всеобщее, в данном конкретном зиновьевском случае – в справедливость и правду не в крестьянском, а в идеально-коммунистическом изводе.

1990–1999: эмиграция (путь к возвращению). Зиновьев рассматривал себя, своё творчество в неразрывной связанности с историей, со своим обществом, не с теми или иными лицами, событиями, а именно со временем, с эпохой: “Хочу в ушедшие года. / Пусть будет нестерпимо плохо. /Твоим я буду навсегда, / Меня родившая эпоха” [16, с. 360]. Свою принадлежность эпохе, а более конкретно, стране и народу, он не понимал как свою зависимость от каких бы то ни было представлений о них, кем бы (какими бы то ни было мыслителями или правителями) они ни были высказаны, какими бы авторитетами ни были подкреплены; он понимал её а) как неразрывность и б) как ответственность. Жизнь Зиновьева с его абсолютными амбициями никогда не была лёгкой, она стала настоящей трагедией тогда, когда он (одним из первых, если не первый) увидел, что его эпоха, страна и народ падают в пропасть. Что они влекут туда с собой и его, это было ясно ему априори. И он был готов гибнуть вместе с ними, запеть первым “Врагу не сдаётся наш гордый “Ва-

[9] Здесь прежде всего следует назвать уже упомянутый роман “Жёлтый дом” (1980), повесть “Гомо советикус” (1982) [11], полуавтобиографическую книгу “Сталин – нашей юности полёт” (1983) [12].

[10] Книга “Коммунизм как реальность” [13] в 1982 г. была отмечена престижной премией Алексиса де Токвиля, которая вручается раз в два года за достижения в гуманизме и приверженность гражданским свободам.

[11] Более подробно об этике Зиновьева [14, с. 332–368].

ряг"...". Проблема заключалась в другом: какова его ответственность за начавшееся "социотрясение" (термин социолога Б.А. Грушина) в его стране и как ему воспротивиться начавшемуся краху. Размышления об основном направлении жизни и итоговая их формула о личном суверенном государстве оказались к месту и ко времени. Он понял, что ошибся в своём предположении, согласно которому советский коммунизм пришёл в страну на века. Но это вовсе не отменяет его собственной позиции как идеального коммуниста. Он должен бороться – для него это означало трезво проанализировать и прямо сказать людям, что произошло.

В эти годы наряду с литературными произведениями "Смута" (1992), "Русский эксперимент" (1993) [17], "Глобальный человейник" (1997) он печатает большую серию научных и научно-публицистических трудов: "Кризис коммунизма" (1991), "Гибель империи зла" (1994), "Запад. Феномен западнизма" (1995) [18], "Посткоммунистическая Россия" (1996), "Великий эволюционный перелом" (1999). Уже одни названия, которые у Зиновьева всегда оказываются говорящими, обозначают изменение тематической направленности и идейных акцентов его мыслей и практической позиции. Несколько моментов следует выделить особо.

Во-первых, осознав, что западный блок (НАТО во главе с США) видит в холодной войне именно войну, а себя – победителем, рассматривающим Россию не просто как другую социальную систему, а именно как поверженного врага со всеми для этого статуса последствиями, он решил пристальней присмотреться к Западу. Присмотреться и исследовать, что он собой сегодня представляет и какова мера опасности, которую он несёт России. Опираясь на свои уже накопившиеся к этому времени впечатления, но не ограничиваясь ими, поскольку это – впечатления эмигранта, человека со стороны, а также на большой массив исследовательской литературы, он приходит к выводу, что на Западе сложилась новая социальная система, которую он назвал западнизмом. Западнизм не следует отождествлять с самими западными странами, в которых он получил господство. Это – совершенно новое явление, которое надо рассматривать как сверхобщество, выходящее за национально-государственные рамки, хотя и не отменяющее их.

Во-вторых, западнизм прямо связан с глобализмом. Глобализм является объективным и вполне реальным социальным феноменом, возникающим в условиях новых экономических, технологических, информационных, идеологических и других возможностей. Вместе с тем он возникает на Западе, продвигается им и служит формой его господства в мире, подчинения себе стран и обществ, вовлекаемых в процесс глобализации. Речь идёт о социальном переломе, который позволяет управлять будущим, для чего само будущее глобальное общество должно приобрести безлично-анонимный механический вид. Глобализм реализуется в форме западнизма.

В-третьих, западнизм возник вслед и в ответ на реальный коммунизм, от которого он очень много заимствовал (от планового хозяйства до так называемого тоталитаризма). Реальный коммунизм советского образца был первой формой сверхобщества и представлял собой другую (не-западнистскую) линию эволюционного развития. Столкновение этих двух сверхобществ на почве (в пространстве) глобального доминирования было неизбежным. Победа западнизма не была предопределённой, она обусловлена большим количеством факторов, среди которых критически важную роль играл фактор предательства, не просто личного криминального сотрудничества с врагом из-за личных выгод или даже идейных предпочтений (хотя, разумеется, и это имело значение), а прежде всего предательства исторического, социального, предательства дела лицами и институтами, которые были приставлены для того, чтобы оберегать его. В данном случае Зиновьев имел в виду партийно-государственное руководство, которое поставило под сомнение саму коммунистическую систему и исторический путь советского общества. Его поведение Зиновьев, этот мастер разящих аналогий, сравнивал с тем, как если бы вдруг Папа Римский вышел на площадь Святого Петра и сказал собравшимся католикам, что он и его предшественники обманывали их и на самом деле никакого Бога не существует. По крайней мере, считал Зиновьев, последний этап развала коммунистического лагеря и Советского государства был проведён Западом в режиме спецоперации.

Наконец, в-четвёртых, Зиновьев обозначил новый акцент в своём понимании и практическом отношении к реальному коммунизму. Этот акцент многие из ранее восхищавшихся его творчеством и личностью воспринимают как переход от критики коммунизма к его апологии. Так считают те, кто подходит к оценке Зиновьева чисто идеологически, кто не хочет или не умеет понять точность его рассуждений и изощрённую противоречивость самой социальной организации общества и хода исторического процесса. На самом деле, изменилась не его позиция, а позиция, в которой оказался реальный коммунизм: Зиновьев действовал так же, как действуют дети, исходящие из правила, что лежачего не бьют.

Здесь нет возможности рассмотреть этот вопрос во всех нюансах. Но несколько вещей следует сказать: а) критиковать советский коммунизм – не значит быть против него и желать уничтожить;

б) критиковать Запад и западнизм – не значит считать их плохими, напротив, они исключительны и благодаря своей исключительности достигли уровня, претендующего на то, чтобы господствовать в мире; в) защищать поверженный советский коммунизм – не значит стать его сторонником, для этого достаточно осознавать, что речь идёт о моей стране и моём народе, которые достигли своего наивысшего расцвета именно при этом строе, каким бы плохим он ни был; г) считать победу западнизма в мире катастрофой для всего человечества – не значит думать, будто победа советского коммунизма и его распространение на весь мир были бы лучше. Катастрофой для человечества стало поражение другой эволюционной линии, сама возникшая опасность безальтернативности общественного развития. Можно не соглашаться с этими выводами, но утверждать, что Зиновьев раньше говорил одно, а позднее противоположное – значит, мерить его чужим аршином.

После возвращения советского гражданства Зиновьев с головой погрузился в российские дела. Оставаясь в Мюнхене, он часто стал приезжать в Москву, доводить до читателей свои старые труды и печатать новые, ибо теперь его учение, направленное на критический анализ западнизма, на Западе было уже нежелательно, он установил контакты с силами, оппозиционными режиму Ельцина, сам оставаясь независимым исследователем, активно включился в публицистическую деятельность, которая имела заметный резонанс и влияла на общественное сознание[12]. Он восстановил также свои академические связи, в том числе в философской среде[13], пользуясь пушкинской формулой “не помня зла, за благо воздадим”. Бывшие фронтовики, в том числе Зиновьев, рассказывают, что в безнадёжных ситуациях, подобных тем, которые сложились в начальный период Отечественной войны, нередко спасительными оказывались отчаянные действия, казалось бы, обрекавшие на верную смерть. Именно таким отчаянным бойцом, судя по его поведению, чувствовал себя Зиновьев в этот период.

Поворот, смена его мировоззренческих акцентов начались ещё до Перестройки. В 1984 г., когда Горбачёв в качестве самого молодого члена политбюро посетил Великобританию, явившись Западу, словно невеста на смотрины, Зиновьев обратил внимание на то, что тот, вопреки давно установившейся для коммунистических лидеров традиции, не посетил могилу Карла Маркса. Своим социологическим чутьём он маркировал этот факт как знак начавшейся эпохи предательства. Когда же началась Перестройка, вызвавшая восторг в стране и мире как начало новой эры едва ли не всеобщего братства, нового мышления, и люди в СССР ходили со значками, на которых красовались сплетённые в узел флаги СССР и США, Зиновьев сказал, как отрезал: это – не перестройка, это – катастройка. И нужно было обладать такой силой ума и ещё больше таким мужеством, какими обладал Зиновьев, чтобы сделать столь горький научный прогноз. Одного этого предсказания было бы достаточно, чтобы убедиться в истинности и честности учения о реальном коммунизме, а его автора признать настоящим социологическим гуру. Не знаю, что думали и какие страхи преодолевали люди на Западе, когда они кричали: “Горби, Горби!”, но мы, социально неравнодушные люди, мы все были ослеплены обманчивыми надеждами: одни думали, что идём к подлинному социализму с человеческим лицом, другие, что возвращаемся на магистральную линию развития, с которой сбились то ли при Сталине, то ли ещё в 1917 г. Зиновьев же был предельно трезв и ясен в своих суждениях: да, коммунистическая система столкнулась с первым серьёзным кризисом в своей истории, и его, этот кризис, надо преодолевать своими собственными средствами, на основе тех сил и возможностей, которые заложены в самой системе, а не пересматривать её в желании улучшить. И для ясности приводил аналогию: если вы перестраиваете сарай, то из тех же материалов и теми же силами вы не можете построить ничего иного, чем такой же сарай, но ещё хуже.

К сожалению, всё произошло так, как предсказал Зиновьев. Новый “сарай” оказался хуже: рухнула не только социальная система реального коммунизма, развалилось само государство, которое она держала. Уже не было ничего зиновьевского, ни той эпохи, ни того государства, исследование и критика которых составляли смысл его жизни. Но оставались ещё его страна и народ, брошенные и униженные. И Зиновьев решил вернуться.

[12] Однажды во время наших непредсказуемых прогулок по Москве наш общий друг В.И. Толстых повёл нас к своему соседу известному композитору Т.Н. Хренникову, которого Зиновьев раньше не знал. Хренников, увидев Зиновьева и узнав, что это – он, обнял его как родного человека, и они стояли несколько минут молча, уткнувшись лбами друг в друга, и Хренников стал благодарить Зиновьева за его деятельность, в особенности за вышедшую незадолго перед этим программную статью в газете “Советская Россия”.

[13] Особо следует отметить празднование его юбилея, устроенное в родном Институте философии. Вот как его описывает П.Е. Фокин: “На другой день состоялось его своеобразное примирение с Институтом философии. По инициативе заместителя директора института А.А. Гусейнова, с которым он познакомился в Германии ещё в 1992 г. и которого как-то сразу полюбил, и В.И. Толстых состоялось его чествование в зале учёного совета. Это было символично. Когда-то именно в этом зале решалась его участь советского философа. Но прошлое он всегда оставлял в прошлом. Встреча была живой и неформальной. Он не держал ни на кого зла в душе. Благодарил за внимание. Готов был общаться со всеми, кто этого хотел” [15, с. 644].

1999–2006: последний бой. 30 июня 1999 г. Зиновьев вместе с семьей вернулся домой. И сразу же в Шереметьеве, где, хотя и не было государственной встречи, но тем не менее его приветствовало некоторое количество близких людей, знавших о его прилёте, были журналисты, состоялась импровизированная пресс-конференция. Он отвечал на вопросы, которые сразу же показали, что сам факт его приезда стал политическим событием. Его спрашивали, действительно ли он приехал насовсем и с какой целью, понимает ли он, что для официальной власти он не ко двору. Он отвечал, как всегда, чётко и точно: приехал, чтобы в трудный период быть со своим народом, а не отсиживаться в стороне, приехал насовсем и не для того, чтобы умереть на родной земле, а для того чтобы бороться за неё, приехал не к официальной власти, а в Москву, в Россию.

По приезде он получил должность профессора МГУ им. М.В. Ломоносова, стал сотрудничать с Литературным институтом им. А.М. Горького, Московским гуманитарным университетом, Институтом социально-политических исследований РАН и Институтом философии РАН как реальный работник; включился в интенсивную публицистическую деятельность (отдельные лекции, лектории, интервью, передачи), встречался с партийными лидерами (Г.А. Зюгановым, С.Н. Бабуриным и др.) и активистами оппозиционных партий, принимал участие в работе общественных интеллектуальных центров, выступал на больших и малых форумах (в частности, на философском конгрессе) и др. И, разумеется, продолжилась непрерывная интеллектуальная работа, связанная с изданием своих трудов, а самое главное, с развитием своего учения, в частности, созданием итогового обобщающего всё его творчество и его мировоззрение капитального труда “Фактор понимания” (2006) [19], который он завершил уже находясь во власти смертельной болезни. Все последние шесть лет он вёл необычайно активную и деятельную жизнь, словно желая компенсировать годы эмиграции. Активной и деятельной его жизнь была всегда, но период после возвращения оказался, видимо, одним из самых интенсивных, прошёл на пределе человеческих возможностей. Он жил, что называется, на износ. Эти годы, хотя их полное и точное описание и анализ остаются ещё делом будущего, уже при общем взгляде позволяют увидеть исключительность личности Зиновьева, самую суть того, что он называл своим “социальным индивидуализмом”. Отмечу только несколько необычных моментов.

Зиновьев откликался на все запросы выступить, встретиться, ответить на вопросы и т.д. независимо от того, от кого они исходили. Он был в этом отношении, как сказали бы многие, неразборчив. На самом деле это была сознательная позиция, чтобы добраться до своей аудитории, до тех, кто ищет истину, правду. Он строил непосредственные личные отношения (встречи, контакты, беседы и т.п.) с людьми, независимо от их социального статуса и функции (возглавил комитет в защиту Слободана Милошевича, когда тот оказался в Гаагском суде, послал приветствие отставному Пиночету, с которым, воспользовавшись его пребыванием заграницей, обошлись в нарушение офицерской чести), писал статьи и в газету “Завтра”, и на радио “Свобода”. Он всегда был прям, искренен и простодушен, не тяготился своей известностью и не торговал ею. Исходил из убеждения, согласно которому он отвечает только за то, что говорит и пишет сам. И кроме того, считал, что каждый раз обращается не только лично к тому, кто спрашивает, к своим сторонникам, к аудитории того издания, которое публикует его статью, а одновременно и прежде всего ко всем думающим людям, имеющим голову и совесть, ко всему обществу и своему народу.

В огромном количестве разнообразных публичных зиновьевских текстов последних шести лет, как, впрочем, и в более ранних, нет повторений в обычном смысле слова, их и не может быть, так как они большей частью были устными импровизациями, создавались сразу, набело применительно к тем человеческим и прочим обстоятельствам, в которых возникали. Но в них есть своя внутренняя цельность, сквозь них тянется одна и та же смысловая нить. Зиновьева интересует только одно: каковы социальная природа установившегося в России общества и перспектива его страны и народа в новом раскладе мировых сил и тенденций, а также какие выводы из этого следуют для людей, которые, подобно ему, не мыслят себя без своей страны и своего народа. Собственно, все размышления и практические действия Зиновьева, которые в его случае суть одно и то же, были сосредоточены вокруг этих вопросов. Его ответы, точнее поиски ответов на эти вопросы, сводились к следующим основным положениям.

Сложившееся в России общество он называл постсоветским. Оно является гибридным и сколочено из трёх частей: быстро завезённой западной демократии, не действительной демократии, которой уже и на Западе нет, а её идеологического суррогата; остатков советской системы; вновь реанимируемых имперских элементов. Получившее на первом (ельцинском) этапе господство западного влияния придало обществу характер колониальной демократии. Но этому, каждый на свой манер и во многом противореча друг другу, сопротивляются два других элемента, советский и имперский.

“Метили в коммунизм, попали в Россию”, с горечью отмечал Зиновьев. И попали не случайно. Одним из важных факторов победы комму-

низма в России было то, что этому способствовало само качество человеческого материала в лице русского народа (его коллективная психология, терпеливость, исторически сложившиеся привычки, формы поведения, необычайная талантливость и плохая организованность и т.п.). Поэтому, если даже изначально и не ставилось такой цели, последовательная борьба против коммунизма должна была привести к тому, чтобы лишить русский народ своих исторических амбиций, выбить из глобальной игры. Этот путь от антикоммунизма к русофобии оказался для Запада тем более естественным, что именно при коммунистическом режиме Россия достигла пика своего развития и поднялась до уровня сверхдержавы.

Зиновьев не только анализирует складывающуюся в стране социальную систему, но одновременно выражает свою гражданскую и жизненную позицию, формулируя которую он часто упоминает слова: бороться, сопротивляться, бунтовать. Он подтверждает свою идентичность как русского идеального коммуниста и русского человека, которые в сложившихся обстоятельствах сливаются для него воедино. В условиях очевидного цивилизационного ослабления России основным оружием борьбы для него становится понимание. В ситуации всеобщего вселенского оглупления нужно, как он выражается, “переумнить” Запад. Он не устаёт повторять, что речь идёт о борьбе с западнизмом, но не о вражде с Западной Европой. Он даже допускал, что силы, противостоящие западнизму, созреют скорее всего именно на Западе. В своих последних размышлениях он говорит: “Для моего поколения свет разума приходил именно из Западной Европы и лишь постольку и в той мере, в какой мере он шёл благодаря влиянию западноевропейской цивилизации на Россию. Дефекты Запада мне были всегда видны и известны. Но для меня Западная Европа (Запад в строгом смысле слова!) не сводились к капитализму, к частной собственности, к рынку, к наживе. Это было нечто более обширное и ёмкое, более значительное... Но складывается такое впечатление, что западноевропейская цивилизация почти без боя сдаёт все величайшие завоевания своей цивилизации, подобно тому, как русские позорнейшим образом без единого выстрела сдали все высшие завоевания своей истории” [15, с. 717].

Его итоговая книга “Фактор понимания” заканчивается разделом, посвящённым будущему [19, с. 452–521]. И о будущем была последняя его мысль, согласно которой безнадёжный социальный пессимизм может разрешиться только новым Ренессансом: “Надо начинать с нуля. Начинать с нулевого уровня – с создания нового человека. Человека цивилизованного, человека идеалистического, человека утопического, человека наивного, человека непрактичного, неэгоистичного, нерасчётливого” [15, с. 721] – такого, который скроен по меркам социального индивидуализма Александра Александровича Зиновьева.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зиновьев А.А.* Исповедь отщепенца. М.: Вагриус, 2005.
2. *Щедровицкий Г.П.* Я всегда был идеалистом... М.: Путь, 2001.
3. *Гусейнов А.А.* Философия шестидесятников как общественное явление // Гусейнов А.А. Этика и культура. СПб.: СПбГУП, 2020.
4. *Кантор К.* Тринадцатый апостол. М.: Прогресс-традиция, 2008.
5. *Зиновьев А.А.* Жёлтый дом. L’AGE D’HOMME, 1980.
6. *Зиновьев А.А.* Очерки комплексной логики. М.: Едиториал УРСС, 2000.
7. *Ивин А.А.* Комплексная логика А.А. Зиновьева // Феномен Зиновьева. М.: Современные тетради, 2002.
8. *Вессель Х.* Логические исследования Александра Зиновьева // Феномен Зиновьева. М.: Современные тетради, 2002.
9. *Зиновьева О.М.* Александр Зиновьев: творческий экстаз // Феномен Зиновьева. М.: Современные тетради, 2002.
10. *Зиновьев А.А.* Зияющие высоты. Кн. 1, 2. М.: Независимое изд-во ПИК, 1990.
11. *Зиновьев А.А.* Гомо советикус. М.: Центрполиграф, 2000.
12. *Зиновьев А.А.* Сталин – нашей юности полёт. М.: Алгоритм, 2002.
13. *Зиновьев А.А.* Коммунизм как реальность. М.: Алгоритм, 2021.
14. *Гусейнов А.А.* А.А. Зиновьев: “Я есть суверенное государство” // Гусейнов А.А. Великие моралисты. От Моисея до наших дней. М.: Вече, 2009.
15. *Фокин П.Е.* Александр Зиновьев. Прометей отвергнутый. М.: Молодая Гвардия, 2016.
16. *Зиновьев А.А.* Я, ребята, не поэт // Феномен Зиновьева. М.: Современные тетради, 2002.
17. *Зиновьев А.А.* Русский эксперимент. М.: L’Age d’Homme – Наш дом, 1995.
18. *Зиновьев А.А.* Запад. Феномен западнизма. М.: Центрполиграф, 1995.
19. *Зиновьев А.А.* Фактор понимания. М.: Алгоритм, 2006.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 10, с. 1008–1012

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

ПАТОЛОГОАНАТОМ, ФИЛОСОФ, КЛИНИЦИСТ
К 135-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА АМН СССР И.В. ДАВЫДОВСКОГО

© 2022 г. А. А. Свистунов[a],*, М. А. Осадчук[a],, Е. Д. Миронова[a],*****

[a]*Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия*

**E-mail: svistunov@sechenov.ru*

***E-mail: osadchuk.mikhail@yandex.ru*

****E-mail: yek.mironova1995@yandex.ru*

Поступила в редакцию 01.06.2022 г.
После доработки 15.06.2022 г.
Принята к публикации 30.06.2022 г.

Статья посвящена памяти И.В. Давыдовского – отечественного учёного, изменившего представление о значимости патологической анатомии. Давыдовский развивал данную научную область во многих направлениях, ставил своей целью установить причины развития, течения и исхода заболеваний, разработать новые методы их диагностики и лечения. Научно-практическая деятельность Давыдовского, включая организованные им клинико-анатомические конференции, была направлена на повышение уровня подготовки специалистов-патологов.

Ключевые слова: И.В. Давыдовский, патологическая анатомия, философия медицины, научная биография.

DOI: 10.31857/S0869587322100103

Ипполит Васильевич Давыдовский – выдающийся отечественный учёный, посвятивший свою жизнь изучению патологии организма человека. Одно из наиболее известных его высказываний: “Высокая и всё увеличивающаяся продолжительность жизни людей, сама по себе, увеличивает шансы на заболевание раком” [1]. Давыдовский внёс значительный вклад в развитие отечественной и мировой науки – в изучение не только общепатологических процессов и морфологических изменений, происходящих в организме человека, но и философии медицины. Не одно поколение врачей изучало патологическую анатомию на основе его научных трудов.

Ипполит Васильевич Давыдовский. 1887–1968

СВИСТУНОВ Андрей Алексеевич – член-корреспондент РАН, первый проректор Сеченовского университета. ОСАДЧУК Михаил Алексеевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой поликлинической терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского Сеченовского университета. МИРОНОВА Екатерина Дмитриевна – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры поликлинической терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского Сеченовского университета.

Предшественники И.В. Давыдовского, такие как А.И. Полунин, И.Ф. Клейн, М.Н. Никифоров, обогатили знания о патологической анатомии, определили основные принципы преподавания дисциплины, внедряя методы изучения препаратов на макро- и микроскопическом уровне, расширяя коллекцию гистологических препаратов, заложили основу, демонстрирующую связь между морфологией и клиникой [2]. Сам же Давыдовский был убеждён, что работа патологоанатомической службы должна способствовать повышению квалификации врачей, а прозектор должен иметь обширные клинико-научные знания [3]. Он рассматривал патологическую анатомию как дисциплину, которая позволит ответить на вопросы, касающиеся причин развития, течения и исхода заболеваний [4], что должно способствовать разработке новых подходов и методов диагностики и лечения, а также развитию различных клинических специальностей.

И.В. Давыдовский считается одним из лучших биопсистов XX столетия. Его научные труды заложили основу современной патологической анатомии, а многие введённые им принципы работы до сих пор используются в медицинской практике [5]. Его исследования в области патологической анатомии касаются сыпного тифа, сепсиса, атеросклероза, а также геронтологии [6]. Монографии “Патологическая анатомия и патогенез болезней человека” [7] и “Общая патология человека” [8] долгое время оставались настольными книгами не только патологоанатомов, но и клиницистов, и до сих пор не потеряли своей актуальности.

В руководстве “Патологическая анатомия и патогенез болезней человека” основное внимание уделено сопоставлению патологических процессов, происходящих в организме человека при тех или иных заболеваниях. Основой “Общей патологии человека” стал полный курс лекций И.В. Давыдовского по этой дисциплине, в котором анализировались этиология и патогенез заболеваний, морфологические изменения в тканях, в том числе с точки зрения физиологии и биохимии. В фундаментальных трудах Давыдовского общая патология предстаёт как обширная область медицинских знаний, которая объединяет анатомию, физиологию, биохимию, эмбриологию, микробиологию, иммунологию с клиникой. Именно сопоставление полученных данных с точки зрения фундаментальной науки с результатами клинической практики позволило Давыдовскому выйти за рамки отдельной медицинской специальности и приблизиться к пониманию общебиологических закономерностей.

И.В. Давыдовский отличался новаторским взглядом и на методы преподавания патологической анатомии. Он был убеждён, что изучение этой дисциплины – первый шаг будущего врача к пониманию клинического течения болезни. В 1925 г. он предложил внести изменения в преподавание патологической анатомии, которые в дальнейшем вошли в национальную практику [4, 9]. По его мнению, следует изучать патологическую анатомию по нозологии и ориентироваться на классификацию болезней [10]. Первый курс лекций частной анатомии по нозологическому принципу на кафедре А.И. Абрикосова был прочитан именно Давыдовским [9]. Позднее он первым предложил сличать клинический и патологоанатомический диагнозы [3]. Этот принцип был включён в медицинскую практику в 1926–1929 гг. С этого момента во всех больницах страны стали обязательными исследование всех материалов, удаляемых при хирургических вмешательствах, использование единой формы прозекторского отчёта при вскрытии трупов, применение общеупотребимых нормативных документов, проведение клинико-анатомических конференций. Были введены в научный оборот такие понятия, как “основное заболевание”, “осложнения” и “сопутствующие заболевания” [3, 10].

И.В. Давыдовский приложил много усилий, чтобы повысить уровень подготовки как практикующих специалистов, так и будущих врачей. В 1930 г. в Яузской городской больнице Москвы, где учёный работал до конца жизни, он провёл первую клинико-анатомическую конференцию [3]. Конференции Давыдовского способствовали становлению современного понимания клинических и патоморфологических процессов, происходящих в организме человека, поскольку позволяли объединить практическую и теоретическую составляющие медицины [4].

Нельзя не сказать несколько слов о Давыдовском как о выдающемся преподавателе. С 1930 г. он являлся заведующим кафедрой патологической анатомии лечебного факультета 2-го Московского медицинского института, которую возглавлял до конца жизни [9]. Те, кому посчастливилось побывать на его мастер-классах по аутопсии, находились под сильным впечатлением от увиденного и услышанного [5]. Ученики вспоминают Ипполита Васильевича как внимательного наставника, которому удавалось создавать благоприятные условия для проведения научных исследований. Давыдовский подготовил 13 докторов, 38 кандидатов наук и более сотни врачей [5]. Его лаборатория представляла собой коллектив единомышленников. Он был гостеприимным хозяином, в доме которого можно было встретить как знаменитых академиков – А.Л. Мясникова, Н.А. Краевского, А.В. Смольянникова, П.К. Анохина, – так и молодых аспирантов и ординаторов. Он с удовольствием приглашал на дачу своих коллег и учеников, с ними он катался на лыжах, ходил на охоту [11]. Обстанов-

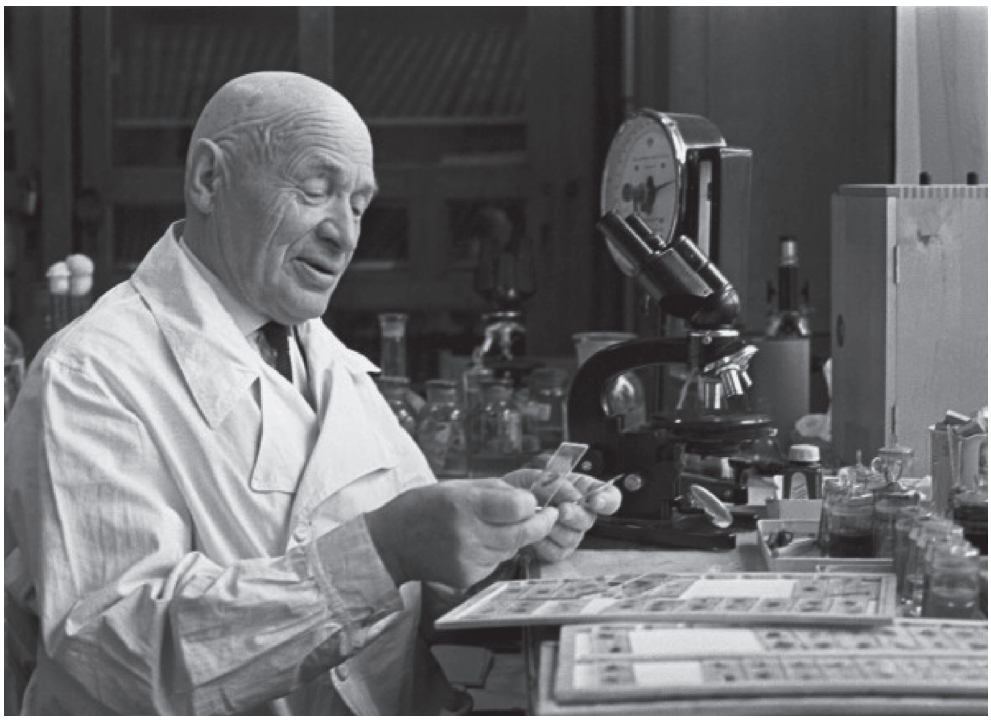
Яузская больница, бывший дом Шепелевых

ка, сложившаяся в коллективе, который возглавлял Ипполит Васильевич, безусловно, способствовала успешной научной деятельности, раскрытию творческих и научных способностей. Под его руководством в лаборатории проводились конференции, на которых разбирались сложные диагнозы и клинические случаи, заслушивались доклады, оценивалась работа аспирантов и ординаторов [11].

В годы Первой мировой войны И.В. Давыдовский служил военным врачом, руководил прифронтовой лабораторией по изучению сыпного тифа. Полученные в то время результаты он обобщил в докторской диссертации, которую защитил в 1921 г. Накануне Великой Отечественной войны важнейшей проблемой стало отсутствие квалифицированных кадров, единой концепции в вопросах патологии, патогенеза и танатогенеза ранений и болезней военного времени, единой документации [12]. Но уже к концу 1942 г. в Красной Армии, впервые в истории мирового военного здравоохранения, была создана стройная система патологоанатомической службы, которую возглавляли А.А. Васильев, М.Ф. Глазунов, Н.А. Краевский и главный патологоанатом Управления эвакогоспиталей Наркомздрава СССР И.В. Давыдовский. Эта служба обеспечила единую трактовку патологических процессов, вызванных боевой травмой [13].

В 1944 г. Давыдовский стал академиком Академии медицинских наук СССР [3]. Он расширил знания о раневом процессе и нагноении как фазе регенерации ткани, создал теорию раневого процесса, а также внёс значимый вклад в формирование доктрины военно-полевой хирургии [4, 5]. Благодаря применению этих знаний на практике в годы войны были спасены миллионы жизней [5]. Результаты наблюдений того времени изложены в монографиях “Огнестрельная рана человека” [14] и “Патология огнестрельных ранений и повреждений” (34-й том труда “Опыт советской медицины в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.”) [11, 15, 16].

В послевоенные годы Давыдовский уделял много времени изучению медицины как биологической науки и вопросам философии медицины [5]. Надо сказать, что воспитывался он в религиозной семье [4, 17], и это не могло не сказаться на его склонности к глубокому философскому осмыслению той области знаний, которой он себя посвятил. Давыдовского интересовали вопросы причинности развития патофизиологических процессов в организме. Результатом многолетних исследований стали несколько научных трудов, посвящённых философским аспектам медицинской науки. Наибольшую известность приобрела монография “Проблемы причинности в медицине. Этиология” [1], в которой автор пытается по-



И.В. Давыдовский за работой. 1960-е годы

нять, как и почему возникает то или иное явление, затрагивает проблемы специфичности и сущности болезни. Другие известные философские работы Давыдовского – “Методологические основы патологии” [18] и “Философские основы патологии” [19]. Эти труды не утратили актуальности и в наши дни, поскольку позволяют составить представление о биологической сущности заболеваний и их причинно-следственной связи.

И.В. Давыдовский внёс весомый вклад в современную геронтологию: его интересовали вопросы старения организма человека и особенно механизмов, сопровождающих данный процесс [6]. Он был одним из первых патоморфологов, которые развели понятия “старение” и “старость”, что послужило подтверждением несовпадения биологического и фактического возраста человека. Идеи по гериатрии и геронтологии Давыдовский изложил в монографии “Геронтология” [20], которая была удостоена премии АМН СССР имени А.И. Абрикосова [16]. В этой работе отдельные разделы посвящены общей и частной геронтологии, а также гериатрии, а старение человека рассматривается как с точки зрения патоморфологии, так и философии науки.

Особое внимание Давыдовский уделял проблеме постановки диагноза. Медицинская ошибка, по его мнению, – это “добросовестное заблуждение врача при выполнении им профессиональных обязанностей” [21]. Давыдовский начал “активную и успешную борьбу с медицинским браком” [5]. С его точки зрения, причина объективных ошибок в медицине – сложность постановки диагноза, обусловленная особенностями индивидуального течения заболевания, а также недостатком клинического опыта и знаний в той или иной области медицины и недостатком методов диагностики. Заслуживает внимания тот факт, что в 1930-е годы Ипполит Васильевич, несмотря на общую атмосферу в стране, настаивал на сдержанном отношении к врачебным ошибкам, поскольку в послереволюционные годы уровень подготовки врачей значительно снизился [5]. По его мнению, именно конструктивный разбор конкретных медицинских случаев на конференциях должен был способствовать сокращению количества врачебных ошибок.

И.В. Давыдовский – выдающийся отечественный патологоанатом и мыслитель, изменивший взгляд на методы изучения и преподавания патологической анатомии. Он объединил теоретические знания с клинической практикой и внедрил новые принципы медицинской практики, применяющиеся по сей день. Он воспитал несколько поколений врачей и учёных, став для многих из них наставником. Его научные труды продолжают оставаться востребованными, а жизненный путь служит примером для врачей и исследователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Давыдовский И.В.* Проблемы причинности в медицине. Этиология. М.: Государственное издательство медицинской литературы, 1962.
2. *Пауков В.С.* Alma mater российской патологической анатомии (к 170-летию кафедры патологической анатомии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова) // Архив Патологии. 2018. № 5. С. 3–7.
3. *Мишнев О.Д.* Памяти И.В. Давыдовского // Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова. https://rsmu.ru/fileadmin/templates/DOC/Faculties/LF/patan/Mishnev_O_Davydovskom.pdf (дата обращения 29.10.2021).
4. *Логинов В.А.* Творческое наследие И.В. Давыдовского (1887–1968) (К 130-летию со дня рождения) // Архив патологии. 2017. № 4. С. 61–64. https://doi.org/10.17116/patol201779461-64
5. *Рылов А.* Врач мёртвых, ставший врачом живых // Медпульс. 2011. https://www.medpulse.ru/health/yourshealth/medicalachievements/10356.html pdf (дата обращения 29.10.2021). https://www.medpulse.ru/health/yourshealth/medicalachievements/10356.html (дата обращения 04.09.2021).
6. *Аничков Н.М., Кветной И.М.* Вклад И.В. Давыдовского в развитие геронтологии // Успехи геронтологии. 2002. № 9. С. 257.
7. *Давыдовский И.В.* Патологическая анатомия и патогенез болезней человека. В 2 т. 3-е изд. М.: Медгиз, 1956–1958.
8. *Давыдовский И.В.* Общая патология человека. М.: Медицина, 1969.
9. *Каргапольцев С.* Давыдовский Ипполит Васильевич. 01.08.1887–11.06.1968. Герой Социалистического труда // Герои страны. https://warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero_id=11075 (дата обращения 04.09.2021).
10. *Мишнев О.Д., Самойлов М.В., Леонова Л.В., Ракша А.П.* И. В. Давыдовский – создатель клинико-анатомического направления отечественной медицины (К 125-летию со дня рождения) // Архив патологии. 2013. № 1. С. 62–64.
11. *Рукосуев В.С.* Воспоминания о работе в лаборатории академика И.В. Давыдовского // Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова. https://rsmu.ru/fileadmin/templates/DOC/Faculties/LF/patan/Rukovsuev_vospominanija.pdf (дата обращения 29.10.2021).
12. *Сергеенкова А.С., Теремов Д.Д.* Работа врачей-патологоанатомов в годы Великой Отечественной войны // Смоленский медицинский альманах. 2016. № 1. С. 217–220.
13. *Франк Г.А., Кнопов М.Ш., Тарануха В.К.* Патологоанатомы в годы Великой Отечественной войны (К 70-летию Великой Победы) // Архив патологии. 2015. № 2. С. 70–74.
14. *Давыдовский И.В.* Огнестрельная рана человека. Морфологический и общепатологический анализ. Т. 1. М.: Изд-во Академии медицинских наук СССР, 1952.
15. *Давыдовский И.В.* Опыт советской медицины в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. В 34 т. Часть 4: Патология огнестрельных ранений и повреждений. М.: Медгиз, 1952.
16. Давыдовский Ипполит Васильевич // Большая медицинская энциклопедия. 3-е изд. Под ред. Б.В. Петровского. Т. 6. М.: Советская энциклопедия, 1977.
17. Давыдовский И.В. // Департамент здравоохранения города Москвы. https://mosgorzdrav.ru/ru-RU/department/aboutdep/history/moscow-hospitals-names/iv-davidovskiy.html (дата обращения 04.09.2021).
18. *Давыдовский И.В.* Методологические основы патологии // Вопросы философии. 1968. № 5. С. 84–94.
19. *Давыдовский И.В.* Философские основы патологии // Архив патологии. 1969. № 6. С. 3.
20. *Давыдовский И.В.* Геронтология. М.: Медицина, 1966.
21. *Давыдовский И.В.* Врачебные ошибки // Советская медицина. 1941. № 3. С. 3–10.