ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

научный и общественно-политический журнал

том 92 № 12 2022 Декабрь

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 21.11.2022 г. Формат 60 × 88$^{1}/_{8}$ Усл. печ. л. 11.98 Уч.-изд. л. 12.25
Тираж 21 экз. Зак. 3970 Бесплатно

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+

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 15.03.2021 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 12, 2022

С кафедры президиума РАН

Е. В. Шляхто
Научные основы персонализированной медицины: реалии и возможности 1105

А. И. Аветисян
Кибербезопасность в контексте искусственного интеллекта 1119

Дискусионная трибуна

В. И. Данилов-Данильян
Цифровизация 2020-х и кибернетизация 1960-х: сопоставления и уроки 1124

Точка зрения

А. А. Акаев, А. И. Рудской, В. В. Кораблёв, А. И. Сарыгулов
Технологические и экономические барьеры роста водородной энергетики 1133

А. А. Шабунова, Т. К. Ростовская
Демографическая политика в современной России: взгляд населения и экспертная оценка 1145

За рубежом

В. С. Мирзеханов, Ф. О. Трунов
Особенности урегулирования вооружённых конфликтов в Азии и Африке в конце 2010-х – начале 2020-х годов 1157

Этюды об учёных

И. Н. Компанец
Пионер лазерной эры
К 100-летию со дня рождения академика Н.Г. Басова 1167

Б. Г. Андрюков, Т. А. Кузнецова, Н. Н. Беседнова
Нестабильность генома и её роль в эволюции, адаптации и персистенции патогенных бактерий
К 120-летию со дня рождения лауреата Нобелевской премии по физиологии и медицине 1983 г. Барбары МакКлинток 1178

Былое

А. В. Венков, Г. Г. Матишов
Трансформация Донской казачьей верхушки в 1770–1780-е годы 1189

Официальный отдел

Указатель статей, опубликованных в “Вестнике Российской академии наук”, 2022, № 1–12
Именной указатель авторов 1196

CONTENTS

Vol. 92, No. 12, 2022

On the Rostrum of the RAS Presidium

E. V. Shlyakhto
Scientific foundations of personalized medicine: realities and opportunities 1105

A. I. Avetisyan
Cybersecurity in the context of artificial intelligence 1119

Debating tribune

V. I. Danilov-Danilyan
Digitalization of the 2020s and Cybernetization of the 1960s: Comparisons and Lessons 1124

Point of view

A. A. Akaev, A. I. Rudskoy, V. V. Korablev, A. I. Sarygulov
Technological and economic barriers to the growth of hydrogen energy 1133

A. A. Shabunova, T. K. Rostovskaya
Demographic policy in modern Russia: the view of the population and expert assessmen 1145

Abroad

V. S. Mirzekhanov, F. O. Trunov
Features of the settlement of armed conflicts in Asia and Africa in the late 2010s – early 2020s 1157

Profiles

I. N. Kompanets
Pioneer of the laser era
To the 100th anniversary of Academician N.G. Basov 1167

B. G. Andryukov, T. A. Kuznetsova, N. N. Besednova
Genome instability and its role in the evolution, adaptation and persistence of pathogenic bacteria
To the 120th anniversary of the birth of the 1983 Nobel Prize in Physiology or Medicine, Barbara McClintock 1178

Bigone Times

A. V. Venkov, G. G. Matishov
Transformation of the Don Cossack elite in the 1770s–1780s 1189

Official Section

Index of articles published in the "Vestnik Rossiiskoi Academii Nauk", 2022, No. 1–12
Author's index 1196

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 12, с. 1105–1118

С КАФЕДРЫ ПРЕЗИДИУМА РАН

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЫ: РЕАЛИИ И ВОЗМОЖНОСТИ

© 2022 г. Е. В. Шляхто

Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: e.shlyakhto@almazovcentre.ru

Поступила в редакцию 12.01.2022 г.
После доработки 17.01.2022 г.
Принята к публикации 21.06.2022 г.

Современные тенденции в развитии здравоохранения предполагают нацеленность медицинской помощи на интересы пациента, её целостный характер, а также глубокое проникновение во все звенья здравоохранения информационных технологий. Движущей силой происходящих изменений, безусловно, служат научные достижения, значимость которых в развитии новых лечебных технологий, создании инновационных диагностических устройств и лекарственных препаратов в последние годы существенно выросла. Эти процессы обеспечивают условия для внедрения в клиническую практику новой модели медицинской помощи – персонализированной медицины, основанной на выборе методов диагностики и лечения с учётом индивидуальных особенностей течения заболевания, а также образа жизни пациента. Технологии персонализированной медицины, которые предполагают создание соответствующей, нередко дорогостоящей, инфраструктуры омиксных технологий, в итоге должны привести к повышению эффективности, качества и, главное, безопасности медицинской помощи. В Российской Федерации это направление активно развивается в четырёх научных центрах мирового уровня, в число которых входит НМИЦ им. В.А. Алмазова.
О сегодняшнем состоянии и перспективах исследований в области персонализированной медицины идёт речь в настоящей статье, подготовленной автором на основе его научного доклада на заседании президиума РАН.

Ключевые слова: персонализированная медицина, биомедицина, биомаркеры, омиксные технологии, научный центр мирового уровня.

DOI: 10.31857/S0869587322120076

С начала XXI в. отмечается стремительное развитие биомедицины, аккумулирующей достижения фундаментальных наук в области медицинских исследований и нацеленность на их использование в реальной клинической практике. Науки о жизни были включены в программы развития ведущих университетов мира и стали их основной движущей силой. А исследования в области математики, физики, химии и биологии открыли возможности глубокого проникновения в интимные механизмы возникновения наиболее значимых для человека заболеваний – онкологических, сердечно-сосудистых, многих наследственных. Интенсивно развиваются генетические технологии, позволившие выявлять генетические причины практически любых патологий, определять последовательность всего человеческого генома. Основываясь на этих данных, в клинической практике стала использоваться генная терапия, включая технологии редактирования генома, позволившие индивидуально подбирать способы лечения тяжёлых наследственных заболеваний [1].



ШЛЯХТО Евгений Владимирович – академик РАН, генеральный директор НМИЦ им. В.А. Алмазова Минздрава России.

На базе достижений синтетической биологии, геномики, протеомики, метаболомики, биоин-

форматики и других близких дисциплин формируется новая модель оказания медицинской помощи – персонализированная медицина, предполагающая выбор оптимальных для конкретного пациента диагностических, лечебных и профилактических подходов с учётом его специфичных биомаркеров (в том числе генетических), которые помогают врачу определить, какой метод лечения наиболее эффективен. Персонифицированную медицину часто называют прецизионной в силу её нацеленности на выявление ключевых факторов развития заболевания (благодаря биомаркерам, молекулярным путям патологии, данным геномики, протеомики, метаболомики), а также учёта образа жизни пациента и факторов окружающей его среды. Поскольку полностью индивидуализировать лечение бывает затруднительно, в том числе и по экономическим причинам, в прецизионной медицине используются уникальные ("точечные") протоколы, рассчитанные на стратифицированные группы пациентов. Следует подчеркнуть, что эти два понятия – персонифицированная медицина и прецизионная медицина – хотя и не тождественны, но всё же очень близки по сути благодаря общей нацеленности на важнейшие составляющие медицинской помощи пациенту, среди которых:

• оценка риска (генетическое тестирование предрасположенности к заболеваниям);

• профилактика (вмешательство для предупреждения заболевания);

• выявление (раннее выявление заболеваний на молекулярном уровне);

• диагностика (точная диагностика позволяет индивидуализировать стратегию лечения);

• лечение (улучшение исходов за счёт более точных мишеней воздействия и профилактики побочных эффектов терапии);

• наблюдение (активный мониторинг ответа на терапию и маркера прогрессии заболевания).

Нельзя сказать, что персонализированный (индивидуальный) подход представляет собой что-то абсолютно новое для клиницистов. И ранее для этого использовались те или иные морфофункциональные параметры, отражающие соответствующий времени уровень развития медицинской науки и практики. Можно с уверенностью утверждать, что принцип лечить больного, а не болезнь был известен и широко применялся ещё с глубокой древности. Однако "интегрированный, координированный и индивидуальный для каждого пациента подход к анализу возникновения и течения заболеваний" с учётом факторов окружающей среды и образа жизни каждого человека, включающий "разработку персонализированных средств лечения на основе геномики, тестирование на предрасположенность к болезням, профилактику, объединение диагностики с лечением и мониторинг лечения" [2, с. 4], стал формироваться именно с начала нынешнего века.

Потребовались десятилетия для перехода от доминирования концепции доказательной медицины, при которой лечение пациента строилось главным образом исходя из данных рандомизированных клинических исследований, рассчитанных для среднестатистического пациента, к модели здравоохранения, основанной на персонализации медицинской помощи. Именно такой подход позволяет быстрее обнаружить таргетные мишени для воздействия лекарств и за счёт этого добиться не только наилучшего эффекта, но и снизить риски развития нежелательных явлений благодаря подбору оптимальной дозы лекарственного препарата. Наконец, возможность постановки более точного и быстрого диагноза даже при использовании дорогостоящих диагностических технологий приведёт к существенной экономии ресурсов здравоохранения. Не говоря уже о существенном снижении смертности, особенно среди пациентов с онкологическими, неврологическими, сердечно-сосудистыми и другими социально значимыми заболеваниями. Можно предположить, что персонализированная медицина станет сильным фактором смещения фокуса с лечения заболеваний к их профилактике. Более быстрый доступ пациента к информации и лучшей медицинской помощи позволит если не предотвратить болезнь, то уж точно выявить её на ранней стадии, а в целом повысить приверженность пациента лечению и взаимодействию с лечащим врачом, следованию его рекомендациям.

Персонализированная медицина в контексте развития современного здравоохранения. Как упоминалось, проникновение персонализированной медицины в реальную клиническую практику пришлось на начало XXI в. И это проявилось не только в ускорении внедрения инновационных технологий за счёт трансляционных исследований. Именно в этот период в системе здравоохранения сформировалось представление о пациентоориентированном подходе, означающем, что интересы пациента ставятся выше интересов медицинских учреждений и их сотрудников. Организационно оформилось понимание значимости медицинской помощи замкнутого цикла, преемственности всех её этапов. Стали применяться технологии ценностного здравоохранения, предполагающие смену акцентов в оказании медицинской помощи от ориентации на процесс к результатам [3]. Траектория последних десятилетий характеризуется тем, что медицина проб и ошибок, двигаясь к медицине врачебного консенсуса, в свою очередь, уступила место доказательной, а сегодня уже и доказательная уступает место персонализированной. Профессия врача обретает

исследовательский характер, становится ближе к науке, чем к искусству.

Ещё один важнейший фактор прорывного развития персонализированной медицины в последние два десятилетия – внедрение цифровых информационных технологий. Совершенствование методов биоинформатики, регистров генетических патологий, систем поддержки принятия врачебных решений, а также технологий искусственного интеллекта способствовали появлению "больших данных", значимость которых, по-видимому, будет возрастать. Наибольший эффект "больших данных" следует ожидать в предиктивном моделировании лекарственных препаратов. Основываясь на обработке гигантских объёмов генетической информации, становящихся всё более доступными, врачи смогут назначать уникальные лекарственные средства, применять новые методы лечения. Наконец, выделение паттернов заболеваний позволит повысить качество прогностических оценок, выделить профили рисков, предложить эффективные методы лечения, улучшить профилактику.

Статус персонализированной медицины в нашей стране закреплён в "Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации", согласно которой переход к высокотехнологичному здравоохранению, способствующему здоровьесбережению, становится одним из основных приоритетов государства [4]. В соответствии с национальным проектом "Наука" в рамках реализации этого направления в 2019 г. были созданы 3 геномных центра, в 2020 г. – 4 научных центра мирового уровня (НЦМУ), в задачи которых входят исследования и разработки в области персонализированной медицины.

Впечатляющие успехи с применением новых подходов достигнуты в онкологии и онкогематологии (это касается повышения выживаемости пациентов). Активно развиваются клинические и популяционные исследования в кардиологии, эндокринологии, неврологии и психиатрии, что способствует созданию систем поддержки принятия врачебных решений, выбора конкретных препаратов и их доз, формированию индивидуальных прогнозных шкал риска. В педиатрии наибольший исследовательский интерес привлекают редкие (орфанные) и генетически обусловленные заболевания.

Выбор персонализированной стратегии лечения и профилактики, особенно при острых сердечно-сосудистых состояниях, с применением "больших данных" позволит существенно увеличить точность индивидуального прогноза. Перспективным для реальной клинической практики представляется объединённый анализ больших клинических данных (включая изображения и данные проспективного наблюдения) с привлечением омиксных технологий[1] и методов машинного обучения. Следует отметить, что пандемия новой коронавирусной инфекции стала серьёзным стимулом для развития персонализированных подходов в лечении пациентов с инфекционной патологией, в первую очередь с COVID-19 [5]. Накопленный в последние два года опыт борьбы с пандемией свидетельствует о наибольшей клинической эффективности персонализации терапевтических стратегий.

Основные направления развития персонифицированной медицины в России сосредоточены сегодня в следующих областях:

- персонализация подходов к диагностике, лечению и профилактике в реальной клинической практике (алгоритмы и система поддержки принятия врачебных решений);
- онкогеномика;
- фармакогенетика (включая подбор доз препаратов с использованием компьютерных программ);
- оценка генетических рисков;
- пренатальная диагностика;
- исследование молекулярных механизмов заболеваний, поиск мишеней для терапии, изучение малых регуляторных молекул и микровезикул, митохондриальной ДНК и др.;
- диагностические панели;
- тест-системы, в том числе для пренатальной диагностики, включая диагностику по крови матери.

Процесс внедрения в практическое здравоохранение персонализированных методов диагностики, лечения и профилактики займёт не одно десятилетие и будет неотделим от развития биомедицинской науки, дорогостоящих омиксных технологий, биоинформатики. Но уже сейчас очевидно, что эта область имеет значительные социально-экономические перспективы [6]. Ожидаемое увеличение инвестиций в сферу персонализированного здравоохранения составит в ближайшие годы более 30%. Сегодня в онкологии более 70% инновационных препаратов – это лекарственные средства таргетного воздействия, их число в ближайшие 5 лет должно увеличиться на 69%. С 2015 по 2020 г. число препаратов с персонализированными показаниями их применения выросло на 70%. Причём вероятность того, что препарат будет одобрен для клинического приме-

[1] Омиксные технологии – комплекс современных молекулярных технологий, с помощью которых организм исследуется на разных уровнях, начиная со считывания генетической информации (геномика), выявления факторов регуляции экспрессии генов (эпигеномика), определения активности генов (транскриптомика) и их белковых продуктов (протеомика) и заканчивая определением состава и концентрации конечных продуктов распада (метаболомика). (*Здесь и далее прим. ред.*)

Таблица 1. Ожидаемые результаты внедрения персонализированной медицины в систему здравоохранения

Плательщик	Учреждения	Пациент	Общество
Сокращение затрат минимум на треть за счёт снижения назначения неэффективных методов лечения и повышения скорости оказания помощи и её безопасности	Своевременная и точная диагностика и терапия	Быстрое получение медицинской помощи, которая эффективна и безопасна	Снижение нагрузки на экономику за счёт сокращения расходов на здравоохранение и косвенных убытков
	Повышение качества медицинской помощи и удовлетворённости пациента	Улучшение качества и продолжительности жизни	Улучшение общественного здоровья и восприятия обществом достижений науки и медицинских услуг
	Развитие новых технологий и поддержка принятия решений	Снижение времени, проведённого в состоянии болезни	

нения, значительно возрастает, если в механизме его действия присутствует специфический биомаркер.

Выгода от внедрения методов персонализированной медицины коснётся всех без исключения участников системы здравоохранения: налогоплательщиков, медицинских учреждений, пациентов, да и общества в целом (табл. 1).

Персонализированная медицина: основные инструменты развития. Накопленный опыт говорит о том, что для быстрого внедрения любой новой, особенно дорогостоящей технологии, необходимо наличие определённой инфраструктуры. Персонализированная медицина предполагает инновационную экосистему, включающую университеты и научные учреждения, занимающиеся исследованиями в этой области, бизнес, создающий конкретный инновационный продукт, а также систему здравоохранения, применяющую эти разработки на практике. Здесь необходимо ещё раз подчеркнуть ведущую роль науки и научных учреждений в построении такой экосистемы. Они должны стать своего рода академическими биомедицинскими хабами, обеспечивающими комплексный, интегративный подход к созданию и продвижению лечебных технологий, их доступность для системы здравоохранения в целом. Именно в таком контексте следует рассматривать усилия государства по формированию в России четырёх НЦМУ, один из которых – Центр персонализированной медицины – создан на базе двух научных центров в Санкт-Петербурге: НМИЦ им. В.А. Алмазова Минздрава России – инициатор создания центра и Институт экспериментальной медицины – участник центра (рис. 1).

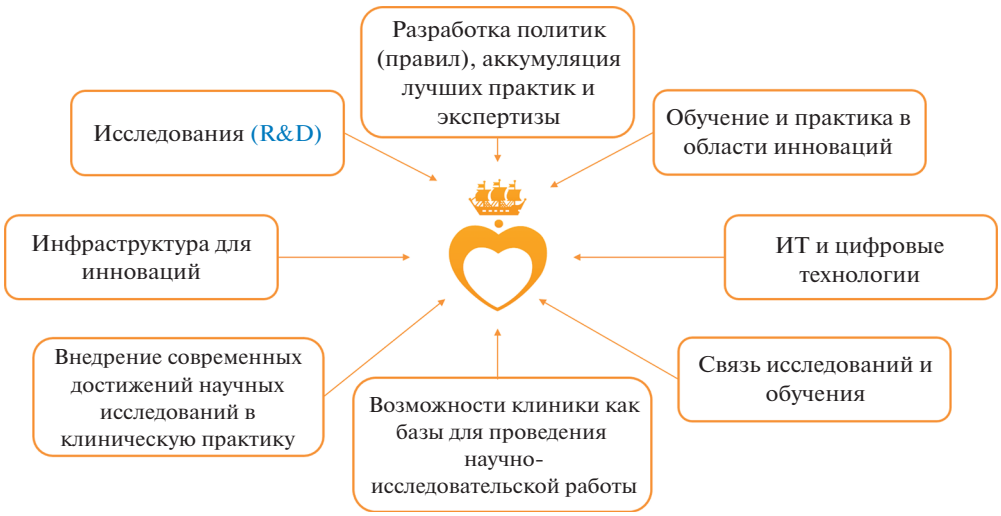


Рис. 1. Экосистема НМИЦ им. В.А. Алмазова

Цель формируемого центра в полной мере отвечает сегодняшней идеологии биомедицинских исследований и направлена на постройку научно-производственной биомедицинской экосистемы для разработки и внедрения в практику здравоохранения технологий диагностики и лечения заболеваний на основе персонализированной медицины. Эта деятельность включает оценку генетических рисков, методы фармакогенетики и фармакогеномики, биомоделирование заболеваний, модификацию генома и создание препаратов для генной терапии, а также биомедицинских клеточных продуктов с применением технологий геномного редактирования для повышения качества лечения и снижения смертности при сердечно-сосудистых заболеваниях, сопутствующих метаболическиях нарушениях, онкогематологических патологиях и некоторых видах опухолей, ряде инфекционных заболеваний, а также при патологиях генетической природы, включая редкие и малоизученные.

Направления деятельности НЦМУ “Центр персонализированной медицины” включают четыре блока, отвечающие основным вызовам для системы здравоохранения.

1. Популяционная генетика и неинфекционные заболевания полигенной природы. В рамках этого блока предполагается разработать алгоритмы оценки генетических рисков сердечно-сосудистых и метаболических заболеваний полигенной природы в российской популяции и определить новые предикторы развития острых осложнений на основе омиксных технологий и методов персонифицированной профилактики. Необходимо также разработать образовательные программы подготовки специалистов в области персонализированной медицины, фармакогенетики и фармакогеномики и обработки омиксных данных.

Заболевания полигенной природы крайне разнообразны, но в центре внимания находятся те из них, что давно приобрели характер неинфекционных эпидемий мирового масштаба, – ожирение, метаболический синдром, сахарный диабет 2 типа и сердечно-сосудистые патологии. Ожирение представляет собой крайне гетерогенное состояние, при наличии которого одни пациенты долгие годы сохраняют хорошее метаболическое здоровье и благоприятный сердечно-сосудистый прогноз, в то время как у других рано развиваются дислипидемия, артериальная гипертензия, гиперурикемия, дисгликемия с ускоренным формированием атеросклеротических изменений и сердечно-сосудистых заболеваний. Множество различных факторов, в том числе фенотипических (антропометрические, поведенческие, психологические, гормональные и т.п.) и молекулярно-генетических, предопределяют прогноз состояния здоровья пациентов с ожирением.

Нами были изучены взаимосвязи фенотипа ожирения с биомаркерным профилем и ответом на вес-снижающие вмешательства. Была выявлена взаимосвязь уровня маркеров воспаления (С-реактивного белка) со степенью ожирения и характером распределения жировой ткани – при висцеральном (индекс массы тела ≥30 кг/м^2, соотношение обхват талии/обхват бёдер >0.9 для мужчин и >0.85 для женщин) медиана его уровня была 3.48 нг/мл, при периферическом (индекс массы тела ≥30 кг/м^2, соотношение обхват талии/обхват бёдер ≤0.9 для мужчин и ≤0.85 для женщин) – 0.93 нг/мл (p = 0.023). Высокий уровень маркеров фиброза (проколлаген 3 типа, галектин-3) ассоциирован с высоким риском развития сердечно-сосудистых заболеваний. По нашим данным, снижение маркеров фиброза, как и маркеров воспаления в процессе лечения, носило субстрат-зависимый характер и в большей степени отмечалось у пациентов с исходно более высоким их уровнем независимо от динамики массы тела. Это свидетельствует в пользу наличия фенотипа ожирения с профиброгенным статусом, улучшение которого отмечается при нормализации образа жизни независимо от степени снижения веса. В пользу такого утверждения говорят и данные экспериментальных исследований, продемонстрировавших, что высокожировое питание ассоциировано с ухудшением прогноза ишемического повреждения миокарда даже в отсутствии ожирения и других метаболических нарушений [7].

Подход к исследованиям полигенных наследственных признаков и ряда патологий (ожирение, сахарный диабет 2 типа, коронарная болезнь сердца) в значительной степени отличается от исследования природы редких заболеваний. Полигенность подразумевает малый вклад отдельных ДНК-вариантов в вероятность развития того или иного фенотипа, поэтому требует намного большего объёма исследований (по количеству их участников), а также наличия детальной клинической информации о каждом из участвующих в исследовании для максимального учёта эффектов среды. Технологии полногеномного секвенироирования позволили обнаружить большой массив биомаркеров, ассоциированных с различными полигенными фенотипами. Поиск генов, ассоциированных с полигенными заболеваниями, до сих пор остаётся нерешённой задачей. Стандартный метод изучения генетики для таких болезней – полногеномный поиск ассоциаций (GWAS). Однако он указывает только на определённые регионы в ДНК, которые могут содержать до 100 генов.

Чтобы преодолеть эту трудность, была разработана биоинформатическая программа предикции генетических рисков – GPrior [8], предсказы-

вающая роль генов с ещё неизвестным механизмом действия. Модель основана на ансамбле нескольких методов машинного обучения и использует функциональное родство между известными, с одной стороны, и пока не открытыми генами, связанными с болезнью, – с другой. В качестве исходных данных в модели используется массив генов с известной функциональной ролью в патогенезе ишемической болезни сердца (ИБС) (например, регулирующих секрецию холестерина), а также информация о молекулярных процессах (экспрессия, взаимодействия между белками и т.д.). Для валидации модели были изучены 37 генов, достоверно ассоциированных с ИБС, но при этом для них ещё не был известен молекулярный механизм воздействия на риски заболевания. Последующее использование алгоритма для анализа регистров больных с ИБС показало, что ансамбль классификаторов GPrior предсказывает наличие генов, значимость которых впоследствии подтверждается в масштабных исследованиях как с помощью GWAS, так и с помощью экзомного секвенирования, которое гарантирует надёжное обнаружение генов.

Использование омиксных биомаркеров, технологий “больших данных” и машинного обучения позволит существенно увеличить точность индивидуального прогноза и персонифицировать стратегии лечения. Примером может служить разработанная в нашем центре модель предикции развития аневризмы аорты. Атеросклероз и другие заболевания аорты могут приводить к нарушению механических свойств её стенок и формированию расширения (аневризмы) – состоянию, угрожающему разрывом аорты с фатальным исходом. При этом заболевание иногда протекает бессимптомно, и пациент может не получить своевременного хирургического лечения, позволяющего предотвратить осложнения.

Часто аневризма аорты случайно обнаруживается при ультразвуковом исследовании сердца, проводимом по другим показаниям. Сегодня на основании анализа данных более 78000 эхокардиографических исследований нами с использованием методов машинного обучения разработана прогностическая модель, позволяющая с 82-процентной точностью предсказывать выявление аневризмы аорты при повторном эхокардиографическом исследовании, если известны результаты предыдущего и основные клинические характеристики пациента (пол, возраст, сопутствующие заболевания). Таким образом, на основании данных выполненного по любому поводу эхокардиографического исследования у пациентов без признаков аневризмы аорты можно с высокой точностью предсказать риск развития этого заболевания в будущем и соответствующим образом спланировать дальнейшее наблюдение.

Использование предложенной прогностической модели позволит повысить эффективность скрининга для выявления аневризмы аорты и предотвратить развитие фатальных осложнений, а также сократить потребность в дорогостоящих и сопровождающихся высоким риском экстренных кардиохирургических вмешательствах на аорте [9].

Подобные модели разрабатываются для предикции повторных сердечно-сосудистых событий, развития сахарного диабета и выбора оптимальной терапии.

2. Неизвестные, редкие и генетически-обусловленные заболевания. Задачи этого блока предполагают разработку совокупности технологий и создание научной и образовательной инфраструктуры мирового уровня для персонализированной диагностики и лечения заболеваний генетической природы, в том числе редких, малоизученных и даже неизвестных, выявление молекулярных механизмов и определение новых мишеней для персонализированной терапии, включая создание инновационных генотерапевтических препаратов.

Основные проблемы патологий генетической природы, большая часть которых относится к редким, связаны, во-первых, с их низкой распространённостью, что ведёт к нехватке знаний и опыта со стороны специалистов, во-вторых, с хроническим, прогрессирующим и опасным для жизни их характером. Вот почему сегодня они требуют особого внимания. Специфика подхода к их исследованию состоит в необходимости формирования единой пациентоориентированной структуры, создания и ведения регистров пациентов с редкими и генетически-обусловленными заболеваниями, а также реализации фундаментальных проектов, направленных на выявление новых конкретных генетических детерминант редкой и неизвестной патологии. Непременным атрибутом этих проектов должно стать раскрытие молекулярных механизмов заболеваний генетической природы, использование экспериментальных клеточных и животных моделей как для более глубокого изучения патогенетических механизмов, так и создания и тестирования новых генно-терапевтических лечебных препаратов.

Одно из приоритетных направлений – создание регистра генетически детерминированных кардиомиопатий. Фокус наших исследований направлен на изучение нетипичных, редких фенотипов с поиском особенностей мутаций, которые привели к формированию таких уникальных фенотипов. Речь идёт о группе пациентов с редкими формами гипертрофической кардиомиопатии (мутации в малоизученных генах белков саркомера, мутации в несаркомерных генах и генах различных сигнальных каскадов) и пациентах с ред-

кими формами кардиомиопатий и нарушениями ритма.

Полноэкзомное секвенирование и секвенирование разработанных нами таргетных кардиопанелей (панель генов гипертрофической кардиомиопатии и её редких фенокопий – 39 генов, а также панель, включающая полную последовательность гигантского гена тайтина и генов тайтинового комплекса – 4 гена), оказались высокоэффективными при определении генетических основ редких форм наследственных заболеваний миокарда. Так, нами был идентифицирован новый вариант гена RBM20 в качестве причины развития изолированных нарушений ритма. Обычно мутации в RBM20 ассоциированы с ремоделированием миокарда, в частности, приводят к развитию кардиомиопатийных фенотипов, что связано главным образом с нарушением сплайсинга гена тайтина (TTN) и других белков саркомера. Мы же описали редкую ассоциацию патогенного варианта RBM20 с изолированными нарушениями ритма [10].

В рамках этого блока исследований большое внимание уделяется изучению аритмогенной кардиомиопатии/дисплазии правого желудочка – редкого наследственного заболевания миокарда, характеризующегося тяжёлой формой аритмии, развитием прогрессирующей сердечной недостаточности и высоким риском внезапной сердечной смерти, генетические и молекулярно-клеточные основы патогенеза которой остаются малоизученными. Было проведено исследование спектра молекул микро-РНК в перикардиальной жидкости пациентов с верифицированным диагнозом указанного заболевания (с помощью высокопроизводительного секвенирования малых РНК). В результате биоинформатического анализа удалось определить полный спектр микро-РНК в образцах перикардиальной жидкости пациентов, а также выявить 5 дифференциально экспрессирующихся видов микро-РНК у пациентов с аритмогенной кардиомиопатией по сравнению с контрольной группой (hsa-miR-1-3p, hsa-miR-21-5p, hsa-miR-122-5p, hsa-miR-206 и hsa-miR-3679-5p). Анализ обогащения набора дифференциально-экспрессированных микро-РНК позволил доказать их ассоциацию с другими сердечно-сосудистыми заболеваниями и миопатиями (в том числе хронической фибрилляцией предсердий, ИБС, аритмией, гипертензией), а также определить основные затронутые сигнальные пути и биологические процессы (включая клеточный цикл, развитие и дифференцировку клеток сердца и скелетной мускулатуры, пролиферацию и апоптоз клеток). Выявление специфичных экстраклеточных микро-РНК позволяет лучше понимать процессы, лежащие в основе патогенеза, и в перспективе идентифицировать биомаркеры для более точной и своевременной диагностики и прогноза течения заболевания [11].

С учётом специфики многих редких и малоизученных заболеваний выявление их патогенетических, в том числе молекулярных механизмов, а также разработка платформ для создания и тестирования лекарственных препаратов невозможны без использования технологий биомоделирования патологических процессов. Все ведущие медицинские центры мира используют такого рода генетические технологии. Уже созданы и описаны доклинические модели отдельных заболеваний человека *in vitro*, *ex vivo* и *in vivo* для последующего анализа. Наиболее широко используются генетически модифицированные модельные системы (грызунов и рыбок данио). Увеличение числа линий трансгенных животных, которые бы обладали уникальными характеристиками с точки зрения решения задач кардиологии, неврологии, онкологии и других исследовательских направлений, – необходимость, продиктованная высоким уровнем медицинских исследований в мире и персонализированным подходом к лечению пациентов.

В рамках работ по этому направлению в центре биомоделирования патологических процессов в нашем центре разработана биотехнологическая платформа для создания новых органоидных и трансгенных (мыши, крысы, рыбы) моделей, имитирующих различные патологические процессы – атеросклеротические, нейродегенеративные, кардиологические, эндокринные и др. В проекте используются новейшие технологии трансгенеза (введение искусственной генетической информации в эмбрионы животных разными методами). Мы получаем животных с заданными свойствами (это может быть Cre/Lox система для генетического трейсинга, введение мутаций, выключающих ген или вызывающих замену одного гена другим, и, наконец, Crispr-Cas9[2], позволяющий получить мутантов данио и грызунов уже в первом поколении). Были созданы уникальные линии трансгенных животных, в частности новые трансгенные линии мышей (Sox10, PLP, CHAT, DTA, ASCL, WNT) и линии рыб данио (Sox10Cre: Zebrabow-S), которые использовались для изучения механизмов формирования нервной системы и молекулярно-генетических основ патогенеза нейродегенеративных заболеваний [12].

Нами было показано, что эмбриональные клетки-предшественники глии в раннем развитии эмбрионов трансгенных линий мышей и рыб выполняют важные функции, связанные с правильным развитием отдельных органов и живот-

[2] CRISPR/Cas – система адаптивного приобретённого иммунитета бактерий и архей, направленная на уничтожение проникшей в клетку чужеродной ДНК, например, фагов или плазмид.

ных в целом. Эти клетки имеют свойства, напоминающие плюрипотентные свойства нервного гребня, и в зависимости от их расположения в организме могут трансформироваться в различные типы клеток в периферических тканях, включая нейроны. Кроме того, с использованием метода генетического трейсинга трансгенной линии данио показано, что нейроны автономной нервной системы, а также некоторые популяции нейронов центральной нервной системы происходят не только из клеток нервного гребня, но и из шванновских клеток-предшественников, которые могут рассматриваться в качестве нового клеточного материала для регенеративной медицины и клеточного источника зрелых нейронов в случае их потери при нейродегенеративных заболеваниях, сопровождающихся катастрофической потерей нейронов центральной нервной системы человека [12].

Заболевания, связанные с избыточной кальцификацией, широко распространены, особенно в стареющих популяциях. Кальцификация сосудов ухудшает течение и прогноз заболеваний сердечно-сосудистой системы, а кальцификация аортального клапана приводит к нарушению работы сердца. Однако в мире до сих пор не существует терапевтических подходов для медикаментозного лечения этих заболеваний и, например, только для лечения аортального стеноза ежегодно проводится около полумиллиона дорогостоящих операций по замене кальцинированного клапана. Одним из важнейших ограничений для разработки соответствующей терапии оказывается отсутствие адекватных платформ для тестирования перспективных соединений. Для решения этой задачи в нашем НЦМУ разработана уникальная технологическая платформа, на базе которой может быть проведено тестирование потенциальных соединений и генно-инженерных конструкций, способных подавлять избыточную кальцификацию [13]. При создании платформы была использована коллекция из более чем 100 образцов первичных культур клеток пациентов с кальцификацией аортального клапана. Предложена технология выращивания и тестирования потенциала кальцификации (остеогенного потенциала) данных клеток. С использованием платформы в ходе культивирования клеток поводилась проверка экспрессии ряда генов, связанных с кальцификацией, и для получения более полной характеристики патологического процесса проведён анализ протеома дифференцирующихся клеток.

Платформа позволяет тестировать вещества и генетические конструкции, обладающие потенциальным антикальцифицирующим действием, а также изучать молекулярные и клеточные основы патологической кальцификации, что, в свою очередь, служит неотъемлемым этапом в поиске терапии. В ходе апробации технологической платформы нам удалось выявить соединение кренигацетат, обладающее антикальцифицирующим эффектом. Далее для всех перспективных соединений проводится изучение механизма действия при помощи протеомики и анализ этих данных в контексте информации о пациенте.

Ещё одним из ярких примеров реализации принципов персонализированной медицины является научный проект “Создание регистра неизвестных, редких и генетически-обусловленных заболеваний”, в который включены пациенты с патологиями, механизмы развития которых не известны либо мало изучены, а диагностика и терапия не подкреплены стандартными протоколами. Сегодня регистр охватывает более 200 детей с 68 крайне редкими нозологиями. На основе достаточно большого клинического опыта ведения пациентов с наследственными и редкими заболеваниями, сформировавшихся мультидисциплинарных команд врачей-специалистов, возможности использования самого современного лабораторного и генно-диагностического оборудования, средств реализации научных проектов с применением экспериментальных исследований был подготовлен фундамент для создания центра компетенций “Наследственные, редкие и малоизученные заболевания”, открытие которого состоялось в 2021 г.

3. Онкология. Для этого блока поставлена задача разработать технологии и создать совокупность центров компетенций по персонализированной диагностике и терапии рака, включая онкогематологические заболевания, опухоли головного мозга и желудочно-кишечного тракта, нейроэндокринные опухоли, предложить тераностические[3] подходы и совокупность персонализированных препаратов для лечения онкологических заболеваний на основе генетически модифицированных клеток иммунной системы.

Научная значимость фундаментальных разработок в области онкологии определяется использованием новейших технологий экспрессионного анализа, включая геномный анализ единичных клеток в сочетании с эпигенетическим профилированием и высокопроизводительным секвенированием. Кроме того, данные о геномной структуре солидных опухолей и опухолей кроветворной системы, полученные с использованием материала существующих и будущих биоресурсных коллекций, в сочетании с возможностью детального фенотипирования пациентов позволят разработать новые критерии, определяющие хи-

[3] Тераностика – подход к созданию фармацевтических композиций, заключающийся в комплексном решении терапевтических и диагностических проблем путём создания препаратов, которые являются одновременно и средством ранней диагностики, и терапевтическим агентом.

мио- и радиочувствительность опухолей, создать генно-диагностические системы и новые генно-инженерные препараты для терапии онкозаболеваний, определить новые генетические маркеры для персонифицированной направленной терапии ряда опухолей.

С точки зрения онкологии не менее важно исследовать фундаментальные механизмы действия препаратов на основе создания химерных антигенных рецепторов, применять генно-модифицированные иммунные клетки и вести поиск методов получения биомедицинских клеточных продуктов подобного рода.

Эмбриональные опухоли оказываются частой морфологической формой злокачественных новообразований центральной нервной системы, при этом число пациентов высокой группы риска составляет около 70%. Неудовлетворительные показатели выживаемости пациентов групп высокого риска, обусловленные рефрактерностью опухоли к проводимой терапии и её высокой токсичностью, определяют необходимость разработки иных стратегий противоопухолевого лечения. В рамках этого направления с использованием полноэкзомного секвенирования нового поколения при эмбриональных опухолях центральной нервной системы проводится изучение эффективности терапии препаратами таргетного механизма действия на основании выявления идентичных молекулярных нарушений. Проведение сравнительного анализа последовательностей ДНК в опухолевых клетках и нормальной ткани каждого пациента позволяет нам выделять патогенные мутации, значимые для прогноза заболевания и служащие потенциальной терапевтической мишенью.

В качестве дополнительной опции пациентам исследуемой проспективной когорты с неудовлетворительным ответом на лечение после завершения интенсивной программы или развитии рецидива заболевания нами используется схема метрономной химиотерапии в сочетании с таргетной терапией. В отличие от стандартных предлагаемый метод основан на проведении низкодозной комбинированной химиотерапии (этопозид + циклофосфамид) в сочетании с антиангиогенной (сиролимус) и противовоспалительной терапией (целекоксиб) в непрерывном режиме. Наш подход исключает необходимость длительного стационарного лечения. Редукция интенсивности терапии позволяет избежать развития побочных эффектов, как правило, ассоциированных с выраженной гематологической токсичностью и инфекционными осложнениями. Тем самым понижается стоимость лечения.

Исследование нейроэндокринных опухолей (НЭО), вызывающих тяжёлые метаболические нарушения, направлено на решение проблемы диагностики и прогнозирования рецидива НЭО гипофиза, надпочечников и паращитовидных желёз после хирургического лечения. Нами проводится поиск новых герминальных (врождённых) и соматических мутаций, ответственных за развитие НЭО надпочечников и околощитовидных желёз и определяющих рецидивирующее или злокачественное течение этих заболеваний. Разрабатываются оптимальные диагностические подходы к прогнозированию клинического течения, ответа на терапию и злокачественной природы до развития метастазов, включая омиксные технологии, а также современные методы визуализации, такие как ПЭТ-КТ с различными инновационными радиофармпрепаратами. Ведётся поиск мишеней для противоопухолевой терапии. В результате исследования будут выделены маркеры прогноза течения и ответа на терапию, сформулирована программа помощи в принятии решения при диагностике и лечении этих заболеваний, что позволит сократить время постановки диагноза, улучшить прогноз – увеличить выживаемость и снизить смертность.

В рамках проекта методом секвенирования нового поколения создана целевая панель для секвенирования генов, ответственных за развитие НЭО. У пациентов со злокачественной феохромоцитомой впервые выявлена герминальная мутация в гене ZNRF3, ранее ассоциированном с развитием адренокортикального рака. Разработаны и апробированы новые методики топической диагностики неойроэндокринных опухолей гипофиза и околощитовидных желёз. Получены данные о том, что выполнение ПЭТ-КТ с 11-С метионином позволяет выявить аденому околощитовидной железы в тех случаях, когда традиционные методы не дают положительного результата. Разработана и апробирована методика выявления МРТ-негативных адренокортикотропных гормон-секретирующих аденом гипофиза. Согласно полученным данным, ПЭТ с 18F-ФДГ (радиофармпрепарат ^{18}F-фтордезоксиглюкоза) может быть использована для локализации МРТ-негативных адренокортикотропных гормон-секретирующих аденом гипофиза. По нашим данным, её применение позволило увеличить количество пациентов, достигших ремиссии гиперкортицизма после транссфеноидальной аденомэктомии [14].

Один из новых перспективных инструментов клеточной терапии злокачественных заболеваний – технология применения CAR NK-клеток. В отличие от CAR T-клеток эти эффекторы обеспечивают не только специфическое CAR-зависимое уничтожение опухолевых клеток, экспрессирующих целевые поверхностные белки, но и противораковое действие за счёт широкого спектра активирующих рецепторов, характерных для NK-клеток. На пути к созданию оптимальной платформы CAR NK-клеточной терапии (рис. 2) нами



Рис. 2. Создание единой технологической и научной платформы для разработки клеточной иммунотерапии онкологических заболеваний

выполнен систематический анализ фидерных клеток, экспрессирующих комбинации лигандов активирующих рецепторов, в частности CD40L, CD27, 4-1BBL, mbIL15, mbIL21, mbIL18 и mbIL12. Для того чтобы наметить направление генетических модификаций NK-клеток, был проведён углублённый анализ транскриптома единичных NK-клеток в сравнении с Т-клетками [15]. В отличие от Т-клеток, в которых доминирующий механизм активации управляется Т-клеточным рецептором, у NK-клеток подобный “узловой” рецептор отсутствует, поэтому избыточная экспрессия активирующих рецепторов или их комбинаций в NK-клетках для стимуляции их противоопухолевой активности представляется весьма многообещающей.

Только несколько корецепторов, таких как CD5, CD27 и CD28, экспрессируются Т-клетками и практически отсутствуют в NK-клетках. Интересно, что, несмотря на отсутствие экспрессии CD28 в NK-клетках, CAR второго поколения на основе CD28 проявляют более сильную активность в NK-клетках, чем CAR первого поколения. Это может быть связано с тем, что основные элементы сигнального аппарата присутствуют в NK-клетках на уровнях, сопоставимых с уровнями Т-клеток. Удивительно, но NK-клетки экспрессируют больше CD3zeta (CD247), чем Т-клетки, поэтому параллельное сравнение цитотоксической активности, индуцированной CAR первого поколения в Т- и NK-клетках, было бы интересным [15].

Злокачественные опухоли головного мозга, как первичные нейроэпителиальные опухоли (Grade III и Grade IV), так и вторичные внутримозговые опухоли (метастазы в головной мозг), во взрослой и детской популяциях – одна из основных причин смерти от онкологической патологии. Перспективен метод их лечения с применением таргетных препаратов, направляемых к мембранно-связанной форме белка теплового шока Hsp70 для визуализации новообразования и мишенной доставки противоопухолевых агентов (включая радиоизотопные).

По полученным нами данным, впервые с применением метода инвертированной конфокальной микроскопии продемонстрирована экспрессия мембранно-ассоциированного белка теплового шока Hsp70 на клетках опухолей центральной нервной системы у взрослых пациентов (включая астроцитому, глиобластому, эпендимому). Полученный результат обеспечивает научное обоснование разработки противоопухолевых тераностических препаратов, распознающих mHsp70-положительные раковые клетки. Показано, что экспрессия белка Hsp70 наблюдается в жизнеспособных клетках мультиформной глиобластомы взрослых пациентов, но не в клетках некротической зоны (рис. 3). Отмечено наличие положительной корреляции между уровнем экспрессии Hsp70 и инвазивным потенциалом опухолевых клеток. Полученные данные указывают на возможность таргетирования противоопухолевых препаратов именно в отношении популяции жизнеспособных mHsp70-положительных опухолевых клеток.

На сегодня завершена разработка протокола оценки экспрессии мембранно-связанного Hsp70 на опухолевых клетках, полученных из биопсийного материала, произведён анализ Hsp70 на раковых клетках, полученных от нейроонкологических пациентов. В ходе отдельного этапа исследований для повышения тераностических свойств агентов (антитела, пептид RAS70) последние были конъюгированы с наноразмерными препаратами золота (AuNPs) либо с суперпарамагнитными наночастицами оксида железа (SPIONs), которые позволяют, с одной стороны, оказывать диагностическое воздействие, а с другой – подавлять рост опухоли [16]. Наночастицы золота с высоким Z (AuNPs), конъюгированные с антителом-мишенью, могут помочь улучшить контроль опухоли при лучевой терапии, одновременно минимизируя радиотоксичность для прилегающих здоровых тканей. Для оценки поведения наночастиц *in vivo* нами разработана фармакокинетическая модель, имитирующая поглощение и распределение AuNPs у мышей. Многомасштабное моделирование методом Монте-Карло было выполнено для AuNPs и SPIONs в опухолевых клетках на клеточном и молекулярном уровнях, чтобы определить увеличение дозы облучения и образование химических радикалов в непосредственной близости от AuNPs [17]. Биологически обосно-

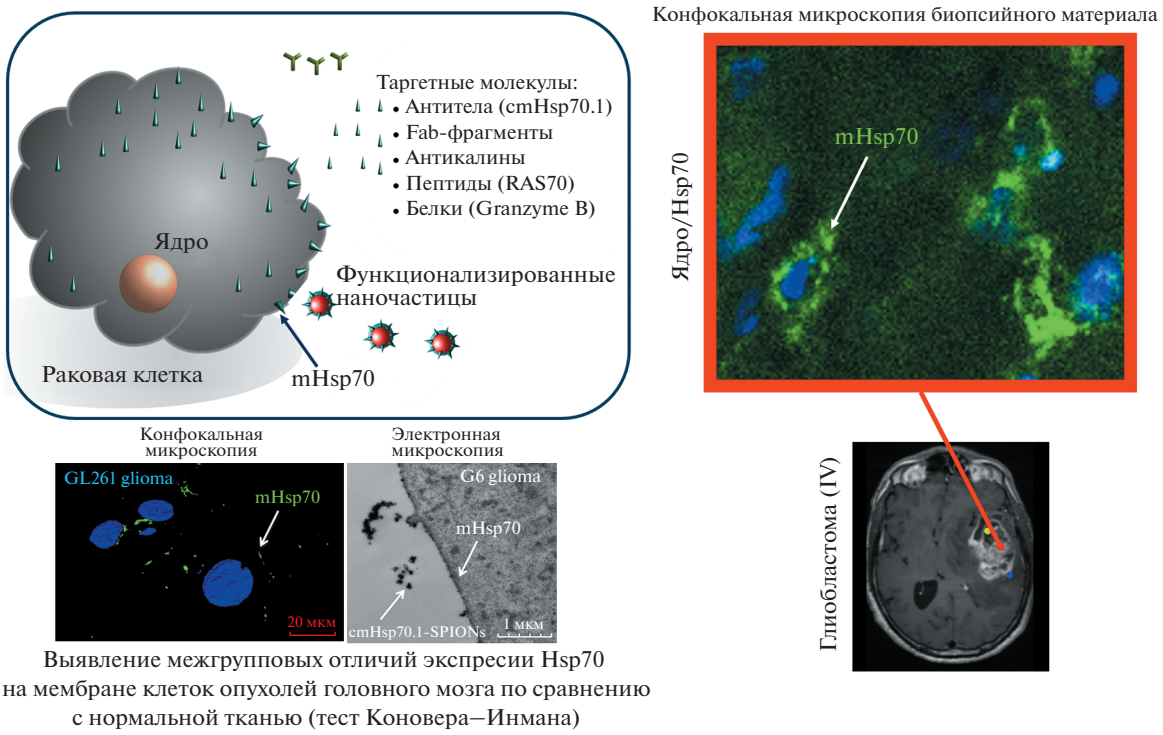


Рис. 3. Разработка пептидного препарата RAS70 против мембранно-связанного Hsp70 на раковых клетках для таргетной интраоперационной диагностики злокачественных новообразований

ванная математическая модель была разработана для прогнозирования биологической реакции AuNPs на усиление излучения. Хотя моделирование AuNPs продемонстрировало явное увеличение дозы, моделирование, связанное с образованием химических радикалов и индукцией разрывов нитей ДНК, вызванных агрегатами AuNPs, показало лишь незначительное увеличение дозы. Различия в моделируемых изменениях на молекулярном и клеточном уровнях указывают на то, что необходимы дальнейшие исследования, чтобы лучше понять влияние физических, химических и биологических параметров в доклинических экспериментальных условиях до трансляции этих моделей AuNPs в лучевую терапию рака.

В более чем 80% случаев после проведённого радикального лечения рака молочной железы вне зависимости от выбранных методов противоопухолевого лечения неизбежно возникает и прогрессивно развивается постмастэктомический синдром. Нами создана база “Данные анамнеза, жалоб, нейропсихологического исследования, неврологического статуса, значение биомаркеров (ICAM1, PECAM1) у пациенток с постмастэктомическим синдромом”, что позволяет анализировать состояние центральной и периферической нервной системы и эндотелия в зависимости от метода лечения и разработать персонифицированный лечебно-реабилитационный подход.

С помощью функциональной МРТ нами были получены новые данные об изменениях со стороны рабочих сетей покоя головного мозга у пациенток с постмастэктомическим синдромом, коррелирующие с клиническими проявлениями в виде лимфедемы, хронического болевого синдрома, вертебрально-базилярной недостаточности, депрессии, что необходимо для более точной диагностики выраженности неврологических нарушений, а также персонифицированного комплексного лечебно-реабилитационного подхода [18].

Также нами было впервые обнаружено значимое повышение экспрессии молекул адгезии ICAM-1, PECAM-1 и содержания нейронспецифической енолазы, снижение антител к NMDA-рецепторам (в сравнении с группой здоровых добровольцев) и не отличающееся от групп больных хронической ишемией мозга, что указывает на нарушение функции гематоэнцефалического барьера, страдание ткани мозга, срыв в нём процессов ауторегуляции и отражает субклинический патологический процесс и наличие дисфункции эндотелия [19].

4. Инфекционные заболевания, микробная и антимикробная терапия. Задача, которая в этом блоке решалась нами совместно с Институтом экспериментальной медицины, состояла в том, чтобы разработать персонифицированные технологии определения рисков течения инфекцион-

ных заболеваний, включая COVID-19, совокупность вакцин и подходов к персонифицированной профилактике инфекций, а также создать линейку аутопробиотических препаратов для модификации микробиоты при аутовоспалительных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваниях.

В рамках этого проекта разрабатываются несколько вакцинных кандидатов, в частности, инновационные вакцины для профилактики инфекционных осложнений у пациентов с хроническими обструктивными заболеваниями лёгких (ХОБЛ). Цель состоит в получении живых вакцин на основе полезных штаммов бактерий-пробиотиков, несущих на своей поверхности белки патогенных микроорганизмов. В ходе реализации проекта разработаны два новых пробиотических вакцинных кандидата против вируса гриппа, в которых антигены вируса экспонировались на поверхности бактерии *Enterococcus faecium* L3. Вакцинация ими мышей стимулировала формирование гуморального и клеточного иммунного ответа. Исследование защитной эффективности показало, что мыши с антителами против вирусных антигенов были наилучшим образом защищены от действия летальных доз вируса гриппа, в частности, пандемического гриппа А/Южная Африка/3626/13(H1N1) pdm09 [20].

Цель другого реализуемого нами проекта – разработка пероральных живых бактериальных векторных вакцин на основе пробиотического штамма *Enterococcus faecium* L3, геном которого модифицирован вставками фрагментов ДНК, кодирующих белки SARS-Cov-2. В ходе работы созданы 2 вакцинных кандидата, продемонстрировавшие безопасность и иммуногенность в экспериментах на лабораторных животных. В настоящее время завершаются доклинические исследования по протективности. Разрабатываемые вакцинные кандидаты обладают рядом конкурентных преимуществ перед существующими вакцинами против SARS-Cov-2: они могут применяться перорально в виде кисломолочного продукта, храниться при температуре +4°С, процесс производства предельно прост, а готовый продукт не требует очистки. Кроме того, технология создания вакцины может быть быстро адаптирована под новые варианты возбудителя [21].

В современной медицинской практике концепцию терапии инфекционного заболевания, нацеленную на уничтожение возбудителя, необходимо заменить на комплекс лечебных мероприятий, направленных на восстановление естественного микробиоценоза, свойственного конкретному индивидууму. И первым шагом к достижению этой цели должна явиться точная диагностика возбудителя заболевания, его генетических особенностей, включая исследование на наличие генов устойчивости к антибиотикам, генов вирулентности и характера их экспрессии. Лишь после этого для достижения эффективного результата можно приступать к персонифицированной терапии, направленной либо на снижение процентного содержания возбудителя заболевания в микробиоценозе, либо его замещения на вариант бактерий того же вида с низким потенциалом патогенности.

Сегодня нами реализуются два проекта, связанные с персонифицированной терапией, в которой используются пробиотические и аутопробиотические (то есть выделенные от конкретного пациента) бактерии. В рамках одного из них разрабатывается подход к повышению отдалённых результатов лечения онкологических пациентов. В ходе исследований выявлены особенности микробиоты кишечника у больных с различной локализацией опухоли, проведена оценка эффективности использования аутопробиотической и пробиотической поддержки в периоперационном и раннем послеоперационном периодах терапии колоректального рака и рака желудка. В результате исследований фекалий больных колоректальным раком показано, что в 100% случаев наблюдается дисбиоз, усугубляющийся после оперативного лечения. Применение аутопробиотиков или пробиотика *Enterococcus faecium* L3 приводило к снижению содержания условно-патогенных бактерий, в том числе бактериальных онкомаркеров. При указанной поддерживающей терапии наблюдалось быстрое восстановление функций желудочно-кишечного тракта, а больные проявляли комплаентность (приверженность лечению).

В другом проекте персонифицированная микробная терапия использовалась для коррекции соматических патологий (метаболический синдром и диабет 2 типа). Применённая нами технология использования компонентов собственной микробиоты (аутопробиотиков), имеющая мировой приоритет, обладает бесспорными преимуществами благодаря адаптации индигенных бактерий к организму хозяина, иммунологической толерантности к собственной микробиоте и взаимовыгодным условиям существования компонентов. В ходе исследования уже после первого курса аутопробиотиков на фоне исчезновения или уменьшения условно-патогенных бактерий прослеживается тенденция к увеличению количества энтерококков, лактобацилл, фекалибактерий, отмечены снижение уровня глюкозы натощак и гликированного гемоглобина, устойчивая тенденция к нормализации липидограммы, уменьшение веса пациентов [22].

Следует отметить, что в терапевтических целях нами используются не только пробиотические и аутопробиотические штаммы бактерий, но и

Таблица 2. Требуемая инфраструктура для внедрения геномной медицины в практику здравоохранения

Надёжные и стандартизированные методы диагностики, форматы представления данных и контроля качества
Быстрые и относительно дешёвые методы секвенирования, сертифицированные для клинического применения. Наличие центров, способных осуществлять клиническую интерпретацию
Базы данных, содержащие имеющиеся генетические варианты, связанные с фенотипами, генотип-фенотипическим взаимодействием, а также доказательные данные
Механизмы финансирования и включение в рекомендации и стандарты, тарифы оказания помощи
Сконцентрированная образовательная стратегия и требования к специалистам. Профессиональные компетенции. Профессиональное образование и популяризация
Внедрение специальных информационных сервисов в медицинские информационные системы организаций и единые контуры для сбора, учёта и контроля данных

условно-патогенные микроорганизмы. Так, один из проектов посвящён разработке онколитических бактериальных штаммов, а на их основе – рекомбинантных белков для терапии новообразований кишечника, панкреатобилиарной зоны, опухолей головного мозга.

В ходе исследований проведена оценка *in vitro* цитотоксического эффекта различных бактериальных штаммов *Streptococcus pyogenes* в отношении клеточных линий рака поджелудочной железы PANC02, глиомы C6, астроглиомы человека U251, гепатомы 22a. Обнаружены два штамма *S. pyogenes* M49 серотипа, обладающие выраженными онколитическими свойствами. Проведено сравнение цитотоксической эффективности *S. pyogenes* с воздействием стандартных химиопрепаратов, фактора роста нервов (NGF) и кателицидинов LL37, PG-1 на культуре клеток опухоли мозга. Показано отсутствие цитотоксического действия онколитических *S. pyogenes* в отношении нормальных клеток.

* * *

Анализ даже первых результатов работы Научного центра мирового уровня говорит о том, что наличие существенной государственной поддержки при высокой степени готовности научных коллективов может стать решающим фактором в ускорении генерации новых научных данных и создании инновационных технологий в области персонализированной медицины. Но было бы наивно полагать, что это будет происходить быстро. Наверняка процесс вовлечения всё большего количества заболеваний в орбиту персонализированного лечения окажется постепенным и потребует, как уже упоминалось, не одного десятка лет. И здесь, по-видимому, самым трудным станет формирование инфраструктуры и подготовка кадров высокой квалификации для внедрения технологий персонализированной медицины в практику здравоохранения. Перечень таких предложений не исчерпывается представленными в таблице 2, и по мере дальнейшей работы в этом направлении – развитии биомедицины и технологий искусственного интеллекта – он будет существенно корректироваться. В первую очередь это будет относиться к технологиям регенеративной медицины и адаптивной иммунотерапии, использованию персональных вакцин, нейроинтерфейсов и биопротезов из аутологичных материалов. Но уже сегодня можно видеть, насколько велик разрыв между инновациями и готовностью профессионального сообщества к их восприятию.

Для сокращения этого разрыва актуально развитие профессионального образования, в котором важна не только вузовская подготовка, где большинство программ уже содержат курсы персонализированной медицины, фармакогенетики и цифровых технологий в медицине. Необходимо реализовать преподавание новых технологий в рамках переподготовки врачей и повышения их квалификации в таких областях, как онкология, кардиология, эндокринология, педиатрия, неврология и психиатрия, в которых востребованность знаний по фармакогенетике и использованию результатов генетического тестирования крайне велика.

Будущее персонализированного здравоохранения – в качественном образовании, сотрудничестве учёных и практиков, а также пациентоориентированном подходе, предполагающем, что медицинские проблемы наших граждан будут эффективно решаться с использованием самых современных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Chan I.S., Ginsburg G.S.* Personalized medicine: progress and promise // Annu. Rev. Genomics Hum. Genet. 2011. V. 12. P. 217–244.
2. *Дедов И.И., Тюльпаков А.Н., Чехонин И.П. и др.* Персонализированная медицина: современное со-

стояние и перспективы // Вестник РАМН. 2012. № 12. С. 4–12.

3. *Шляхто Е.В., Конради А.О., Звартау Н.Э., Ратова Л.Г.* Ценностная медицина, или Value-based medicine. СПб.: ООО “Инфо-ра”, 2019.
4. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642).
5. *Monsuez J.J.* Editors Network of the National Societies of Cardiology Journals (NSCJ). COVID-19 and the heart: insights from the National Society of Cardiology Journals // Eur. Heart J. 2021. V. 42 (39). P. 4003–4005. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab262
6. *Jain K.K.* Personalized Medicine: scientific and commercial aspects. Jain PharmaBiotech, Basel, 2015a.
7. *Simanenkova A., Minasian S., Karonova T. et al.* Comparative evaluation of metformin and liraglutide cardioprotective effect in rats with impaired glucose tolerance // Sci. Rep. 2021. V 11. Article number 6700. https://doi.org/10.1038/s41598-021-86132-2
8. *Kolosov N., Daly M.J., Artomov M.* Prioritization of disease genes from GWAS using ensemble-based positive-unlabeled learning // European Journal of Human Genetics. 2021. V. 29. P. 1527–1535. https://doi.org/10.1038/s41431-021-00930-w
9. *Metsker O., Kopanitsa D., Irtyuga O., Uspenskiy V.* Dynamic Aortic Aneurism Risk Factors// Studies in Health Technology and Informatics. 2021. V. 285. P. 130–135.
10. *Vakhrushev Y., Kozyreva A., Semenov A. et al.* RBM20-Associated Ventricular Arrhythmias in a Patient with Structurally Normal Heart // Genes (Basel). 2021. V. 12 (1). P. 94. https://doi.org/10.3390/genes12010094
11. *Khudiakov A.A., Panshin D.D., Fomicheva Y.V. et al.* Different Expressions of Pericardial Fluid MicroRNAs in Patients With Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy and Ischemic Heart Disease Undergoing Ventricular Tachycardi, Ablation // Front Cardiovasc. Med. 2021. V. 19 (8). P. 647812. https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.647812
12. *Kamenev D., Sunadome K., Shirokov M. et al.* Schwann cell precursors generate sympathoadrenal system during zebrafish development // J. Neurosci. Res. 2021. V. 99 (10). P. 2540–2557.
13. *Rutkovskiy A., Malashicheva A., Sullivan G. et al.* Valve Interstitial Cells: The Key to Understanding the Pathophysiology of Heart Valve Calcification // J. Am. Heart Assoc. 2017. V. 6 (9). P. e006339. https://doi.org/10.1161/JAHA.117.006339
14. *Yanevskaya L.G., Karonova T., Sleptsov I.V. et al.* Clinical phenotypes of primary hyperparathyroidism in hospitalized patients who underwent parathyroidectomy // Endocr. Connect. 2021. V. 10 (2). P. 248–255. https://doi.org/10.1530/EC-20-0515
15. *Kulemzin S., Evsyukov I., Belovezhets T. et al.* Horses for Courses in the Era of CARs: Advancing CAR T and CAR NK Cell Therapies // J. Pers. Med. 2021. V. 11. Article number 1182. https://doi.org/10.3390/jpm11111182
16. *Shevtsov M., Kaesler S., Posch C. et al.* Magnetic nanoparticles in theranostics of malignant melanoma // EJNMMI Res. 2021. V. 11 (1). Article number 127. https://doi.org/10.1186/s13550-021-00868-6
17. *Li W.B., Stangl S., Klapproth A. et al.* Application of High-Z Gold Nanoparticles in Targeted Cancer Radiotherapy-Pharmacokinetic Modeling, Monte Carlo Simulation and Radiobiological Effect Modeling // Cancers. (Basel). 2021. V. 13 (21). Article number 5370. https://doi.org/10.3390/cancers13215370
18. Патент РФ № 2754059 от 25.08.2021. “Способ оценки состояния центральной нервной системы у пациенток с постмастэктомическим синдромом”. Бюл. № 24.
19. *Буккиева Т.А., Поспелова М.Л., Ефимцев А.Ю. и др.* Функциональная реорганизация нейронных сетей головного мозга у пациенток с постмастэктомическим синдромом // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 6. https://science-education.ru/ru/article/view?id=30448.
20. *Desheva Y., Leontieva G., Kramskaya T. et al.* Developing a Live Probiotic Vaccine Based on the Enterococcus faecium L3 Strain Expressing Influenza Neuraminidase // Microorganisms. 2021. V. 9 (12). Article number 2446. https://doi.org/10.3390/microorganisms9122446.
21. *Suvorov A., Gupalova T., Desheva Y. et al.* Construction of the Enterococcal Strain Expressing Immunogenic Fragment of SARS-Cov-2 Virus // Frontiers in Pharmacology. 2022. № 12. Article number 3753. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.807256
22. *Gromova L.V., Ermolenko E.I., Sepp A.L. et al.* Gut digestive function and microbiome after correction of experimental dysbiosis in rats by indigenous bifidobacteria // Microorganisms. 2021. V. 9 (3). Article number 522. https://doi.org/10.3390/microorganisms9030522

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 12, с. 1119–1123

С КАФЕДРЫ ПРЕЗИДИУМА РАН

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ В КОНТЕКСТЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

© 2022 г. А. И. Аветисян

Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, Москва, Россия

E-mail: arut@ispras.ru

Поступила в редакцию 20.04.2022 г.
После доработки 24.04.2022 г.
Принята к публикации 06.09.2022 г.

Широкое внедрение технологий искусственного интеллекта сопровождается новыми вызовами в сфере кибербезопасности. В статье рассматриваются возникающие угрозы такого рода, подчёркивается необходимость создания сквозных технологий, обеспечивающих весь жизненный цикл разработки и эксплуатации систем искусственного интеллекта с заданным уровнем доверия. Уделяется внимание и организационным моделям развития соответствующих технологий на примере Центра доверенного искусственного интеллекта, созданного в Институте системного программирования им. В.П. Иванникова РАН в 2021 г.

Статья подготовлена на основе доклада, заслушанного на одном из заседаний президиума РАН.

Ключевые слова: доверенный искусственный интеллект, кибербезопасность, машинное обучение, нейросетевые модели, датацентричность, методы атаки, программные инструменты, доверенные фреймворки.

DOI: 10.31857/S0869587322120039

В связи со стремительным развитием новых компьютерных технологий значительно возросла значимость проблем кибербезопасности, возникла необходимость рассматривать её в качестве отдельной области научного знания. В 2018 г. президиум РАН принял решение о формировании научного направления “Анализ, трансформация программ и кибербезопасность”. 24 февраля 2021 г. новая научная специальность (наименование – “кибербезопасность”, шифр 1.2.4), по которой присуждаются учёные степени в области физико-математических наук, была утверждена приказом № 118 Минобрнауки России. Специальность охватывает такие направления исследований, как анализ и систематизация уязвимостей, моделирование политик информационной безопасности, угроз и атак, масштабируемые средства интеллектуального анализа данных и процессов в распределённых системах и др.



АВЕТИСЯН Арутюн Ишханович – академик РАН, директор ИСП РАН.

Инструменты поддержания необходимого уровня кибербезопасности специфичны и зависят от разрабатываемых систем (традиционных или встроенных), требуя адаптации под конкретные цели и задачи. Эта проблематика настолько обширна, что подробное её обсуждение не представляется возможным в данной статье. Важно отметить следующее: появление и широкое внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) одновременно сопровождалось появлением принципиально новых вызовов в области кибербезопасности, ответы на которые требуют проведения соответствующих фундаментальных исследований и инструментов [1].

Прежде чем обратиться к этим вызовам, необходимо кратко представить историю возникновения технологий искусственного интеллекта. Сам термин появился в 1956 г., однако особенно активно технологии ИИ начали развиваться и внедряться с 1990-х годов. В 1997 г. шахматный супер-

компьютер Deep Blue, разработанный компанией IBM, выиграл матч из шести партий у чемпиона мира по шахматам Г. Каспарова. В 2002 г. был выпущен первый робот-пылесос. В 2010 г. началось создание базы данных аннотированных изображений ImageNet [2], предназначенной для обработки и тестирования методов распознавания образов и машинного зрения. К настоящему времени в базе насчитывается более 14 млн изображений 21 тыс. категорий. В 2011 г. компьютер Watson компании IBM одержал победу в телевизионной игре-викторине “Jeopardy!” (на российском телевидении её версия получила название “Своя игра”). В том же году был разработан персональный виртуальный цифровой помощник Siri для использования в смартфоне. В 2016 г. сервис Google Translate начал использовать нейронный машинный перевод с восьми языков. В 2021 г. в Китае была представлена языковая модель WuDao2.0 [3], в которой используется 1.75 трлн параметров.

В современном мире искусственный интеллект широко применяется в интернет-помощниках (помимо Google Translate, это Google Photos, Google Assistant), на транспорте (беспилотные автомобили и летательные аппараты), в области финансов (PayPal, поиск подозрительной активности в транзакциях), торговле (товарные рекомендации в ритейле и роботизация складского бизнеса), медицине (компьютерная диагностика, подбор методов лечения, фитнес-браслеты, глюкометры и другие гаджеты), системах безопасности (распознавание лиц с помощью компьютерного зрения), космических исследованиях (робот Curiosity, разработанный NASA, перемещался по поверхности Марса в отсутствие связи с Землёй), в промышленности (роботизация производства, сокращение штата сотрудников). Объём глобального рынка технологий искусственного интеллекта постоянно растёт и, по некоторым данным, в 2024 г. превысит 500 млрд долл.

Искусственный интеллект внедряется повсеместно, однако с технологической точки зрения остаётся слабым и плохо защищённым. Слабый ИИ – общепринятый термин, отражающий состояние современных технологий искусственного интеллекта, основанных на методах машинного обучения, глубокого обучения и нейронных сетей. Слабый ИИ извлекает информацию из ограниченного набора данных и может решать только те задачи, на которые он запрограммирован. Вместе с тем он обрабатывает информацию быстрее человека, таким образом избавляя нас от рутинных задач. В противоположность слабому ИИ в перспективе должен появиться сильный, способный делать интеллектуальные выводы, использовать стратегии, функционировать в условиях неопределённости, общаться на естественном языке и планировать действия, то есть решать задачи на уровне интеллекта человека [4]. Однако неизвестно, когда такой искусственный интеллект удастся создать, поскольку в настоящее время отсутствуют даже методы его разработки.

Отдельную проблему в развитии технологий ИИ представляет собой экспоненциальный рост вычислительных ресурсов [5].

В основе современного искусственного интеллекта лежат модели машинного обучения. Именно они становятся слабым местом с точки зрения кибербезопасности. Появляются новые классы атак – на обученные нейросетевые модели, причём уязвимости могут возникать либо внедряться на всех этапах жизненного цикла модели [6]. Это атаки уклонения, кражи конфиденциальных данных и самих моделей (рис. 1).

Рассмотрим несколько примеров подробнее. Одним из распространённых методов атаки служит отравление данных и моделей [7]. В небольшое количество обучающих примеров добавляется триггер – специально подготовленный фрагмент изображения. В результате обучения на таком наборе данных модель становится отравленной. Триггер приводит её к заведомо ошибочному предсказанию на этапе эксплуатации (в том числе к предсказанию заведомо известного нарушителю результата). Предобученные отравленные модели могут распространяться через Интернет и нести в себе угрозу при переносе знаний.

Ещё один распространённый способ разрушающего воздействия на искусственный интеллект – атаки уклонения [8], в том числе неразличимые. Результат такой атаки представлен на рисунке 2. Для достижения разрушающего результата в некоторых случаях достаточно изменить один пиксель, в итоге ИИ утку идентифицирует с лошадью.

Существуют также атаки “белого ящика”, когда нарушителю становится доступна полная информация о модели машинного обучения, и атаки “чёрного ящика”, когда нарушитель получает доступ к предсказаниям модели на основе произвольных входных данных (метки либо вероятности классов).

Возможны кражи данных и моделей из облачных сред [9]. Значимую роль играют и уязвимости в исходном коде фреймворков[1] машинного обучения [10]. К примеру, фреймворк машинного обучения TensorFlow достаточно обширен и содержит около трёх миллионов строк кода, а также несколько десятков библиотек-зависимостей (NumPy и др.). Классические уязвимости (CVE) в исходном коде фреймворков и библиотек расши-

[1] Фре́ймворк (от англ. framework – остов, каркас) – программная платформа, определяющая структуру программной системы; программное обеспечение, облегчающее разработку и объединение разных компонентов большого программного проекта.

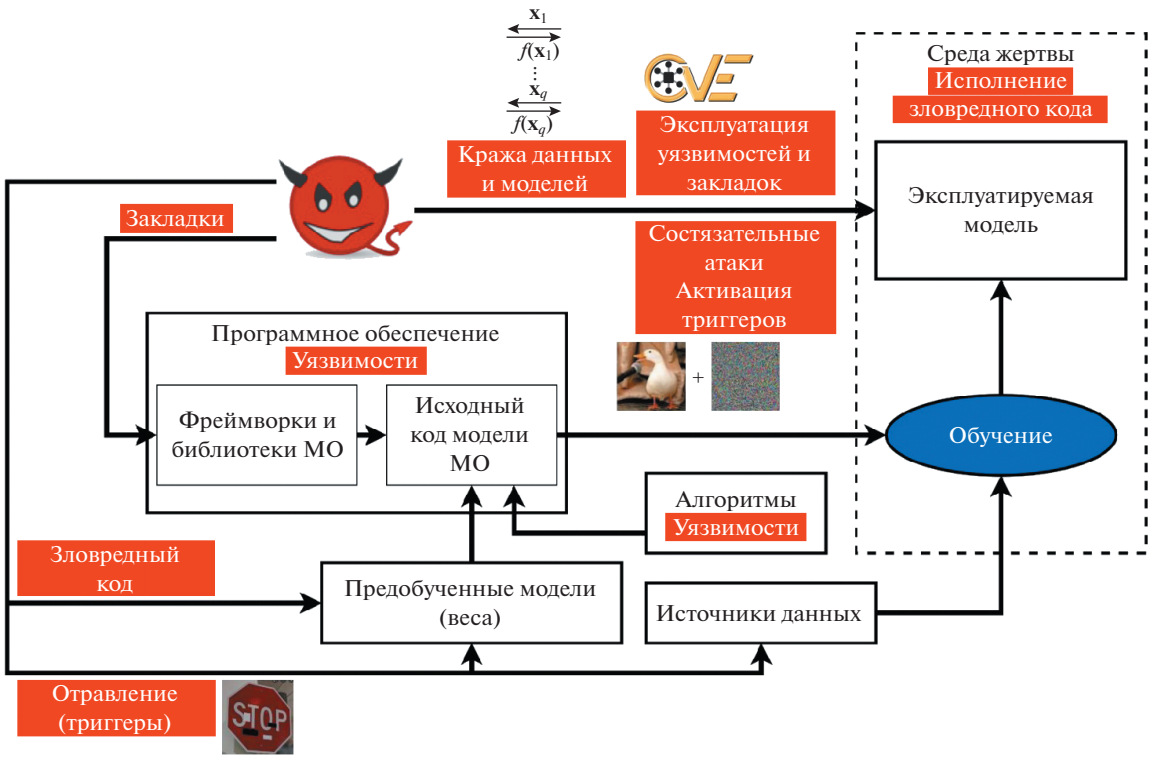


Рис. 1. Атаки на модели машинного обучения (общая схема)

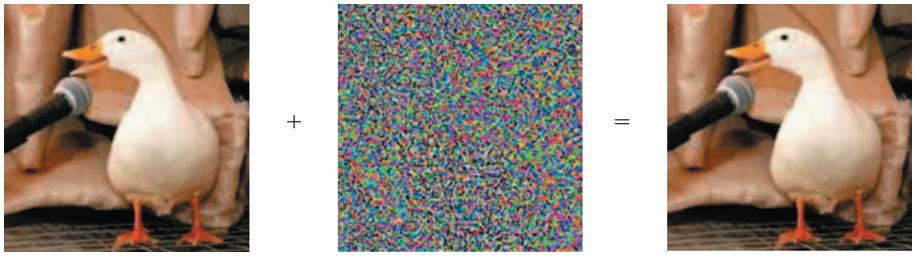


Рис. 2. Результат атаки уклонения

ряют поверхность атаки на эксплуатируемые модели (примеры: переполнение буфера в библиотеке OpenCV, атака с помощью специально подготовленного BMP-изображения). Чтобы избежать проблем, возникающих из-за таких уязвимостей, необходимо использовать статический анализ исходного кода фреймворков и создавать их доверенные версии.

В числе изощрённых методов кибератак – встраивание зловредного кода в модели машинного обучения. Встраивание такого кода (его размер может достигать нескольких мегабайт) в вещественные параметры нейросетевых моделей происходит без существенной потери их точности и не обнаруживается антивирусным программным обеспечением [11]. Возможна также компрометация устройства жертвы при использовании предобученных моделей со зловредным кодом, распространяемых через Интернет (GitHub и другие ресурсы).

В связи с этими угрозами необходима разработка методов их предотвращения, а также создание комплекса инструментов, обеспечивающего безопасность на протяжении всего жизненного цикла систем ИИ с заданным уровнем доверия – от проектирования, сбора и подготовки данных до эксплуатации. Проблемы создания таких доверенных систем сейчас активно обсуждаются научным сообществом разных стран. Например, Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) занимается созданием NIST AI Risk Management Framework. В Германии создаёт-

ся DIN DKE German Standardization Map on Artificial Intelligence. Известны также MITRE ATLAS, Adversarial Threat Landscape for Artificial-Intelligence Systems (США) и Google Responsible AI practices (США). Растёт число научных публикаций, посвящённых атакам на системы ИИ, однако вопрос применимости предлагаемых методов защиты к реальным системам искусственного интеллекта пока остаётся без ответа и требует исследований [12]. Например, наиболее изученная модель нарушителя в атаках с использованием состязательных примеров редко бывает эффективной на практике. Необходима разработка реалистичных моделей нарушителя, а также методов противодействия, в том числе основанных на интерпретируемости моделей машинного обучения. На практике задача классификации изображений служит лишь вспомогательной; методы защиты от угроз в реальных задачах (детекция объектов и др.) отличаются и исследованы в меньшей степени.

Из изложенного можно сделать следующий вывод: разработка методов и технологий создания систем доверенного ИИ возможна только с привлечением сообщества учёных, специализирующихся в этой научной области (такое сообщество ещё предстоит сформировать), а также индустриальных партнёров, нуждающихся в решении своих прикладных задач. В целях эффективной разработки доверенных систем ИИ желательно создать облачную платформу, которая должна объединить:

- методы и методики разработки и оценки доверенных систем;
- программные инструменты анализа и выявления угроз, специфичных для ИИ, а также с целью противодействия им;
- доверенные фреймворки машинного обучения.

Требования к доверенным системам с ИИ должны охватывать весь их жизненный цикл, включая:

- анализ и проектирование (например, формирование требований к устойчивости к атакам уклонения, отравления и извлечения информации);
- разработку (методы противодействия атакам на модели машинного обучения);
- тестирование (технологическая тестовая база оценки безопасности систем с ИИ);
- эксплуатацию (экспертиза обучающих выборок и моделей).

Долгосрочное развитие данной области науки, создание соответствующих методик и инструментов возможно только при объединении усилий академического сообщества, индустрии и государственных ведомств. Именно в таком ключе развивается Центр доверенного искусственного интеллекта в Институте системного программирования им. В.П. Иванникова РАН. Он был создан в 2021 г. по итогам победы в конкурсе, проведённом в рамках федерального проекта “Искусственный интеллект”, курируемого Минэкономразвития России. В числе партнёров Центра – НИУ “Московский физико-технический институт”, Сколковский институт науки и технологий, Механико-математический факультет и Медицинский научно-образовательный центр МГУ им. М.В. Ломоносова, Университет Иннополис, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Институт психологии РАН, Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН, АО “Лаборатория Касперского”, ЗАО “ЕС-Лизинг”, компания “Интерпроком”, ООО НПК “ТехноПром”. Индустриальные партнёры осуществляют подготовку и передачу наборов данных, тестирование доверенных фреймворков машинного обучения, опытную эксплуатацию. Программа Центра предусматривает создание методик и соответствующих программных и аппаратно-программных платформ для разработки и верификации технологий ИИ с требуемым уровнем доверия. Ключевые направления программы:

- классификация угроз и разработка программных инструментов для анализа, выявления и противодействия угрозам, специфичным для систем с ИИ (атаки уклонения, атаки с внедрением закладок и зловредного кода, кражи моделей и данных);
- повышение интерпретируемости моделей;
- создание методик и бенчмарков[2] на основе реальных приложений (медицина, социология, информационная безопасность);
- формирование доверенных сред разработки моделей машинного обучения;
- создание отчуждаемой облачной платформы для разработки доверенных систем, использующих ИИ.

Программа базируется на промышленных технологиях Института системного программирования им. Н.И. Иванникова РАН (Talisman, Asperitas и др.), долгосрочных партнёрских отношениях с индустрией и академическим сообществом. Уже выполнен ряд научно-исследовательских работ, в том числе с Академией криптографии РФ, реализуется долгосрочный контракт с компанией “Samsung Electronics” по тематике доверенного ИИ (интерпретируемость моделей машинного обучения). При этом следует учитывать, что реа-

[2] Бенчмарк в вычислительной технике – процесс запуска компьютерной программы, набора программ или других операций с целью оценки относительной производительности объекта, обычно путём выполнения ряда стандартных тестов и испытаний.

лизации одной такой программы для решения всего круга сложных задач явно недостаточно. Необходимо создать специализированное научное сообщество при руководящей роли РАН, инициировать другие программы, активизировать международное сотрудничество (в первую очередь, в рамках ЕврАзЭС). Имеющийся технологический задел и научные школы позволяют сформировать центр компетенций в области доверенного искусственного интеллекта, что будет способствовать обеспечению технологической независимости и безопасности нашей страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Li J.* Cyber security meets artificial intelligence: a survey // Frontiers Inf. Technol. Electronic Eng. 2018. V. 19. P. 1462–1474. https://doi.org/10.1631/FITEE.1800573
2. *Deng J., Dong W., Socher R. et al.* ImageNet: A large-scale hierarchical image database // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2009. P. 248–255. https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848
3. Wu Dao 2.0: China's Improved Version of GPT-3 (электронный ресурс). https://research.aimultiple.com/wu-dao/
4. *Goertzel B., Pennachin C.* (Eds). Artificial general intelligence. Part 2. New York: Springer, 2007.
5. AI and Compute (электронный ресурс). https://openai.com/blog/ai-and-compute/
6. *Chakraborty A., Alam M., Dey V. et al.* Adversarial Attacks and Defences: A Survey. 2018. ArXiv, abs/1810.00069
7. *Gu T., Dolan-Gavitt B., Garg S.* BadNets: Identifying vulnerabilities in the machine learning model supply chain. 2017. arXiv preprint arXiv:1708.06733
8. *Biggio B., Corona I., Maiorca D. et al.* Evasion attacks against machine learning at test time // Joint European conference on machine learning and knowledge discovery in databases. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013. P. 387–402.
9. *Tramèr F., Zhang F., Juels A. et al.* Stealing machine learning models via prediction APIs // Proceedings of the 25th USENIX Conference on Security Symposium (SEC'16). 2016. USENIX Association, USA. P. 601–618.
10. *Xiao Q., Li K., Zhang D., Xu W.* Security Risks in Deep Learning Implementations // 2018 IEEE Symposium on Security and Privacy Workshops. P. 123–128. https://doi.org/10.1109/SPW.2018.00027
11. *Wang Z., Liu Ch., Cui X.* EvilModel 2.0: Hiding Malware Inside of Neural Network Models. 2021 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). https://doi.org/10.1109/ISCC53001.2021.9631425
12. *Tramèr F.* Does Adversarial Machine Learning Research Matter? 2021. https://floriantramer.com/docs/slides/advml21award.pdf

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 12, с. 1124–1132

ДИСКУСИОННАЯ ТРИБУНА

ЦИФРОВИЗАЦИЯ 2020-х И КИБЕРНЕТИЗАЦИЯ 1960-х: СОПОСТАВЛЕНИЯ И УРОКИ

© 2022 г. В. И. Данилов-Данильян

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

E-mail: vidd38@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.07.2022 г.
После доработки 18.08.2022 г.
Принята к публикации 05.09.2022 г.

В статье анализируются причины неудач с внедрением математических методов и вычислительной техники в управление народным хозяйством СССР в 1960-е годы. Показана неадекватность моделей, предназначавшихся для построения системы оптимального функционирования экономики, тем целям, ради которых эта система создавалась. По мнению автора, подобная ситуация может повториться сейчас в ходе массовой цифровизации.
Поднимается проблема так называемых цифровых двойников, в первую очередь применительно к природным (прежде всего водным), экономическим и социальным объектам. Как и в 1960-е годы, наметилась тенденция игнорировать проблему адекватности конструируемого цифрового двойника его объекту в соответствии с целью моделирования.

Ключевые слова: математические методы в управлении, кибернетика, оптимальное планирование, модель, адекватность, миф, цифровизация, цифровой двойник, база данных, имитация, водный объект.

DOI: 10.31857/S0869587322120040

Цифровизацией в наши дни занимаются во всех государственных учреждениях, научных институтах, университетах, крупных фирмах и т.д. По вниманию, уделяемому СМИ научным направлениям, она сменила фаворита десяти-пятнадцатилетней давности – нанотехнологии. Сколько шума было в конце нулевых годов по поводу нанотехнологий! СМИ говорили и писали, что чудеса нанотехники радикально модернизируют промышленность, позволят изменить структуру экспорта, обеспечив преобладание в нём не сырья, а продукции hi-tech, и решат едва ли не все наши проблемы. Естественно, не решили. В точности по И. Ильфу, который в конце 1920-х годов в записной книжке заметил о радио: “При нём ожидалось счастье человечества. Вот радио есть, а счастья нет” [1, с. 171]. Никто из специалистов и не сомневался в таком исходе нанобума. А что соответствующее направление науки? Да как развивалось, так и развивается, хотя, конечно, не шум в СМИ, а бюджетные вливания ему серьёзно помогли. Но, вполне возможно, что помогли бы больше, если бы шум в СМИ не мешал сосредоточиться на сути дела.



ДАНИЛОВ-ДАНИЛЬЯН Виктор Иванович – член-корреспондент РАН, научный руководитель ИВП РАН.

Цифровизация и нанотехнологии – средства. Чрезмерное увлечение средствами отвлекает от целей, и об этом важном свойстве увлечений нельзя забывать. Есть опасения, что бюджетные финансы, выделяемые на цифровизацию, будут распределены и потрачены далеко не лучшим образом – имеются в виду не только научные направления, но и инициируемая их результатами государственная деятельность. Это крайне нежелательно, особенно если учесть, что финансирование науки в России находится на уровне, совершенно не соответствующем статусу великой державы.

Приоритетными получателями государственных средств слишком часто оказываются те, кто лучше умеет обещать, в том числе добиться невыполнимого, а не те, кто адекватно ставит задачи и обладает потенциалом, необходимым для их решения. Среди цифровизационных проектов немало предложений осуществить неосуществимое, особенно в экологии, управлении природными ресурсами. Мифотворчество и утопизм вместо научной методологии служат источниками аргументации для таких инициатив и приносят успех их авторам именно потому, что несведущим наука часто кажется менее привлекательной, чем яркие краски прожектёрства. Иногда мифотворчество и утопизм сознательно и целенаправленно используются как средства для тривиального удовлетворения экономических интересов. В других случаях к ним невольно, не понимая мифологичности и утопичности провозглашаемого, обращаются энтузиасты, стремящиеся с помощью именно научных методов решить важнейшие социальные, экономические и иные практические задачи, хотя возможности науки и сложность задач оказываются несопоставимыми, по крайней мере, на текущий момент (академик И.Т. Фролов писал об этом ещё в 1983 г. [2, с. 15–26]).

Прежде чем рассмотреть опасности, которые несёт с собой современный утопизм, уже проникший в цифровизационный поток, полезно вспомнить один пример из нашей не слишком давней, но изрядно забытой истории. Новое, как часто случается, – это хорошо забытое старое.

ОПТИМАЛЬНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ: “НАУЧНЫЙ” МИФ И РЕАЛЬНОСТЬ

Нечто похожее на современную цифровизацию (хотя, конечно, масштабы были не те) у нас происходило после того, как партия (КПСС) и правительство (советское) отменили приговор кибернетике как “буржуазной лженауке” в конце 1950-х – начале 1960-х годов (первая в СССР книга о кибернетике [3] вышла в свет в 1958 г.).

Народное хозяйство СССР в те годы демонстрировало удивительные, на первый взгляд, противоречия. С одной стороны, строились гигантские заводы, мощные электростанции, осваивались богатейшие месторождения полезных ископаемых, ракетно-ядерный щит надёжно защищал страну от внешних угроз, успехи в космосе не оставляли сомнений в силе советской науки. С другой стороны, благосостояние советских людей росло явно не теми темпами, какие требовались для построения коммунизма к 1980 г., обещанному Н.С. Хрущёвым на XXII съезде КПСС в 1961 г. Несмотря на очевидное для всех усиление дефицита товаров широкого потребления, официальная пропаганда не без успеха убеждала население в обратном, но в 1962 г. наступил момент истины: власть была вынуждена поднять примерно на 30% цены на мясомолочные и некоторые другие продукты. Ностальгическую строку В.С. Высоцкого “Было дело – и цены снижали” [4, с. 479] можно отнести только к предыдущему периоду (1948–1961), так как инфляционная тенденция с 1960-х годов стала господствующей в советской экономике и со временем только усиливалась [5]. Преодолеть эту тенденцию, обеспечить реальное повышение благосостояния, сопоставимое с достигнутым развитыми капиталистическими странами, никак не удавалось. Глубинной причиной этого негатива с узкоэкономической точки зрения (отвлекаясь от надэкономических причин) были структурные деформации реального сектора народного хозяйства [6], которые только усиливались в результате стараний власти обеспечить товарное наполнение рынка за счёт расширения экспорта сырья.

Острота ситуации была понятна руководству страны. Все мыслящие экономисты (и далеко не только они) в конце 1950-х годов ясно видели, что народное хозяйство фактически в кризисе, но по-разному объясняли его причины и в качестве путей выхода из него предлагали различные способы, нередко несовместимые, взаимоисключающие. Простых и ясных, но при этом идеологически и политически приемлемых решений не находилось. Неуклюжие действия Н.С. Хрущёва – масштабное расширение посевов кукурузы, химизация народного хозяйства, образование Госэкономсовета как органа перспективного планирования (фактически над Госпланом СССР), переход от отраслевого (через союзные и республиканские министерства) к территориальному (через совнархозы в союзных республиках) принципу как главенствующему в управлении народным хозяйством, разделение обкомов на городские и сельские и пр. – укрепляли во мнении тех, кто полагал, что прежде всего нужны перемены в *системе управления экономикой*.

Кибернетика с момента своего возникновения позиционировала себя как наука об управлении. Естественно, что в начале 1960-х годов взоры желавших перемен обратились к этой науке. Правда, едва ли не единственное, что кибернетика могла сказать об управлении экономикой, состояло в утверждении, что необходимы обратная связь между системой управления и управляемой системой и математические модели последней. Но за кибернетикой стояли компьютеры, или, как их тогда называли, электронно-вычислительные машины (ЭВМ), на них уже решали различные научные и инженерные задачи, а с 1957 г. вычисляли траектории спутников – это производило особенно сильное впечатление. Неудивительно, что идею применить компьютеры для расчётов и других цифровых операций (группи-

ровка, сортировка, классификация данных и т.п.) в планировании выдвинул специалист именно по ЭВМ член-корреспондент АН СССР И.С. Брук в 1956 г. на общем собрании академии и получил активную поддержку своих коллег. Речь шла о переводе планирования на новую техническую базу: от счётно-аналитических машин и электрических арифмометров к ЭВМ. Ни о каких изменениях в методологии планирования, новых вычислительных алгоритмах, математических моделях речи ещё не шло. Реализацию этой идеи на практике начали в 1959 г.: был основан Вычислительный центр Госплана СССР, а вслед за ним вычислительные центры постепенно создавались во всех министерствах и ведомствах [7]. Выдвигалась даже идея организации единой государственной сети вычислительных центров [8]. Академик В.М. Глушков настаивал на ещё более радикальном предложении: организовать из многих тысяч существующих и предполагавшихся к созданию вычислительных центров Общегосударственную автоматизированную систему (ОГАС) [7], в которой аккумулировалась бы не только вся используемая органами управления информация, но и множество других данных, до тех пор отсутствовавших в документообороте.

Через несколько лет стало ясно, что таким путём существенно улучшить качество планирования не удастся, одних лишь ЭВМ, автоматизирующих плановые расчёты по прежним схемам, недостаточно; компьютеры могут гораздо больше, но нужны новые подходы, математические модели, а возможно, и изменение организации планового процесса, самой системы управления. Более того, вопрос ставился уже не просто о совершенствовании управления экономикой, а о его *оптимизации*. Стало ясно, что сил технических специалистов, доминировавших в штатах вычислительных центров министерств и ведомств, для решения проблемы в такой постановке заведомо недостаточно, нужны экономисты (“смысловики”), математики (“формализаторы”), вычислители (“алгоритмисты”). И, конечно, к решению надо идти с двух сторон: развивать не только намечающееся новое научное направление (одно из возможных названий – экономическая кибернетика), но и – в непрерывном взаимодействии с ним – уже функционирующий комплекс вычислительных центров, рассматривая его как техническую базу будущей единой государственной системы управления экономикой.

На реализацию такого подхода было направлено Постановление ЦК КПСС и Совмина СССР от 21.05.1963 № 564 “Об улучшении руководства внедрением вычислительной техники и автоматизированных систем управления в народное хозяйство”. Этим постановлением образованы два института – Центральный экономико-математический институт (ЦЭМИ) АН СССР и НИИ по проектированию вычислительных центров и систем экономической информации (НИИ ЦСУ СССР), повышен статус ВЦ Госплана СССР. Это очень серьёзные шаги. На фоне непрерывных дискуссий об экономической реформе, из которых ничего путного так и не вышло, и растущей веры в неограниченные возможности ЭВМ родилась наивная надежда на то, что кибернетизация поможет вылечить болезни советской экономики.

Указания сверху заняться кибернетизацией, причём непременно всем, не было, поэтому из учёных, имевших отношение к экономике, кибернетике, ЭВМ, математическому моделированию, сформировалось несколько групп с принципиально несходными позициями. Необходимость применения математических методов и ЭВМ в управлении экономикой никто не отрицал, разногласия начинались, как только возникал вопрос о границах кибернетизации и её возможностях. Крайнюю позицию занимали экономисты и математики, полагавшие необходимым построить на основе кибернетических и/или математических конструкций (не обязательно моделей в строгом смысле слова) *принципиально новую экономическую теорию социализма* и на этой основе решать все прикладные вопросы. Конечно, такие намерения открыто не провозглашались, против “священной коровы” – официальной политэкономии социализма – прямо выступать было нельзя, использовался эзопов язык, всевозможные недоговорённости, маскировка математическими формулами, терминами и пр., но квалифицированная часть аудитории понимала, о чём идёт речь.

Официально провозглашаемой целью работ этого направления, возглавлявшегося ЦЭМИ АН СССР, было создание проекта системы планирования народного хозяйства страны, причём обязательно *оптимального* планирования, на меньшее эти революционеры не соглашались. Однако рассчитать оптимальный план (натуральные показатели деятельности социалистических предприятий – объёмы производства и потребления) недостаточно, надо обеспечить его выполнение, заинтересовав исполнителей (социалистические предприятия) в строгом следовании плану. Предполагалось, что этого можно добиться назначением соответствующих цен, оптимальных, как и сам план. Более того, при не слишком значительных отклонениях условий выполнения плана (в силу различных случайных событий природного, социального или внешнеэкономического характера) от заложенных при его составлении оптимальные цены должны были ориентировать исполнителей в нужном направлении. (Значительные отклонения требуют пересоставления самого плана.) Эту концепцию, существенно расширенную в сравнении с первоначально предполагавшейся, в ЦЭМИ стали называть *систе-*

мой оптимального функционирования экономики (СОФЭ).

Как формулировалось в многочисленных публикациях (например [9, с. 117, 118]), концепция СОФЭ основывалась на трёх "аксиомах": 1) существует цель развития социалистической экономики[1], которую можно математически выразить через показатели плана[2]; 2) в каждый момент времени используемые ресурсы ограничены; 3) экономика имеет иерархическую структуру, причём в случае оптимального плана, включающего как натуральные, так и ценовые показатели, каждому элементу иерархии выгодно именно то, что выгодно народному хозяйству в целом. Отсюда фактически делался вывод, что экономику можно – во всех деталях! – описать блочной моделью линейного программирования (может быть, посложнее: нелинейного стохастического с элементами дискретности), точнее – единой системой таких моделей. Хорошо известно, что каждой линейной или выпуклой задаче математического программирования (прямой) соответствует двойственная задача, неизвестные которой – оценки оптимального плана[3], как бы стоимостные оценки тех, условно говоря, ресурсов, количество которых задано ограничениями прямой задачи. Именно этот математический факт лежал в основе уверенности сторонников СОФЭ в том, что, построив модель или систему моделей оптимального планирования, на основе принципа двойственности можно будет вычислить и систему цен на все виды производимой продукции, как оптовых, так и розничных.

В ноябре 1966 г., через три с половиной года после Постановления № 564, в Научном совете по проблеме "Экономические закономерности развития социализма и его перерастания в коммунизм" при Отделении экономики АН СССР состоялась дискуссия по оптимальному планированию [9]. Был представлен доклад директора ЦЭМИ академика Н.П. Федоренко, отражавший позицию радикальных новаторов. В ходе дискуссии активно обсуждались прежде всего такие вопросы, как: соответствуют ли цены оптимального плана общественно необходимым затратам труда; оригинальна ли теория оптимального планирования или она вторична по отношению к теории трёх факторов (восходящей к Ж.Б. Сэю); совместим ли маржинализм[4], который явно просматривается в некоторых утверждениях новаторов, с теорией трудовой стоимости и т.п. Но удивительно, что по прошествии трёх с половиной лет целенаправленных исследований возможностей применения математики и кибернетики в управлении социалистической экономикой никто не поставил вопроса об *адекватности* обсуждавшихся (точнее, подразумевавшихся в обсуждении, но ещё отнюдь не построенных) математических моделей тем объектам, которые, как предполагалось, этими моделями отображаются в соответствии с поставленными задачами. Видимо, догматики не смогли этого сделать вследствие полного отсутствия знаний о моделировании, а хорошо подготовленные и опытные прагматики решили, что откровения о реальных возможностях экономико-математического моделирования наверняка повредят делу внедрения информационно-вычислительной техники в управление; радикальные же новаторы были до такой степени загипнотизированы творимым ими самими мифом, что утратили способность относиться к нему критически. Что же это был за миф?

В отличие от рыночной системы, где цены стихийно формируются в ходе функционирования рынка, в централизованной системе они устанавливаются органами планирования. Классики марксизма-ленинизма не оставили никаких рецептов относительно того, как это надлежит делать, а их последователи, развивая политическую экономию социализма, так и не разработали никаких методик планового ценообразования, хотя непрерывно и притом очень горячо спорили о его теоретических основах. Ограничиться тем, что цены в социалистическом хозяйстве должны балансировать спрос и предложение, – значит заниматься имитацией рынка, в то время как плановая цена должна выполнять гораздо более важные и широкие функции. Однако вопросы о том, что это за функции и как рассчитать такие цены, оставались без ответа. Концепция СОФЭ предлагала подход к решению всех проблем, связанных с ценообразованием в централизованной системе управления народным хозяйством, причём подход, основанный на использовании математики и

[1] Точная формулировка так называемого основного экономического закона социализма по первоисточнику: "обеспечение максимального удовлетворения постоянно растущих материальных и культурных потребностей всего общества путём непрерывного роста и совершенствования социалистического производства на базе высшей техники" [10, с. 40]. Этот закон не подвергался ни малейшему сомнению даже после разоблачения культа личности его автора, вплоть до конца 1980-х годов.

[2] В математике оптимизируемую функцию называют *целевой функцией*. По необъяснимым причинам в СОФЭ вместо этого термина обычно использовался другой – *критерий оптимальности*, хотя терминологически корректно так называть вовсе не оптимизируемую функцию, а условие, при выполнении которого достигается оптимум.

[3] Оценки оптимального плана называют также оптимальными оценками, объективно обусловленными оценками (по Л.В. Канторовичу), множителями Лагранжа и пр.

[4] Маржинализм (фр. marginalisme, от лат. margo (marginis) – край) – направление в экономике, признающее принцип *снижающейся предельной полезности*, когда каждая последующая единица потребляемого блага становится для хозяйствующего субъекта всё менее ценной (вследствие перенасыщения), фундаментальным элементом теории стоимости. (*Прим. ред.*)

кибернетики, метода моделирования, с перспективой полной компьютеризации всех расчётов. Это производило сильное впечатление на многих теоретиков и даже практиков социалистического планирования. И никто из участников дискуссии не воскликнул: “А король-то голый!”, хотя для этого были все основания. А именно: модели, которые предполагалось построить для составления оптимального плана, не могли быть ни линейными, ни выпуклыми, никакие двойственные задачи им не соответствовали и никаких оценок оптимального плана для этих моделей существовать не могло (напомним: речь идёт о задачах математического программирования нелинейных, невыпуклых, стохастических, с элементами дискретности[5]). Можно приводить и другие аргументы в пользу мифологичности концепции СОФЭ, но вполне хватает этого одного[6].

Дискуссия констатировала наличие существенно различных точек зрения на обсуждаемую проблему и необходимость сотрудничества для выработки единого подхода. Поскольку все участники остались на своих прежних позициях и никакого сдвига в развитии сотрудничества не произошло, есть все основания утверждать, что дискуссия закончились ничем. Ничего значительного, сопоставимого с заявлявшимися целями не дали и продолжавшиеся три десятилетия попытки разработать СОФЭ[7]. А применение компьютеров в управлении экономикой России по сей день почти полностью сводится к выполнению рутинных расчётных процедур и использованию баз данных.

К 1980-м годам относится кампания информатизации, направленная на расширение использования информационно-вычислительной техники во всех областях деятельности, не только в управлении экономикой. В этом случае не было претензий на получение нового знания, создание новых теорий и т.п., не было даже намерения создавать что-либо подобное ОГАС В.М. Глушкова – единое, всеохватное, централизованно управляемое. Всё было гораздо прагматичнее: внедрить компьютеры там, где они в развитых странах уже полтора-два десятилетия широко использовались, а в СССР только ещё ждали своего часа. Можно констатировать, что эта кампания дала заметные результаты: был в значительной мере компьютеризирован конторский труд, получили широкое распространение базы данных, системы автоматизированного проектирования, АСУ технологических процессов и пр. Всё это стало возможным благодаря скачку в развитии информационно-вычислительной техники, в частности, появлению персональных компьютеров и новых средств связи.

Сколько раз в 1960-е годы приходилось слышать заявления такого рода: “Создайте ЭВМ со скоростью миллиард операций в секунду, и мы рассчитаем оптимальный план для экономики СССР”. Конечно, подобные обещания давались не для печати, но в ряде публикаций тех лет они следуют из подтекста [11]. Отсчёт скорости современных суперкомпьютеров начинается с десяти триллионов операций в секунду (точнее – флопсов), но уже никто не провозглашает, что может составить на таком компьютере оптимальный план для экономики Российской Федерации или хотя бы Коста-Рики. И дело совсем не в скорости или объёме памяти компьютеров либо их системы, а в возможности формализации процессов, которыми собираются управлять. А эта возможность зависит от двух факторов: характера самих процессов и нашего понимания этого характера. К сожалению, характер невероятно сложен, а наше понимание, честно говоря, довольно примитивно.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ВМЕСТО МОДЕЛЕЙ – МИФ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Волна цифровизации накрывает сейчас все направления государственной деятельности, и есть опасность, что среди тех задач, которые при этом будут пытаться решать, окажется немало мнимых, ненужных, неграмотно поставленных. Новые ошибки – очень часто повторение хорошо забытых или непонятых старых ошибок. По-другому это называется “наступать на одни и те же грабли”. Надо выяснить, какие “грабли” лежат на пути нынешней цифровизации. Постараемся описать хотя бы некоторые из опасных ловушек, используя примеры главным образом из области эколого-гидрологических исследований, необходимых для разработки и реализации мер по оздоровлению наших рек, по нормализации экологической обстановки в их бассейнах, по рационализации водопользования.

Представляется, что главная опасность связана с непониманием сущности метода моделирования (а следовательно, и компьютерного моделирования). Сейчас вошёл в моду слоган “цифро-

[5] Элементы дискретности в моделях планирования неизбежны, в частности, когда требуется сделать выбор одного из нескольких возможных альтернативных вариантов (например, проектов сооружения нового предприятия).

[6] Как в случае с Наполеоном: однажды он приехал в какой-то форт, но артиллерийского салюта в его честь не прозвучало. “Почему?” – спросил император начальника форта. “Ваше Величество, тому есть множество причин”, – отвечал начальник. “Во-первых, форт не имеет ни одного орудия”, – “Достаточно”, – прервал его Наполеон.

[7] Конечно, это ни в коей мере не умаляет теоретического и прикладного значения математического программирования или кибернетики, огромной ценности компьютерной техники, ставшей незаменимым инструментом в жизни современного человека. Попытка неправильного использования средства бросает тень на пользователя, а вовсе не на средство.

вой двойник". Вот как определяет это понятие Википедия: "Цифровой двойник (англ. digital twin) – цифровая копия физического объекта или процесса, помогающая оптимизировать эффективность бизнеса. Концепция "цифрового двойника"... призвана помочь предприятиям быстрее обнаруживать физические проблемы, точнее предсказывать их результаты и производить более качественные продукты" [12]. Цитирование Википедии – вынужденное, так как ни в книгах, ни в учебниках, ни тем более в энциклопедиях этот ныне популярный термин у нас пока не встречается. Приведённое описание интересующего нас понятия признать полноценным определением вряд ли возможно, поскольку неясно, что такое "цифровая копия". "Копия" нисколько не лучше "двойника", это понятие не подводит определяемое под более общий класс объектов и не наделяет его какими-либо специфическими признаками.

Но в этом описании есть два справедливо отмеченных важных момента: цель построения цифрового двойника – "оптимизировать эффективность бизнеса" (а вовсе не содействовать научным исследованиям и обогащению наших знаний), класс решаемых проблем – физические, а точнее, как следует из приведённой цитаты и дальнейшего текста в Википедии, – технические. На самом деле ограничение сферы применения методологии техническими проблемами означает, что цифровые двойники строятся для технических систем. Правомерно ли распространение методологии на нетехнические системы – природные, социальные, экономические? Ответ полностью зависит от того, что всё же понимается под цифровым двойником и какие задачи предполагается решать с его помощью.

В теории моделирования сложных систем всегда подчёркивается, что говорить о модели объекта вообще – некорректно. Правомерно говорить о модели объекта только применительно к конкретной цели, которую относительно этого объекта хочет достичь исследователь, прогнозист, плановик, управленец и пр.[8] Для многих задач небесной механики планету, в том числе Землю, достаточно рассматривать как материальную точку, модель (описание) которой сводится к девяти числам: момент времени, масса, три координаты точки, величина скорости и три координаты направления движения. Однако для целей, например, климатологии такая модель планеты совершенно неадекватна, не говоря уже о других научных дисциплинах. Если требуется оценить, сколько воды может удержать водохранилище при половодье или паводке, чтобы предотвратить наводнение, нужна одна модель, а если необходимо прогнозировать изменение качества воды в нём при застройке зон санитарной охраны – совсем иная. Моделей, которые адекватны всем интересующим нас целям, для сложных систем построить невозможно. Это свойство сложных систем некоторые методологи даже принимают в качестве определения сложной системы. А из всех материальных систем (объектов) "несложными" являются только технические (но, конечно, не все, к АЭС или суперкомпьютерам, например, это не относится). С этих позиций к определению из Википедии претензий нет: в нём сказано, что цифровые двойники помогают "оптимизировать эффективность бизнеса". Конечно, это нельзя считать чёткой постановкой цели, но во всяком случае тут характеризуется некоторый класс целей, можно сказать, предназначение цифровых двойников. Не имея внятного определения, попробуем понять, для каких объектов и с какими целями строятся конструкты, которым присваивается такое название.

Как представляется, большинство цифровых двойников – это базы данных (БД) нового поколения, с методологической точки зрения принципиально не отличающегося от предыдущего. Возросли мощности компьютеров, и появились возможности значительно увеличить параметры баз данных. Но принципы построения систем управления БД существенно не изменились: примерно те же, что и раньше, иерархические структуры, классификации, поисковые алгоритмы, способы пополнения и обновления информации в режиме онлайн и т.д. Это относится к БД, используемым во всех областях, в том числе и в научных исследованиях.

Не слишком трудно (были бы деньги) сформировать БД о персонале огромной фирмы с сотней тысяч работников, где каждый из них будет подробно описан (десятки типов сведений), куда будет заноситься информация о результатах работы за каждый день через датчики, либо оборудованные на рабочем месте (автоматические, подсоединённые к оборудованию), либо из персональных компьютеров, на которых соответствующие сведения вводятся самим исполнителем, и т.д. и т.п. Конечно, это уже не просто база данных, это – big data, "большие данные", если воспользоваться ещё одним новомодным слоганом. Однако даже при огромном объёме вмещаемой информации, таком, что уже не удаётся придумать, чем бы ещё можно было её пополнить, такая БД не будет ни моделью фирмы, ни моделью коллектива работников фирмы, хотя – при хорошей организации и надлежащем программном обеспечении – она очень полезна для отдела кадров, бухгалтерии и менеджмента. Стоит ли называть её цифровым двойником коллектива работников фирмы, остаётся вопросом.

[8] Методологические основы моделирования сложных систем достаточно подробно освещаются, например, в работе [13].

Нетрудно устроить и БД, в которой будет содержаться информация обо всех деревьях городского лесопарка с несколькими десятками или сотнями тысяч деревьев. Если имеются надлежащим образом оборудованные дроны и системы обработки получаемых с них снимков, то для каждого дерева можно определить географические координаты (с точностью до дециметров) и его биологический вид, а также оценить размеры кроны (точнее, её проекции на горизонтальную плоскость). Можно добавить информацию, полученную контактным способом: предполагаемый возраст каждого дерева, диаметр его ствола на заданной высоте от поверхности и т.п. Такая БД может помочь не в "оптимизации эффективности бизнеса", а в достижении воспитательных, образовательных, эколого-пропагандистских целей. Но ни в коей мере она не является моделью экосистемы лесопарка, поэтому называть подобную БД цифровым двойником лесопарка – примерно то же, что сказать о цифровой фотографии, будто она служит цифровым двойником человека, на ней изображённого.

Применительно к технологическим системам (автомобилям, дронам, телевизорам, генераторам электрического тока, прокатным станам, установкам термического крекинга и т.п.) в слова "цифровой двойник" вкладывается совсем другой смысл, нежели подразумеваемый, когда говорят о БД. Цифровой двойник этих систем фактически представляет собой компьютерную имитационную модель, предназначенную для ответа на вопрос, как будет функционировать объект при тех или иных внешних условиях, управляющих воздействиях, выходе из строя отдельных его элементов и т.п. В такой модели описаны *все элементы системы* (со всеми их техническими характеристиками и всеми предполагаемыми состояниями) и *все связи между ними*, *все реакции элементов* на воздействия на них (по бихевиористской схеме "стимул–реакция"). Естественно, имитируется поведение системы не в любых мыслимых обстоятельствах; класс рассматриваемых (возможных, допустимых) ситуаций априори ограничен и чётко описан; он включает не только все штатные режимы и ситуации, но и самые существенные, наиболее вероятные отклонения от них. Представляется, что называть цифровым двойником объекта подобную имитационную модель вполне корректно. С её помощью можно прогнозировать последствия комбинированных (сочетанных) воздействий на моделируемую систему, выявлять слабые (критические) места в ней, оценивать возможные изменения конструкции (усиление каких-либо её элементов и пр.) и многое другое.

Возможно ли построить подобные цифровые модели для нетехнических систем – биологических, экологических, гидрологических, социальных, экономических? На наш взгляд, для корректности использования слова "двойник" необходимо, как минимум, чтобы в нём индивидуально были описаны все элементы системы и все необходимые для её функционирования связи между ними хотя бы при нормальных условиях. Выполнение уже этого требования представляется крайне маловероятным по причине чрезвычайной многочисленности элементов и связей между ними в упомянутых системах. Более того, о многих элементах мы ничего не знаем. Так, биологи спорят о том, какой процент биологических видов остаётся неизвестным науке, а ведь все такие организмы – элементы интересующих нас экосистем, выполняющие свою экологическую работу. Кстати, для примера напомним, что в 1 $см^3$ пресной воды из природного объекта содержится до 1 млн живых организмов. Если же, как и делается в науке, не рассматривать всё множество индивидуальных элементов, а хотя бы некоторые из них объединить в агрегаты, то получится не двойник, а модель – образ объекта, упрощённый в соответствии с целью моделирования и более удобный для изучения, чем сам объект (или его копия, двойник, пусть даже и цифровой).

Далее, если в технических системах реакции на воздействия и само возникновение воздействий описываются детерминистски или как случайные величины с известными статистическими характеристиками, то для нетехнических систем характерно наличие неопределённостей, не поддающихся статистическому описанию. И дело не только в недостаточности наших знаний, но сплошь и рядом в самой природе явлений. По-видимому, принципиально непознаваемо, когда распадётся конкретный атом радиоактивного элемента. Если таких атомов очень много, можно оценить время, за которое распадётся их половина (то есть рассчитать период полураспада). Похожие случаи (с точки зрения количественного оценивания ситуации) типичны для нетехнических систем. В экологии, биологии, гидрологии, социологии, экономике и пр. постоянно приходится рассматривать не только статистические ансамбли, но и отдельные их составляющие (впрочем, и в экспериментальной физике отдельные атомы и даже отдельные элементарные частицы постоянно становятся объектами наблюдений). Однако и ансамбли часто не удовлетворяют аксиоматике теории вероятностей и не могут рассматриваться как генеральные совокупности. В объектах, изучаемых с привлечением методов механики сплошной среды, часто вообще не удаётся понять, что можно было бы рассматривать в качестве элементов: что такое, например, "элемент реки"?

Специалистам по цифровизации, далёким от гидрологии, но заинтересовавшимся проблемами охраны и восстановления водных объектов, кажется, что стоит только разместить в реке и на

территории её бассейна достаточное количество разнообразных датчиков и учредить станцию приёма непрерывно поступающей от них информации, оснащённую соответствующим оборудованием и программным обеспечением, и цифровой двойник реки будет готов, в компьютере потечёт "цифровая река". Увы, это далеко не так. В лучшем случае таким путём можно соорудить цифровой двойник мониторинговой системы, только зачем он нужен? Для построения имитирующего цифрового двойника необходимо знать свойства всех элементов системы и/или их ансамблей, закономерности их взаимодействий, их реакций на всевозможные внешние влияния и т.п. В конкретных случаях цифровые описания этих закономерностей надо калибровать ad hoc и т.д. Вполне адекватное представление о таких проблемах гидрологии и смежных дисциплин можно получить из работы [14].

Но дело не только в отмеченных (чрезвычайных!) трудностях и множестве других, оставленных здесь за кадром. Возникает вопрос: нужен ли имитирующий цифровой двойник реки или её бассейна, озера или водохранилища, участка территории над многолетнемёрзлыми породами, испытывающего потепление климата, экосистемы, деградирующей под усиливающимся антропогенным воздействием, производственного предприятия, общественной организации и других самых разнообразных сложных нетехнических систем? Обо всех мыслимых системах говорить не будем, а относительно, например, водных объектов представляется, что не нужен. Отнюдь не устарел обычный, традиционный подход к их изучению методами компьютерных расчётов по математическим моделям. Если мы хотим что-то изменить в реальности, для этого должны быть причины, побуждающие поставить конкретные научные или практические цели. Пусть эти цели таковы, что их достижение предполагает использование компьютерных технологий. Достаточно ли построить БД или нужны более сильные средства? Если нужны, значит, надо заниматься моделированием. Модель (или система моделей), как уже отмечалось, должна быть моделью объекта не "вообще", а ориентированной на конкретную цель. Без такой ориентации даже при непомерных затратах денег, сил и времени толку не будет никакого.

Основная гидрологическая проблема, которую собираются решать посредством цифровых двойников, – оздоровление рек и их бассейнов. Для решения этой задачи прежде всего надо выяснить, известны ли основные источники загрязнения. Если они известны, то спланировать первые шаги не слишком трудно. В индустриально развитых районах таковыми чаще всего служат организованные стоки промышленных предприятий и городская канализация, на них приходится самая большая доля попадающих в воду реки поллютантов; в сельскохозяйственных районах преобладает диффузное загрязнение – сток от неточечных (распределённых) источников, прежде всего с сельскохозяйственных полей (но также с территорий населённых пунктов, промплощадок, дорог, полигонов для хранения отходов, свалок и др.). Тонкий количественный анализ здесь очень непрост, особенно с диффузным загрязнением, причём прямые измерения (с помощью датчиков и пр.) непосредственно мало что дают, получаемую с их помощью информацию вкупе с различными другими данными надо обрабатывать на сложных моделях, чтобы получить хотя бы приблизительные оценки. Средства моделирования постоянно развиваются, обогащаются принципиально новыми подходами (нейронные сети, фракталы и др.).

Но для всех таких разысканий цифровой двойник не требуется! Создание этого монстра цифровизации съест все те средства, которые можно было бы потратить на очистные сооружения для самых опасных источников загрязнения. И первый шаг для решения задач экологического оздоровления, как правило, состоит в выборе одного-двух мероприятий из не слишком большого их набора. Конечно, для обоснования выбора нужны и расчёты, и модели, но не цифровой двойник. Не понадобится он и для дальнейших шагов. В принципе сама задача оптимального размещения датчиков для обеспечения информацией компьютерных моделей, используемых в управлении, вполне решаема методами традиционного моделирования, и нет никакой необходимости в цифровом двойнике, если соответствующая наблюдательная сеть построена.

Обычно первое же столкновение с реальностью охлаждает неумеренный пыл энтузиастов цифровизации. Они прикидывают, сколько денег, времени и сил потребуется для создания цифрового двойника какой-нибудь малой реки, то есть с площадью бассейна менее 2000 км^2. Созидать предполагается путём импровизированного размещения как можно большего количества датчиков и организации центра приёма информации. Как и для чего обрабатывать эту информацию, предполагается решить потом; возможно, созданный таким образом цифровой двойник сам ответит на подобные вопросы – всё-таки, искусственный интеллект! Но дороговато будет. А если речь идёт об Обь-Иртышском бассейне площадью 2990000 км^2? Комментарии здесь не требуются, как и разговоры о "революционизирующей цифровизации Обь-Иртышского бассейна" [15].

Как бы ни трактовать понятие "цифровой двойник", оно означает одну из возможных информационных компьютерных моделей – хороших или плохих, полезных или бесполезных,

чрезвычайно затратных или приемлемых по цене. Но коль скоро цифровой двойник – это модель, при его создании прежде всего требуется, выбрав объект и цель моделирования, задаться вопросом об адекватности конструируемой модели её объекту в соответствии с поставленной целью. Это не было сделано разработчиками СОФЭ, желавшими получить от предполагавшихся моделей то, чего они заведомо дать не могли (систему цен), и ту же ошибку, хотя и в другом контексте, повторяют некоторые современные творцы цифровых двойников, убеждённые во всемогуществе компьютеров и вообще не сопоставляющие модель с масштабом её объекта и целью построения.

Для развития гидрологии и для практической деятельности по управлению водными ресурсами – оздоровлению наших рек и водохранилищ, рационализации водопользования, защите от наводнений и т.д. – нам многого не хватает. Прежде всего финансовых средств. Этим вопросам уделялось явно недостаточное внимание и в СССР, и в 1990-е годы, когда страна переживала тяжелейший экономический кризис, и в период 2000–2007 гг., отмеченный нефтедолларовым дождём, и в недавние кризисные годы, и сейчас. Не хватает кадров: в стране, занимающей второе место в мире по объёму возобновляемых водных ресурсов, ежегодно выпускается ничтожное число специалистов-гидрологов. Не хватает информации: сеть гидрологических наблюдений всё ещё не восстановлена до уровня конца 1980-х годов (по современным меркам, совершенно недостаточного). Не хватает внимания к этой проблематике со стороны политиков, СМИ, общественных организаций, населения. Хотя в последние два-три года в этом отношении можно отметить некоторый позитивный сдвиг. В то же время шумиха вокруг цифровизации (подобное явление Клод Шеннон описал в отношении теории информации в статье “Бандвагон” [16] ещё в 1956 г.) будет только отвлекать и средства, и кадры, и внимание от серьёзных дел как в управлении водными ресурсами, так и в других жизненно важных сферах.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН “Институт водных проблем РАН” (тема FMWZ-2022-0002).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ильф И., Петров Е.* Собр. соч. В 5 т. Т. 5. М.: Художественная лит-ра, 1996.
2. *Фролов И.Т.* О человеке разумном и гуманном, а также о биокиборгах, бессмертии и воскрешении мёртвых и вообще о мифологии в век НТР // Мифология века НТР: утопии, мифы, надежды и реальность новейших направлений науки. М.: ЛЕНАНД, 2020.
3. *Полетаев И.А.* Сигнал. О некоторых понятиях кибернетики. М.: Советское радио, 1958.
4. *Высоцкий В.* Сочинения. В 2 т. Т. 1. М.: Художественная лит-ра, 1991.
5. *Корнаи Я.* Дефицит / Пер. с венг. М.: Наука, 1990.
6. *Данилов-Данильян В.И.* Бегство к рынку. М.: Дело, 1991.
7. *Кутейников А.В.* Первые проекты автоматизации управления советской плановой экономикой в конце 1950-х и начале 1960-х гг. – “электронный социализм”? // Экономическая история. Обозрение: журнал. 2011. Вып. 15. С. 124–138.
8. *Кобринский Н.Е., Пугачёв В.Ф., Ипп Л.С., Олейник Ю.А.* Некоторые вопросы структуры и организации единой государственной сети вычислительных центров // Бюллетень Государственного Комитета по координации научно-исследовательских работ СССР. 1964. № 1.
9. Дискуссия об оптимальном планировании. М.: Экономика, 1968.
10. *Сталин И.* Экономические проблемы социализма в СССР. М.: Госполитиздат, 1952.
11. *Каценелинбойген А.И., Овсиенко Ю.В., Фаерман Е.Ю.* Методологические вопросы оптимального планирования социалистической экономики. М.: ЦЭМИ АН СССР, 1966.
12. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%BA (дата обращения 17.08.2022).
13. Экономико-математический энциклопедический словарь / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. М.: Большая Российская энциклопедия; ИНФРА-М, 2003.
14. Избранные труды Института водных проблем РАН (1967–2017). В 2 т. М.: Курс, 2017.
15. *Девянин И.* Реки: реальные и цифровые // Кузбасс. Ежедневная областная газета. 4 июля 2019 г.
16. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике. М.: Иностранная литература, 1963.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 12, с. 1133–1144

ТОЧКА ЗРЕНИЯ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ РОСТА ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

© 2022 г. А. А. Акаев[a,*], А. И. Рудской[b,**], В. В. Кораблёв[b,***], А. И. Сарыгулов[c,****]

[a]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[b]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
[c]Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: askarakaev@mail.ru
** E-mail: rector@spbstu.ru
***E-mail: korablev@spbstu.ru
****E-mail: dept.cfr@unecon.ru

Поступила в редакцию 23.05.2022 г.
После доработки 31.05.2022 г.
Принята к публикации 21.06.2022 г.

Резкое изменение геополитической ситуации в мире после начала специальной военной операции России на Украине уже сказывается на мировых энергетических рынках. Постепенный отказ от российских энергоносителей, анонсированный странами Европы, ставит на повестку дня вопрос не только о новых энергетических маршрутах, но и о новых альтернативных источниках энергии. Скорее всего, следует ожидать, что Климатический пакт Глазго не будет выполнен, а поэтапный отказ от угля как самого разрушительного для экологии ископаемого топлива затянется на долгие годы. Невозможность быстрого отказа от ископаемых видов топлива, в первую очередь угля и нефти, уже стала одной из причин поиска новых источников энергии с нейтральным или низким углеродным следом. Энергетика, основанная на возобновляемых источниках, таких как ветер и солнце, получившая быстрое развитие в последние 30 лет, пока не стала серьёзной альтернативой традиционной энергетике, основанной на нефти, угле и газе. Это в значительной степени объясняет повышенный интерес к водороду как источнику энергии. Однако на пути становления водородной энергетики всё ещё существуют значительные барьеры, прежде всего технологического и экономического характера. В статье проводится комплексный анализ основных препятствий на пути использования водорода как конкурентного источника основным видам ископаемого топлива.

Ключевые слова: водород, технологии, барьеры развития, энергетика, экономика, энергетический переход.

DOI: 10.31857/S0869587322100024






АКАЕВ Аскар Акаевич – доктор технических наук, иностранный член РАН, главный научный сотрудник ИМИСС МГУ им. М.В. Ломоносова. РУДСКОЙ Андрей Иванович – академик РАН, ректор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. КОРАБЛЁВ Вадим Васильевич – доктор физико-математических наук, профессор, советник при ректорате Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. САРЫГУЛОВ Аскар Исламович – доктор экономических наук, главный научный сотрудник СПбГЭУ.

Интерес в последние годы к водороду как источнику энергии в значительной степени объясняется всё более жёсткими требованиями к уровню выбросов CO_2, особенно в развитых странах, не имеющих собственных значительных запасов природного ископаемого топлива. К таковым можно отнести практически все страны Европы за исключением Норвегии, а также Японию и Корею. Другим фактором стали политические решения Германии и Японии после аварии на АЭС Фукусима в 2011 г. по полному или частичному сокращению использования атомной энергетики. Ценовой фактор на такие энергоносители, как нефть и природный газ, особенно в периоды самых высоких цен (147 долл./баррель в июле 2008 г., 1924 долл./тыс. куб. м в октябре 2021 г.), также стимулировал интерес к водороду. Немаловажное значение имеет бесценный позитивный опыт, который страны Евросоюза накапливали в течение почти четверти века в области разработки и использования инновационных технологий генерации электричества на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

ОПЫТ РАЗВИТИЯ ВИЭ КАК СЦЕНАРИЙ ПЕРЕХОДА К ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Успехи в сегменте ВИЭ послужили основанием для принятия долговременной энергетической программы ЕС о переходе к 2050 г. на энергетическую систему с нулевыми выбросами CO_2. Важной составной частью этой программы стали ориентиры на полномасштабное использование ВИЭ в электроэнергетическом, теплоснабжающем и транспортном секторе и секторе опреснения воды к 2050 г. Такие амбициозные цели хорошо согласовывались с уже заявленными ранее новыми тенденциями – переходом к третьей промышленной революции, в основе которой лежат зелёные технологии, уменьшающие негативное воздействие на окружающую среду последствий глобального потепления, которые обусловлены антропогенным фактором [1]. В ряде работ одного из авторов данной статьи также рассматривались проблемы, связанные с глобальным потеплением и его возможными последствиями, построением низкоуглеродных сценариев энергетического развития и перехода на ВИЭ [2–4].

Хотелось бы отметить последовательность энергетической политики ЕС: в нынешнем году ещё раз была подтверждена приверженность амбициозным целям, а в качестве промежуточного результата определено сокращение чистых выбросов парниковых газов как минимум на 55% к 2030 г. по сравнению с 1990 г. [5]. Подчеркнём, что показатели и энергетического баланса Евросоюза, и производства электроэнергии отражают значительный рост доли ВИЭ: в производстве электроэнергии она выросла с 16.3% в 2005 г. до 34.6% в 2019 г., а в энергобалансе – с 8.5% в 2004 г. до 18.0% в 2018 г. [6, 7].

Существенный технологический прогресс в развитии возобновляемых источников энергии, прежде всего энергии солнца и ветра (энергоустановки на суше и на море), позволил резко повысить экономическую эффективность проектов на основе ВИЭ. Согласно последним данным о затратах Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), глобальная средневзвешенная приведённая стоимость электроэнергии (LCOE), то есть средняя расчётная себестоимость производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла электростанции (включая все возможные инвестиции, затраты и доходы) солнечной фотоэлектрической энергии (PV) для коммунальных предприятий в период с 2010 по 2019 г. упала на 82%; для наземных энергоустановок – на 39%, а морских – на 29%. Глобальная средневзвешенная LCOE для наземных ветроэнергетических проектов, введённых в эксплуатацию в 2019 г., снизилась до 0.053 долл./квт.ч, по сравнению с 0.086 долл./квт.ч в 2010 г. Для морской ветроэнергетики за этот же период данный показатель уменьшился с 0.161 долл./квт.ч. до 0.115 долл./квт.ч [8]. С 2000 по конец 2019 г. мировые мощности по производству возобновляемой энергии увеличились в 3.4 раза – с 754 гигаватт (ГВт) до 2537 ГВт [9]. Рост мощностей сопровождался и ростом числа занятых в отрасли: их абсолютная численность выросла с 5.6 млн человек в 2012 г. до 9.5 млн в 2019 г. [10].

Однако не все регионы мира демонстрировали такое масштабное замещение традиционных источников энергии на возобновляемые, как страны Евросоюза. Неравномерность технологического роста и выбор разных моделей развития экономики привели к существенному разрыву в использовании “зелёных” технологий между различными странами. Два эмпирических факта, которые будут приведены далее, существенно снижают позитивные ожидания от глобального использования ВИЭ как реальной альтернативы ископаемым видам топлива, по крайней мере, до конца нынешнего столетия. Первый эмпирический факт относится к динамике мирового энергетического баланса за последние 45 лет, с 1973 по 2018 г. (табл. 1).

Прежде всего обращает на себя внимание незначительная доля ВИЭ в мировом энергобалансе – всего 2.01%, хотя за этот период произошёл более чем одиннадцатикратный рост её доли. За это же время практически в одинаковой пропорции возросли как потребление энергоресурсов, так и выбросы CO_2. Если обратиться к энергобалансам за 2018 г. пяти наиболее энергопотребляющих экономик мира (табл. 2), то можно найти

Таблица 1. Динамика мирового энергетического баланса и эмиссии CO_2

Источники энергии	1973		2018	
	Объём, Mtoe	Доля, %	Объём, Mtoe	Доля, %
Уголь	1474.0	23.73	3893.68	27.0
Нефть	2938.22	47.3	4552.55	31.57
Природный газ	990.94	15.95	3293.12	22.83
Ядерная энергетика	53.04	0.8	706.81	4.9
Гидроэнергетика	110.29	1.77	362.33	2.51
Биотопливо и отходы	638.16	10.27	1324.21	9.18
Другие источники (геотермальные, солнечные, ветряные)	6.13	0.18	288.44	2.01
Всего	6210.77	100	14421.15	100
Эмиссия CO_2, млн т	14531.0	–	33513.0	–

Составлено авторами по данным источников [11, 12].

Таблица 2. Энергетический баланс и эмиссия CO_2 отдельных стран в 2018 г.

Источники энергии	Китай		США		Индия		Япония		Россия	
	Mtoe	%	Mtoe	%	Mtoe	%	Mtoe	%	Mtoe	%
Уголь	1885.9	59.0	232.0	10.4	251.9	27.4	109.7	25.7	118.5	15.6
Нефть	639.2	20.0	803.1	36.0	229.9	25.0	166.5	39.0	151.9	20.0
Природный газ	223.7	7.0	713.9	32.0	55.2	6.0	98.2	23.0	410.0	54.0
Ядерная энергетика	63.9	2.0	223.1	10.0	9.2	1.0	17.1	4.0	53.2	7.0
Гидроэнергетика	108.7	3.4	24.5	1.1	12.0	1.3	6.8	1.6	19.0	2.5
Биотопливо и отходы	95.9	3.0	102.6	4.6	180.2	19.6	9.8	2.3	3.0	0.4
Другие источники (геотермальные, солнечные и ветряные)	179.1	5.6	131.6	5.9	181.0	19.7	18.7	4.6	3.7	0.5
Итого	3196.4	100	2230.8	100	919.4	100	426.8	100	759.3	100
Объём эмиссии CO_2, млн т	9 571		4921.1		2307.8		1080.7		1587.0	

Составлено авторами по данным источников [13–18].

объяснение всё ещё сохраняющейся высокой доли ископаемых источников энергии.

Самой высокой долей возобновляемой энергии характеризуется экономика Индии – 19.7%, что более чем в 3 раза превышает долю природного газа. Самой низкой – экономика России, всего 0.5%. Три мировых лидера по объёму ВВП – Китай, США и Япония – в сегменте ВИЭ производят 5–6% потребляемой энергии. При этом надо отметить, что доля угля в энергобалансе Китая составляет почти 60%, а ведь именно уголь является основным источником выбросов CO_2, поэтому вполне объяснимо лидерство этой страны по выбросам. В неразрывной связи с энергобалансом находится производство электроэнергии. Электроэнергетика, с которой связана вторая промышленная революция, существенно влияет на все сферы экономической и социальной жизни. Поэтому данные о структуре мирового производства электроэнергии и установленной мощности электростанций могут быть важным индикатором основных трендов декарбонизации (табл. 3).

Здесь необходимо отметить, что по доле выработки электроэнергии ВИЭ занимают четвёртое

Таблица 3. Структура мирового производства электроэнергии и установленной мощности электростанций (на 01.01.2019 г.)

Генерирующие мощности	Структура выработки электроэнергии	Структура установленной мощности электростанций
Тепловые электростанции (ТЭС – газ и уголь)	63.2	63.5
Гидроэлектростанции (ГЭС)	15.8	18.6
Атомные электростанции (АЭС)	10.6	6.0
Возобновляемые энергоисточники, всего	7.9	11.5
в том числе: ветровые	5.5	7.1
солнечные	2.4	4.4
Прочие	2.5	0.4
Всего: в процентах	100	100
в абсолютных значениях	25000 млрд кВт.ч	7000 ГВт

Составлено авторами по данным источника [19].

место, а в структуре установленной мощности они опережают АЭС, что свидетельствует о целевом использовании ВИЭ – только для производства “зелёной” электроэнергии.

Второй эмпирический факт связан со значительными затратами на субсидирование энергии в мировой экономике. Общие прямые субсидии энергетического сектора в мире, включая ископаемое топливо, возобновляемые источники энергии и атомную энергетику, в 2017 г. достигли почти 634 млрд долл. Среди них преобладали субсидии на ископаемые виды топлива – около 70% (447 млрд долл.) от общей суммы. Субсидии на технологии производства возобновляемой энергии составляют около 20% от общего объёма вложений энергетического сектора (128 млрд долл.), из них на биотопливо – около 6% (38 млрд долл.), ядерную энергетику – не менее 3% (21 млрд долл.). Из 128 млрд долл. расходов на ВИЭ основная доля – 90 млрд долл. – приходилась на страны Евросоюза [20].

Если вновь обратиться к мировому энергобалансу за 2018 г., становится очевидным, что на 2.01% возобновляемых источников энергии приходится 20% всех вложений – непропорционально много. Очевидно, что экономически бедные страны не могут позволить себе развитие ВИЭ как реальной альтернативы ископаемым видам топлива. Летом 2021 г. Еврокомиссия объявила о конкретных механизмах по достижению целей сокращения чистых выбросов парниковых газов как минимум на 55% к 2030 г. по сравнению с уровнем 1990 г. Одним из таких механизмов станет введение трансграничного углеродного налога (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) на импорт в страны ЕС стали, цемента, алюминия, удобрений и электроэнергии. Взимание данного вида налога начнётся с 1 января 2026 г. Многие российские эксперты рассматривают такой механизм как источник дополнительных средств для реализации амбициозной программы ЕС по декарбонизации собственной экономики [21].

Мировой опыт развития ВИЭ за последние 25 лет даёт нам определённые сигналы относительно того, что ждёт страны, претендующие на широкое использование водорода как реальной альтернативы традиционным ископаемым источникам энергии. Во-первых, речь должна идти о необходимости решения многих технологических задач. В случае развития солнечной и ветряной энергии это были: развитие фотогальванических (PV) технологий – кристаллические кремниевые фотоэлементы и солнечные элементы из теллурида кадмия (CdTe); технологии концентрирования и хранения солнечно-тепловой энергии (CSP); системная интеграция солнечной и ветряной энергии в национальные электрические сети; инженерные задачи по обеспечению стабильной работы и заданного коэффициента мощности источников, то есть совершенствование смарт-грид системы в целом. Во-вторых, неизбежны периоды, скорее всего очень длительные, по прямому субсидированию сектора водородной энергетики. В-третьих, становление рынка водородной энергетики займёт несколько десятилетий и будет связано со значительными расходами национальных бюджетов на длительных временны́х горизонтах. Очевидно, что это могут позволить себе только развитые страны. Следует также учитывать, что в отличие от энергии солнца и ветра, которая сразу преобразовывалась в электрическую, водород надо ещё получить, то есть здесь присутствует дополнительный технологический передел. Принимая во внимание, до какой степе-

ни “не дружны” водород и металлы, можно предположить высокую степень сложности предстоящих задач по прямому использованию водорода в различных секторах экономики.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Сегодня мировое производство водорода составляет около 85 млн т. Основными потребителями являются химическая промышленность – около 70%, нефтепереработка – более 20%, металлургия – около 7%, доля транспортной энергетики не превышает 1% [22]. Что касается источников получения водорода, то 48% приходится на природный газ, 30% – на нефть, 18% – на уголь и только 4% – на электролиз воды [23].

Основной технологией, традиционно используемой для получения голубого водорода, является паровая конверсия метана. Однако в настоящее время всё большее распространение получает технология автотермического риформинга как более экономичного способа массового производства водорода. Оба эти процесса отделяют водород от природного газа (метана) с получением синтез-газа, который затем можно разделить на водород и двуокись углерода. Паровой риформинг метана (SMR) использует пар для отделения водорода от природного газа. Большинство работающих в настоящее время установок SMR производят водород для использования в качестве сырья для других процессов, таких как переработка нефти, производство удобрений или химическое производство. Автотермический риформинг (ATR) – это коммерческая технология, обычно используемая в производстве аммиака и метанола. В настоящее время ATR предлагается в качестве предпочтительной технологии для производства чистого водорода из природного газа, поскольку она позволяет улавливать углерод с более высокой скоростью, чем традиционный SMR, при меньших затратах. По сравнению с SMR, ATR имеет более простой производственный поток с высокой концентрацией углекислого газа. Это облегчает улавливание более высокого процента выбросов углерода в процессе конверсии. Обе технологии производят одинаковые уровни выбросов углерода во время химических реакций, которые отделяют водород от молекулы метана. Однако при использовании SMR обычно только около 60% углерода содержится в потоке технологического газа. Остальные 40% находятся в дымовых газах (выхлопных газах), где они менее концентрированы. Водород, получаемый на основе этих технологий, назван “серым” [24].

Действующие сегодня установки SMR не улавливают углерод из потока дымовых газов, что дало толчок для модернизации технологии – совершенствования процессов улавливания, утилизации и хранения углерода (carbon capture and storage – CCS). Этот процесс направлен на отделение выбросов двуокиси углерода, образующихся при сжигании ископаемого топлива (выбросы от сжигания) или в результате самих промышленных процессов (выбросы от процессов), от других газов и хранение их под землёй. Благодаря этому производство “серого” водорода в комбинации с технологиями по улавливанию и хранению углекислого газа (CCS) позволило получать “голубой” водород. Все технологии улавливания, а их порядка 25, можно разделить по степени освоенности на пять направлений [25, с. 11, 12]:

1) с использованием жидких растворителей. Здесь наиболее распространёнными являются традиционные аминовые растворители, широко используемые в производстве удобрений, кальцинированной соды и на заводах по переработке природного газа, а также физические растворители, применяемые в переработке природного газа и на заводах по газификации угля. Ещё примерно восемь различных технологий находятся на различных стадиях разработки;

2) на основе твёрдых абсорбентов. Здесь главными являются технологии переменного давления или переменного вакуума, а также перепада температур (TSA). Ещё порядка шести других технологий находятся на стадиях пилотных или лабораторных испытаний;

3) мембранные технологии на основе полимерных мембран и гибрида криогенного разделения или же полимерных мембран и гибридных растворителей;

4) технологии на основе сплошной петли или химического петлевого сжигания, а также петлевые циклы на основе извести;

5) собственно технологии улавливания CO_2.

Производство “голубого” водорода в зависимости от используемых для его получения технологий имеет разную стоимость (табл. 4). Чистый водород может быть получен и за счёт пиролиза углеводородов. Имеются данные о технологиях получения водорода из метана без доступа кислорода (прямой пиролиз, низкотемпературная плазма и др.) и без выбросов CO_2, со ссылками на работы по созданию реакторов, которые ведутся европейскими компаниями (BASF New Business GmbH, BASF SE, VdEh Betriebs Forschungs Institut, HTE GmbH, Linde AG, Thyssenkrupp Industrial Solutions AG, TU Dortmund, Verbundnetz Gas) в рамках государственного и частного финансирования [26]. По мнению авторов этой публикации, именно пиролиз водорода из метана – наиболее перспективная с точки зрения затрат технология, поскольку обеспечивает низкое потребление энергии, использует природный газ в качестве

Таблица 4. Последние опубликованные оценки стоимости производства чистого водорода, долл. на один кг продукта

Источник	В случае использования ВИЭ	В случае сокращения использования ВИЭ	Паровая конверсия метана (SMR) в комбинации с технологиями по улавливанию и хранению углекислого газа (CCS)	Газификация каменного угля в комбинации с технологиями по улавливанию и хранению углекислого газа (CCS)
CSIRO 2018	7.7 долл. (коэффициент использования мощности 35%, цена на электроэнергию 6 центов/кВт.ч)	18.20 долл. (коэффициент использования мощности 10%, цена на электроэнергию 2 цента/кВт.ч)	1.60–1.90 долл. (при цене за газ $8/GJ)	1.8–2.2 долл. (при цене за уголь $3/GJ)
IEA 2020	2.3–6.604 долл. (нижний предел – коэффициент мощности 57% и стоимость электроэнергии 2 цента/кВт.ч; верхний предел – коэффициент мощности 57% и стоимость электроэнергии 10 центов/кВт.ч)	Нет данных	1.4–2.4 долл. (нижняя граница цены за газ – $3/GJ; верхняя граница цены за газ – $9/GJ)	2.05–2.2 долл. (нижняя граница цены за уголь – 43 цента/GJ; верхняя граница цены за уголь – $1.15/GJ)
IRENA 2019	2.7–6.9 долл. (нижний предел – ветроэнергия; коэффициент мощности 48%, цена на электроэнергию 2.3 цента/кВт.ч; верхний предел – фотоэлектрическая энергия; коэффициент мощности 26% и цена на электроэнергию 8.5 цента/кВт.ч)	Нет данных	1.5–2.3 долл. (нижняя граница цены за газ – $3/GJ; верхняя граница цены за газ – $8/GJ)	1.8 долл. (цена угля – $1.5/GJ)
Hydrogen Council 2020	6.0 долл. (коэффициент использования мощности 50%, цена на электроэнергию 5.7 центов/кВт.ч)	Нет данных	2.1 долл. (предполагаются “европейские цены на газ”)	2.1 долл. (цена за уголь $60/тонна)

Источник: [26, с. 11].

сырья, позволяет получать твёрдый углерод в качестве дополнительного продукта и имеет перспективы для коммерциализации, поскольку уже существуют соответствующие промышленные установки [27, с. 431].

Самый чистый водород – “зелёный” – получают путём расщепления молекулы воды на водород и кислород с использованием электролизёра. Электролиз не приводит к прямым выбросам парниковых газов, а если входное электричество не связано с выбросами парниковых газов в процессе его производства (например, от солнечной, ветровой, гидроэнергии или атомной энергии), то получают “зелёный” водород. Привлекательность данной технологии обусловлена практически нулевой стоимостью воды, её повсеместной и неограниченной доступностью, отсутствием вредных выбросов при извлечении водорода и возможностью использования дешёвой энергии крупных ГЭС при их наличии. Однако серьёзными барьерами являются дороговизна электроэнергии, большие затраты первичной энергии на разложение и необходимость использования современного электролизного оборудования. Что касается последнего, то наиболее распространёнными в мире являются электролизёры на основе полимерно-электролитных мембран (ПЭМ), где в качестве электролита используется твёрдый специальный пластиковый материал, и щелоч-

ные электролизёры, в которых в качестве электролита выступает жидкий щелочной раствор гидроксида натрия или калия.

Щелочной электролиз и электролиз на основе ПЭМ – это низкотемпературные процессы, в то время как в случае твёрдых оксидов (SOE) используется высокотемпературный электролиз (~ 500°C). Хотя эта технология ещё не является широко доступной, она имеет большой потенциал. Одно из преимуществ SOE состоит в том, что более высокие температуры делают электролиз более эффективным, и в период до 2050 г. предполагается повышение эффективности преобразования с 74 до 86%. Одно из возможных применений SOE в перспективе – её объединение с будущими ядерными источниками энергии, когда можно будет получать как высокотемпературное тепло, так и электричество из одного источника. Мощности используемых электролизёров быстро растут от мегаваттных (МВт) до гигаваттных (ГВт), но радикальных прорывов не предвидится, хотя прогнозируется, что к 2040–2050-м годам затраты на электролизёры сократятся вдвое – с нынешних 840 долл. за киловатт до 375 долл. [28]. Крупнейший завод "зелёного" водорода с планируемой производительностью 650 тонн в день планируется ввести в строй в 2025 г. в Саудовской Аравии.

Что касается стоимости производства водорода, то она варьируется в разных регионах в зависимости от цены на газ, стоимости электроэнергии, возобновляемых ресурсов и инфраструктуры. Сегодня "серый" водород стоит 0.90–1.78 долл./кг, "голубой" – от 1.20 до 2.60 долл., а "зелёный" – от 3 до 8 долл. [29]. Международное энергетическое агентство прогнозирует 30-процентное падение цен на "зелёный" водород к 2030 г. в результате снижения стоимости возобновляемой электроэнергии и за счёт эффекта масштаба в производстве водорода [30]. В нынешних условиях конкурентоспособным будет рассматриваться возобновляемый водород, производимый по цене менее 2.5 долл./кг [31]. Более точные расчёты показывают, что даже такие гипотетически низкие цены на электроэнергию, полученную от ветроэнергоустановок, как 20–40 долл./МВт.ч, а также при текущих и будущих инвестициях в щелочные электролизёры в размере около 840 долл./кВт и 200 долл./кВт, возобновляемые источники энергии, как правило, не могут конкурировать с дешёвым природным газом, доступным в промышленности (5 долл./ГДж) [32]. Вместе с тем имеются оптимистичные оценки стоимости производства возобновляемого "зелёного" водорода: 1.4–2.9 долл./кг к 2030 г. и 0.8 долл./кг к 2050 г. Однако эти оценки ставятся под сомнение, а более реалистичными считаются цены на уровне 4.9 долл./кг для США и 4.7 долл./кг для стран Евросоюза [33].

Отдельную проблему представляет транспортировка произведённого водорода вследствие его значительных потерь. Способы транспортировки включают морские, железнодорожные, автомобильные магистрали и трубопроводы. Основными носителями водорода являются жидкий водород (LH_2), аммиак (NH_3), органический гидрид (MCH) и сжатый водород (CH_2). Водород можно сжижать при температуре –253°C, эта технология уже коммерциализирована. Однако процесс сжижения водорода – энергоёмкий. При использовании в качестве энергоносителя аммиака потери составляют 45%, при использовании метилциклогексана – 43% [34]. Таким образом, в случае транспортировки значительные потери возникают в логистической цепочке, как при герметизации, так и при сжижении. Потери при сжижении составляют от 20% до 45% энергии, содержащейся в водороде [35]. Опыт Германии показал, что модернизация существующих газовых сетей для транспортировки газа с более высоким содержанием метана и более высокой теплотворной способностью для 30% потребителей обошлась казне в 7 млрд евро [36]. Здесь полезно вспомнить практику формирования рынка сжиженного природного газа (СПГ): понадобилось 15 лет, чтобы осуществить переброску первой партии СПГ, после того как технология транспортировки была создана в 1954 г., и более 30 лет, чтобы сформировался рынок этого продукта. Следует ожидать, что и в случае с водородом потребуется значительное время для формирования и развития его рынка [37].

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Выше уже отмечалось, что среди пяти ведущих по потреблению энергии экономик мира Россия имеет самую низкую долю ВИЭ в энергобалансе – менее 0.5%. К сожалению, наша страна, богатая углеводородным сырьём, на протяжении последних 30 лет не считала необходимым развивать технологии, связанные с возобновляемыми источниками энергии. Исключение составляют атомная и гидроэнергетика. Такое пренебрежение на уровне государства к вопросам технологического развития обусловило имеющееся на сегодня отставание от развитых европейских стран по всем основным компонентам производства ВИЭ. В то же время очевидно, что широкая география и невозможность обеспечения всех регионов страны в одинаковой мере природным газом (в России уровень газификации к 1 января 2021 г. достиг 71.4%: в городах – 73.7%, в сельской местности – 64.8%) диктуют настоятельную необходимость диверсификации используемых источников энергии, в том числе за счёт возобновляемых.

Намерения отдельных стран принять меры по защите национальных рынков в форме запретов на использование углеродоёмкой продукции, введению технических стандартов, ограничивающих уровень выбросов парниковых газов, маркировки продукции по уровню углеродного следа стимулировали разработку Правительством РФ Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года и Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации. В частности, согласно Стратегии, предусмотрено "создание экспортного сектора по производству водорода на основе углеводородного сырья и за счёт производства низкоуглеродного водорода для выхода на международный рынок торговли водородом и развития отрасли водородных технологий за счёт мероприятий по запуску коммерческих водородных предприятий, создание водородно-производственных комплексов, организация цепочек поставок водорода на внешний и внутренний рынки и наращивание доли водорода в экспортируемой продукции" [38, с. 27]. В Концепции эти задачи поставлены более конкретно: "В период до 2035 года в качестве приоритетных направлений рассматривается производство низкоуглеродного водорода из ископаемого сырья, в том числе с применением технологий улавливания углекислого газа, на базе атомной энерготехнологической станции (с обеспечением улавливания углекислого газа), методом электролиза воды на базе атомной электростанции, гидроэлектростанции и электроэнергии энергосистемы при условии обеспечения соответствующего углеродного следа, а также на базе мощностей возобновляемых источников энергии в тех регионах, где себестоимость производимого на базе таких источников водорода является конкурентоспособной" [39, с. 6]. Согласно этой Концепции, потенциальные объёмы экспорта водорода из Российской Федерации на мировой рынок могут составить до 0.2 млн тонн в 2024 г., 2–12 млн тонн в 2035 г., 15–50 млн тонн в 2050 г. – в зависимости от темпов развития мировой низкоуглеродной экономики и роста спроса на водород на мировом рынке [39, с. 11]. Однако геополитические события последних месяцев ставят под вопрос саму возможность экспорта водорода из России, поскольку следует ожидать как закрытия для нас рынков ЕС, так и существенного расширения финансирования внутри ЕС всего комплекса поисковых НИР, связанных с практическим использованием водорода в промышленных масштабах.

Постараемся оценить, насколько достижимы для внутренней экономики поставленные Правительством РФ цели. Прежде всего отметим: чтобы не усилить технологическое отставание России от стран-лидеров, необходимо развивать отечественные технологии и реализовывать пилотные научно-технические проекты. В литературе отмечается, что традиционными потребителями водородных технологий как в РФ, так и за рубежом являются потребители спецтехники. Критическим моментом для подобных разработок в настоящее время является отставание по ключевым компонентам: катализаторам, мембранам, биполярным пластинам, газодиффузионным слоям, герметикам [40]. В России имеется определённый задел по получению водорода и синтез-газа методом плазмохимической конверсии углеводородов и гидролиза металлов и сплавов, но для конкурентной борьбы на рынке водородных технологий необходимо опережающее их развитие, как и технологий хранения и транспортировки водорода в химически связанном состоянии [41, 42]. Серьёзной проблемой остаётся физическое и моральное устаревание отечественного электролизного оборудования, основу которого составляют установки типа СЭУ производства "Уралхиммаша", а твердополимерные аналоги, разрабатываемые РНЦ "Курчатовский институт" и ФГУП "Красная звезда", до серии не дошли [40].

К основным разработчикам и производителям отечественного оборудования в области водородных технологий надо отнести: ОАО "Уралхиммаш" – щелочные электролизёры типа СЭУ; СКТБ Электрохимии – твердополимерные электролизёры малой производительности, термосорбционные компрессоры водорода; ГК "Инэнерджи" – твердополимерные топливные элементы и генераторы на их основе, преимущественно с открытым катодом для транспортных и стационарных применений; ВМ Power – твердополимерные топливные элементы и генераторы на их основе с открытым катодом для транспортных применений (базовый блок мощностью в 1–1.5 кВт); ФГУП "Крыловский Центр" – электрохимические генераторы на основе топливных элементов с твердоксидным и твердополимерным электролитом; Всероссийский НИИ экспериментальной физики – электрохимические генераторы на основе топливных элементов с твердооксидным электролитом (трубчатого типа); Институт физики твёрдого тела РАН – батареи топливных элементов с твердооксидным электролитом (планарного типа); Институт проблем химической физики РАН – батареи топливных элементов с твёрдым полимерным электролитом; "Центротех" – щелочные топливные элементы и электролизёры (задел АО "Уральский электрохомический комбинат", возможно мелкосерийное производство) [40].

В области материалов для водородной энергетики необходимо отметить уже разработанную системную концепцию и методы улучшения металлургии и свариваемости высокопрочных сталей для низкотемпературной и криогенной экс-

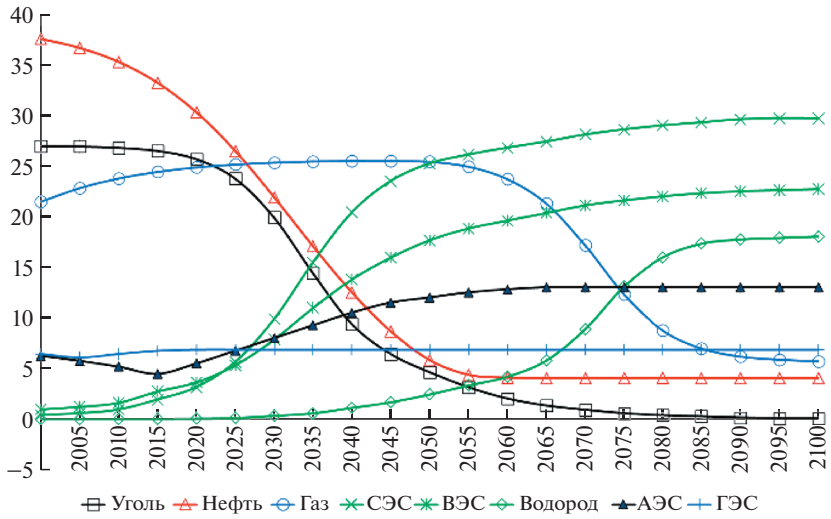


Рис. 1. Динамика изменения структуры мирового топливно-энергетического баланса на XXI век при реализации сценария Net Zero

плуатации [43]. Определённый научный задел по проблемам устойчивости материалов к воздействию водорода при хранении и транспортировке, а также технологиям получения водорода и газовых смесей создан в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого [44–46]. Также предложены технологии получения полимерных композиционных материалов для хранения водорода, обладающих параметрами, конкурентоспособными по сравнению с лучшими зарубежными образцами. В частности, разработана технология и введена в действие установка по получению однонаправленных термопластических лент. Данная технология позволяет производить композиты на основе углеродных волокон и таких полимеров, как полиамид, полифениленсульфид и полиэфирэфиркетон. Полученный материал был исследован на устойчивость к низким температурам и таким агрессивным средам, как жидкий кислород и водород. В результате было подтверждено, что материал сохраняет свою герметичность после 50 циклов криогенного воздействия. Ведутся работы по созданию технологического оборудования для роботизированной выкладки ленты, позволяющего изготавливать баллоны высокого давления из композиционных материалов [47–49]. В университете создан уникальный стенд для проведения полного спектра исследований газовой проницаемости композиционных материалов. Кроме того, уже разработаны технологии газофазного синтеза углеродных наноструктур, включая углеродные нанотрубки, выступающие в качестве адсорбера водорода (способного обеспечить гравиметрическую плотность хранения до 2 массовых %). Материалы на основе углеродных нанотрубок предложены как перспективные для топливных элементов [50–52].

* * *

В настоящее время мы являемся свидетелями, по существу, тектонических изменений на геополитической карте мира, и энергетика становится одним из ключевых элементов этих изменений. Страны Западной Европы, США и Япония, а это наиболее технологически развитые страны мира, в течение 5–10 лет могут полностью отказаться от закупок российских энергоносителей. Это означает начало технологической гонки за промышленное освоение возобновляемых источников энергии. И здесь следует ожидать, что роль водорода как нового источника энергии может кардинально измениться. Наиболее оптимальный сценарий 4-го энергетического перехода (2020–2080) к преимущественно безуглеродным ВИЭ и безопасным низкоуглеродным АЭС нового поколения, получивший название Net Zero [53], как показано в работе [54], реализуется только в случае экспоненциального роста водородной энергетики в предстоящие 50 лет (2025–2075) с дальнейшей стабилизацией на уровне 18% в структуре мирового топливно-энергетического баланса (ТЭБ) (рис. 1). По сути, водород должен заместить природный газ в ТЭБ к концу столетия. При реализации этого сценария энергоперехода достигается снижение объёма выбросов углекислого газа в атмосферу в 3 раза к 2070 г. (11 Гт) по сравнению с максимальным объёмом выбросов (рис. 2), наблюдавшимся в 2019 г. (33.3 Гт), что позволит стабилизировать потепление климата на уровне 1.7°C, как того требует Парижское климатическое соглашение 2015 г.



Рис. 2. Динамика сокращения антропогенных выбросов углекислого газа (CO_2) в атмосферу в XXI в. при сценарии энергоперехода Net Zero при использовании водорода и технологии CCS для улавливания и захоронения части CO_2

Таким образом, водородная энергетика, начиная с 2040-х годов, будет играть заметную роль в мировом ТЭБ, а с 2060-х годов – важную роль и, наконец, с 2080-х годов – одну из ключевых ролей. Поэтому в предстоящей гонке Россия не может быть пассивным наблюдателем, поскольку речь идёт не только о новом источнике энергии, но и о широком комплексе промышленных технологий (от новых материалов до систем управления), которые могут дать существенные конкурентные преимущества тем, кто ими будет обладать. Достаточно вспомнить печальный урок, полученный ещё в период существования СССР, когда была полностью проиграна технологическая гонка в сфере микроэлектроники. Памятуя об этом, Россия не может позволить себе проиграть ещё одну битву в сфере высоких технологий.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках гранта № 220-1688-3710 “Технологические вызовы и социально-экономическая трансформация в условиях энергетических переходов”, предоставленного Министерством науки и высшего образования РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rifkin J.* The Third Industrial Revolution. How Lateral Power is Transforming Energy. The Economy, and The World. Palgrave Macmillan, 2011.
2. *Акаев А.А.* Стабилизация климата Земли в XXI веке путём перехода к новой парадигме энергопотребления // Доклады АН. 2012. № 4. С. 1–6.
3. *Акаев А.А.* От Рио до Парижа: достижения, перспективы и проблемы в борьбе с изменениями климата // Вестник РАН. 2017. № 7. С. 587–598.
4. *Акаев А.А., Давыдова О.И.* Парижское климатическое соглашение вступает в силу. Состоится ли Великий энергетический переход? // Вестник РАН. 2020. № 10. С. 926–938.
5. European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions. 14 July 2021. Press release. https://ec.europa.eu/com-mission/presscorner/detail/en/IP_21_3541
6. *Matuszewska-Janica A., Żebrowska-Suchodolska D., Ala-Karvia U., Hozer-Koćmiel M.* Changes in Electricity Production from Renewable Energy Sources in the European Union Countries in 2005–2019 // Energies. 2021. № 14 (19). P. 6276. https://doi.org/10.33-90/en14196276
7. Eurostat. The average share of electricity from renewable energy sources in the EU. 24 August 2021. https://ec.europa.eu/eurostat/documents/38154/4956088/The+average+share+of+electricity+from+renewable+energy+so-urces+in+the+EU_2004-2019.pdf/a338-445c-2a4c-b303-aea5-5c857eb77833?t=1629797780121
8. IRENA (2020a). Renewable Power Generation Costs in 2019. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
9. IRENA (2020b). Renewable capacity statistics 2020. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
10. IRENA (2020c). Reaching Zero with Renewables. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
11. Key World Energy Statistics 2020 // IEA. P. 46–47. https://iea.blob.core.win-dows.net/assets/1b7781df-

5c93-492a-acd6-01fc90388b0f/Key_World_Energy_Statistics_20-20.pdf

12. *Friedrich J., Damassa T.* The History of Carbon Dioxide Emissions. World Resources Institute, 2014. https://www.wri.org/insights/history-carbon-dioxide-emissions
13. Key World Energy Statistics 2020 // IEA. P. 60–68. https://iea.blob.core.win-dows.net/assets/1b7781df-5c93-492a-acd6-01fc90388b0f/Key_World_Energy_Statistics_20-20.pdf
14. Japan. Energy Profile. IRENA, September 2021. https://www.irena.org/IRE-NADocuments/Statistical_Profiles/Asia/Japan_Asia_RE_SP.pdf
15. China. Energy Profile. IRENA, September 2021. https://www.irena.org/IRE-NADocuments/Statistical_Profiles/Asia/China_Asia_RE_SP.pdf
16. USA. Energy Profile. IRENA, September 2021. https://www.irena.org/IRE-NADocuments/Statistical_Profiles/North%20America/United%20States%20of%20America_North%20America_RE_SP.pdf
17. India. Energy Profile. IRENA, September 2021. https://www.irena.org/IRE-NADocuments/Statistical_Profiles/Asia/India_Asia_RE_SP.pdf
18. Russian Federation. Energy Profile. IRENA, September 2021. https://www.ire-na.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/Eurasia/Russian%20Federation_Eurasia_RE_SP.pdf
19. IEA: Data and Statistics, 2019.
20. *Taylor M.* Energy subsidies: Evolution in the global energy transformation to 2050. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020.
21. Правительственная комиссия займётся адаптацией экономики России к энергопереходу // Ведомости. 20.09.2021. https://www.vedomosti.ru/economics/articles/20-21/09/19/887328-pravitelstvennaya-komissiya-energoperehodu
22. *Dawood F.* Hydrogen production for energy: An overview / F. Dawood, M. Anda, G.M. Shafiullah // International Journal of Hydrogen Energy. 2020. V. 45. № 7. P. 3847–3869. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.059
23. International Association of Oil & Gas Producers. Hydrogen from natural gas. Fact Sheet. October 2018. https://www.iogp.org/wp-content/uploads/2019/01/Hydrogen-Factsheet.pdf
24. *Gorski J., Jutt T., Wu K.T.* Carbon intensity of blue hydrogen production. Accounting for technology and upstream emissions. PEMBINA Institute. Technical Paper, 2021.
25. *Kearns D., Liu H., Consoli C.* Technology Readiness and Costs of CCS. Global CCS Institute, 2021.
26. *Zapantis A.* Blue Hydrogen. Global CCS Institute, 2021. https://www.global-ccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/04/Circular-Carbon-Economy-series-Blue-Hydro-gen.pdf
27. *Литвиненко В.С., Цветков П.С., Двойников М.В., Буслаев Г.В.* Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 428–438. https://doi.org/10.31897/ PMI.2020.4.5
28. IRENA. Hydrogen: A renewable energy perspective. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019.
29. *Ochu E.R., Braverman S., Smith G., Friedmann J.* Production of Low – Carbon Hydrogen. Hydrogen Fact Sheet. Center on Global Energy Policy. Columbia University. May 2021.
30. International Energy Agency. The Future of Hydrogen. June 2019. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/07/f76/USDOE_FE_Hydrogen_Strategy_July-2020.pdf
31. IRENA. Hydrogen: A renewable energy perspective. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019.
32. IRENA. Global energy transformation: A roadmap to 2050 (Full report, 2019 edition). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019.
33. *Christensen A.* Assessment of Hydrogen Production Costs from Electrolysis: United States and Europe. Three Seas Consulting, 2020. https://theicct.org/publication/assessment-of-hydrogen-production-costs-from-electrolysis-united-states-and-europe/
34. *Obara S.* Energy and exergy flows of a hydrogen supply chain with truck transportation of ammonia or methyl cyclohexane // Energy. 2019. № 174. P. 848–860. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.103
35. *Cardella U., Decker L., Klein H.*, 2017. Roadmap to economically viable hydrogen liquefaction // Int. J. Hydrog. Energy, Special Issue on The 21st World Hydrogen Energy Conference (WHEC 2016). 13–16 June 2016. Zaragoza, Spain. № 42. P. 13329–13338. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.068
36. *Newman N.* The Great German Gas Switch-Over // Pipeline Gas J. 2018. № 245 (4). P. 44 (3).
37. The Potential and Costs of Hydrogen Supply in Kimura / S. and Y. Li (eds.). Demand and Supply Potential of Hydrogen Energy in East Asia. ERIA Research Project Report FY2018 no. 01. Jakarta: ERIA, 2019. P. 140–183.
38. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 3052-р от 29 октября 2021 г.
39. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2162-р от 5 августа 2021 г.
40. *Тарасенко А.Б., Попель О.С.* Перспективные пути развития водородной энергетики в условиях России // Материалы XII Школы молодых учёных “Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов” имени Э.Э. Шпильрайна. Махачкала, 2020.
41. *Константинов В.О., Шарафутдинов Р.Г., Щукин В.Г.* Конверсия попутного нефтяного газа в метанолсодержащую жидкость в плазме электронного пучка // Тезисы докладов Международных конференций “Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надёжных конструкций” и “Химия нефти и газа” в рамках Международного симпозиума “Иерархические

материалы: разработка и приложения для новых технологий и надёжных конструкций". 2018. С. 800.

42. *Zhuk A.Z., Sheindlin A.E., Kleymenov B.V. et al.* Use of low-cost aluminum in electric energy production // Gournal of Power Sources. 2006. V. 157. P. 921–926.
43. *Rudskoi A.I., Parshin S.G.* Advanced Trends in Metallurgy and Weldability of High-Strength Cold-Resistant and Cryogenic Steels // Metals. 2021. № 11. P. 1891. https://doi.org/10.3390/met11121891
44. *Масликова Е.И., Андреева В.Д., Алексеева Е.Л., Яковлев Ю.А.* Кинетика диффузии водорода в различных условиях применительно к сплаву ВТ6 // Вопросы материаловедения. 2020. № 2 (102). Р. 98–107. https://doi.org/10.22349/1994-6716-2020-102-2-98-107
45. *Polyanskiy V.A., Belyaev A.K., Alekseeva E.L. et al.* Phenomenon of skin effect in metals due to hydrogen absorption // Continuum Mechanics and Thermodynamics. October 2019. https://doi.org/10.1007/s00161-019-00839-2
46. *Alekseeva E.L., Belyaev A.K., Grishchenko A.I. et al.* The Initiation Mechanism of Plastic Strain Localization Bands and Acoustic Anisotropy // Procedia Structural Integrity. 2017. V. 6. P. 128–133. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.11.020
47. *Kobykhno I.A., Yunusov F.A., Breki A.D. et al.* Regularities of Friction of Multiscale Composite Materials Containing Highly Dispersed Particles of Fullerene Soot // Technical Physics Letters. 2021. № 47 (3). P. 243–247. https://doi.org/10.1134/S1063785021030111
48. *Goncharenko D., Kobykhno I., Bobrynina E., Tolochko O.* The Mechanical Properties Improvement of Thermoplastics-Based Fiber Metal Laminates // Materials Physics and Mechanics. 2021. № 47 (4). P. 592–599. https://doi.org/10.18149/MPM.4742021_6
49. *Panina O.A., Nemov A.S., Zobacheva A.Y. et al.* Numerical analysis of mechanical behavior of unidirectional thermoplastic-based carbon fiber composite for 3D-printing // Materials Today: Proceedings. 2020. № 30. P. 559–563.
50. *Tonkov D.N., Gasumyants V.E., Vasilyeva E.S. et al.* Modification of the CVD-graphene resistivity by post-processing sample annealing // Chinese Journal of Physics. 2021. № 74. P. 256–261. https://doi.org/10.1016/j.cjph.2021.09.010
51. *Larionova T., Koltsova T., Bobrynina E. et al.* Comparative characterization of graphene grown by chemical vapor deposition, transferred to nonconductive substrate, and subjected to Ar ion bombardment using X-ray photoelectron and Raman spectroscopies // Diamond and Related Materials. 2017. № 76. P. 14–20.
52. *Bobrynina E.V., Larionova T.V., Kol'tsova T.S. et al.* Preparation, Structure and Properties of Copper-Based Composites with Additions of Fullerenes and Fullerene Soot // Metal Science and Heat Treatment. 2020. № 62 (1–2). P. 70–75.
53. BP, Energy Outlook 2020. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf.
54. *Akaev A.A., Davydova O.I.* Mathematical Description of Energy Transition Scenarios Based on the Latest Technologies and Trends // Energies. 2021. V. 14. № 8360. https://doi.org/10.3390/en14248360

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 12, с. 1145–1156

ТОЧКА ЗРЕНИЯ

ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ: ВЗГЛЯД НАСЕЛЕНИЯ И ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА

© 2022 г. А. А. Шабунова[a,*], Т. К. Ростовская[b,**]

[a]Вологодский научный центр РАН, Вологда, Россия
[b]Институт демографических исследований ФНИСЦ РАН, Москва, Россия
*E-mail: aas@vscc.ac.ru
**E-mail: rostovskaya.tamara@mail.ru

Поступила в редакцию 05.04.2022 г.
После доработки 17.05.2022 г.
Принята к публикации 26.05.2022 г.

При формировании мер демографической политики важно опираться не только на анализ количественных параметров, но и на взвешенные оценки экспертов, характеризующие эффективность принимаемых мер. В статье с опорой на данные массового опроса населения и экспертные интервью рассмотрены особенности реализации национального проекта “Демография”, проанализированы успешные региональные практики. Выявлены пробелы в социально-демографической политике и охарактеризована региональная специфика демографического развития. Показано, что важным аспектом повышения эффективности реализации демографической политики является межведомственное взаимодействие, которое способствует преодолению бюрократических препятствий и барьеров. По мнению авторов, существенную роль в улучшении демографической обстановки в стране и регионах будет играть обновление нормативно-правовой базы, расширение региональных и местных мер оптимизации движения населения, а также активизация деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций и бизнеса в демографической сфере.

Ключевые слова: демографическое развитие, демографическая политика, межведомственное взаимодействие, массовый опрос населения, экспертные интервью.

DOI: 10.31857/S0869587322090080

Демографическая ситуация в современной России находится в фокусе внимания специалистов, учёных, политиков. Стремясь уловить происходящие изменения, исследователи прибегают не только к анализу статистической или ведомственной информации, но и дополняют её данными социологических опросов.





ШАБУНОВА Александра Анатольевна – доктор экономических наук, директор ВолНЦ РАН. РОСТОВСКАЯ Тамара Керимовна – доктор социологических наук, заместитель директора по научной работе ИДИ ФНИСЦ РАН.

В интерпретации динамики демографического развития России последних лет и его ближайшей перспективе в отечественной науке сложилось два подхода. В соответствии с первым из них, представленным так называемыми демографами-скептиками, процессы движения населения в стране следуют в объективно заданном направлении, как и в большинстве развитых стран мира. Утверждается, что человеческой популяции, как и популяциям животных, свойственно саморегулирование. А значит, сокращение населения следует считать закономерным явлением, даже выгодным с экономической точки зрения. Управлять демографическими процессами бессмысленно, так как это влечёт за собой неоправданные затраты. Регулировать следует прежде всего миграционные потоки, которые скорее поддаются

воздействию извне, чем инертные процессы рождаемости и смертности [1, 2].

Демографические изменения с точки зрения сторонников второго подхода – демографов-прагматиков – определяются в том числе и субъективными факторами, в частности социальным конструированием. Своё мнение они аргументируют примерами успешной корректировки демографических процессов, эффективностью мер, предпринимаемых с 2006 г., которые привели к приостановке депопуляции в нашей стране. Демографы-прагматики чаще ориентированы на стимулирование рождаемости с использованием разнообразных мер поддержки семьи [3, с. 255]. Этот подход повышает значимость демографической политики, которая на современном этапе общественного развития ориентирована в первую очередь на коррекцию демографического поведения. Её главная задача в сфере рождаемости – создание условий для реализации репродуктивных намерений людей, а в средне- и долгосрочной перспективе – на их формирование; в области регулирования смертности – на распространение здоровьесберегающего поведения; в сфере миграционных процессов – на создание условий для устойчивого развития территорий и обеспечения достойного уровня жизни населения [4, с. 833].

Современные исследователи опираются не только на статистические данные и их анализ с применением математических методов, но и на социологические замеры или мониторинговые исследования. Сочетание данных количественных и качественных социологических методов позволяет глубже проникнуть в суть проблемы и точнее понять специфику исследуемого предмета, причины сформировавшихся тенденций. Данные экспертных интервью дополняют информацию, полученную в массовом опросе, расширяют возможности изучения и обобщения успешных региональных практик. Общеметодологическим основанием для проведения исследования по выявлению факторов, влияющих на демографическую ситуацию в регионе методом экспертного опроса, являются структурно-функциональный анализ и теория структурации, которые позволяют описывать институциональные практики, а не практики акторов.

Цель нашего исследования – проанализировать особенности реализации национального проекта “Демография” исходя из сопоставления данных массового опроса населения и экспертных оценок, выявить успешные региональные практики, способствующие поступательному демографическому развитию.

В исследовании использованы данные Всероссийского социологического исследования “Демографическое самочувствие регионов России”, осуществляемого на территории 10 субъектов Российской Федерации: г. Москва, Московская область, Республики Башкортостан и Татарстан, Ставропольский край, Вологодская, Волгоградская, Ивановская, Нижегородская и Свердловская области. В ходе первого его этапа (2019–2020) методом массового опроса населения (объём выборки – 5616 человек в возрасте от 18 до 50 лет) получены и проанализированы эмпирические данные – субъективные оценки респондентов. На втором этапе (2021) эти результаты сопоставлялись с экспертными оценками реализации демографической политики в регионах (опрошено 50 экспертов, в каждом из 10 регионов по 5).

При подборе экспертов учитывалось, что реализация демографической политики является межведомственной задачей, где пересекаются интересы институтов социальной защиты населения, здравоохранения, образования, строительной отрасли и др. Работа государственных учреждений дополняется проектной деятельностью социально ориентированных некоммерческих организаций. К участию в экспертном опросе были приглашены представители органов исполнительной и законодательной власти; специалисты в сфере миграции и миграционной политики; представители социально ориентированных некоммерческих и общественных организаций; специалисты организаций, в которых осуществляется предабортное консультирование.

ТЕНДЕНЦИИ И ВЫЗОВЫ ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ

Демографическая политика в РФ определяется несколькими нормативными документами. Это, во-первых, Национальный проект “Демография” (включены пять федеральных проектов: “Финансовая поддержка семей при рождении детей”, “Содействие занятости женщин – создание условий дошкольного образования для детей в возрасте до трёх лет”, “Старшее поколение”, “Укрепление общественного здоровья”, “Спорт – норма жизни”). Во-вторых, государственная программа Российской Федерации “Социальная поддержка граждан” (подпрограммы 3 и 6). В-третьих, государственная программа Российской Федерации “Реализация государственной национальной политики” (подпрограмма 5). В-четвёртых, Государственная программа по оказанию содействия добровольному переселению в Российскую Федерацию соотечественников, проживающих за рубежом. В-пятых, Концепция государственной миграционной политики Российской Федерации на период до 2025 года.

В научных исследованиях демографического развития России большую роль играет его периодизация, выявление новых тенденций и современных вызовов. Так, в работах ряда отечественных учёных-демографов (С.В. Рязанцев,

Л.Л. Рыбаковский, В.Г. Доброхлеб и др.) [5–8] 2016 год рассматривается как время начала второй волны депопуляции в нашей стране. Специфика данного этапа состоит в том, что масштабы естественной убыли в этот период определяются исключительно сокращением рождаемости [5, с. 44], углублением негативных изменений возрастной структуры населения и исчерпанием резервов рождаемости, которые обусловлены реакцией населения на введение материнского капитала, позволившее многим российским семьям реализовать отложенные рождения [7, с. 812]. Однако, как отмечает В.Н. Архангельский, важно понимать, что снижение суммарного коэффициента рождаемости в 2016 г. произошло по вторым рождениям, по первым рождениям оно наблюдается уже с 2013 г., а по третьим показатель, напротив, продолжает расти [9, с. 120].

Однако в 2020 г. ситуация изменилась: новым вызовом на пути демографического развития страны стала пандемия коронавирусной инфекции. В 2020 г. число умерших в стране превысило 2.1 млн человек, показатель вернулся к уровню 1993 г. Смертность возросла примерно на величину избыточной смертности в 2020 г., которая составила около 324 тыс. человек (на 18% больше, чем в 2019 г.). Официальная смертность от COVID-19 в стране за время пандемии составила 116 тыс. человек, что усугубило вторую волну депопуляции [7, с. 818]. По мнению экспертов, в 2020 г. проявили себя принципиально новые факторы формирования тенденций смертности. Пандемия коронавируса обусловила дополнительное число смертей и привела по итогам года к снижению продолжительности жизни. Но влияние пандемии этим не ограничивается: на поведении людей и демографических процессах будут сказываться последствия изоляции с сопутствующими рисками физическому и психологическому здоровью, остановка профилактических программ, отказ от планового оказания медицинской помощи [10, с. 65]. Таким образом, в 2020 г. смертность населения стала играть в сокращении населения такую же важную роль, как это было во время первого этапа депопуляции (с 1992 по 2012 г.) [11].

Расчёты Н.Е. Русановой и Н.Н. Камыниной показывают, что на фоне пандемии в России наблюдались распространение неинфекционных заболеваний и рост смертности от онкологических, сердечно-сосудистых, эндокринологических патологий, заболеваний органов дыхания. Основные потери вследствие преждевременной смертности от неинфекционных заболеваний связаны с новообразованиями и болезнями системы кровообращения, что принципиально соответствует общему тренду возрастного ухудшения здоровья; на возраст первого пятилетия нового пенсионного возраста (65–69 лет) приходится так называемый гендерный разворот преждевременной смертности: у мужчин её доля снижается, у женщин – растёт. Возрастная динамика изменения числа смертей от новообразований показывает два пика, один из которых вызывает особую тревогу: в детском и подростковом возрасте удельный вес умерших вследствие онкологических заболеваний превышает соответствующий показатель для болезней системы кровообращения и органов дыхания [12].

В отношении перспектив демографического развития России в ближайшие годы отечественные демографы в основном демонстрируют скептические настроения. Например, согласно оценкам О.Л. Рыбаковского, росту или даже сохранению числа рождений в последующее десятилетие будет препятствовать постоянное сокращение с 2015 г. числа женщин активного репродуктивного возраста (25–39 лет), на которых приходится 4/5 всех деторождений. Их численность сократится с 17.9 млн человек в 2015 г. до 15.0 млн человек в 2024 г. и до 12.0 млн к 2030 г. [13].

Исследование А.Е. Ивановой и соавторов показало, что в 2020-х годах достижение баланса родившихся и умерших практически невозможно, поскольку в ближайшие 10 лет сдвиги в возрастном составе населения практически предопределены и возможности воздействия на него чрезвычайно ограничены. Однако отмечается, что, постепенно приближаясь к такому балансу, можно добиться уменьшения естественной убыли населения к 2030 г. Но для этого потребуется значительное повышение суммарного коэффициента рождаемости (с 1.5 в 2019 г. до 1.9 в 2030 г.) и средней ожидаемой продолжительности предстоящей жизни (с 73.3 года в 2019 г. до 79.9 в 2030 г.), что зависит прежде всего от развития социально-экономической ситуации в стране, принимаемых мер социальной и демографической политики, состояния системы здравоохранения [14].

Как показал в своей работе Ю.А. Симагин, во всех вариантах демографических прогнозов, построенных для России на ближайшие десятилетия, естественный прирост населения остаётся отрицательным, а его воспроизводство – суженным. Увеличение численности населения страны если и предполагается, то преимущественно за счёт положительного сальдо внешних миграций, что свидетельствует о необходимости дальнейшей интенсификации демографической политики, направленной на стимулирование рождаемости. Однако, как отмечает автор, о важности снижения смертности и увеличения продолжительности жизни также нельзя забывать [15, с. 14].

В качестве причин второй волны депопуляции российские исследователи рассматривают как объективные, так и субъективные обстоятельства. К объективным факторам демографической динамики последних лет относят трансформа-

Таблица 1. Распределение ответов на вопрос “В какой степени принятию решения о рождении Вашего младшего (единственного) ребёнка помогло усиление мер государственной поддержки семей с детьми?”, % респондентов, имеющих детей

Вариант ответа	Ивановская область	Московская область	г. Москва	Вологодская область	Волгоградская область	Ставропольский край	Республика Башкортостан	Республика Татарстан	Нижегородская область	Свердловская область	Среднее по опросу
Да, сильно повлияло	0.0	5.4	6.8	8.0	4.6	6.6	**9.3**	7.3	1.5	5.5	5.9
Да, немного повлияло	0.0	14.1	16.7	18.5	19.6	19.4	**26.4**	18.3	13.4	**23.9**	18.4
Не повлияло	**85.5**	**65.2**	**63.5**	49.4	55.8	52.6	45.0	54.6	**71.6**	52.5	**57.2**
Трудно сказать	14.5	15.2	13.1	24.2	20.0	21.5	19.3	19.8	13.4	18.2	18.5

Источник: данные социологического исследования “Демографическое самочувствие России”. url:http://демография2020.рф/%d0%b8%d0%b4%d0%b5%d0%bd%d1%82-%d0%bc%d0%b0%d1%82%d0%b5%d1%80%d0%b8%d0%b0%d0%bb%d1%8b/

цию возрастной структуры населения, обусловленную историческими особенностями демографического развития страны (демографические волны и ямы, возникшие в результате Великой Отечественной войны, и другие события XX в.) [7; 16, с. 67]; такая трансформация проявляется прежде всего в снижении численности и доли женщин активного репродуктивного возраста [16, с. 67; 17, с. 848]. Среди субъективных причин многие авторы выделяют общие закономерности сокращения числа детей в семьях по мере роста уровня социально-экономического развития, характерные для всех стран европейской культуры. В частности, сокращению детности способствуют такие факторы, как снижение доли официально зарегистрированных браков, рост затрат на содержание ребёнка, финансовые трудности, с которыми сталкиваются семьи с детьми при экономических кризисах и стагнации [16, с. 67].

СЕМЕЙНО-ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА ГЛАЗАМИ НАСЕЛЕНИЯ

Анализ результативности семейно-демографической политики невозможен без оценок её мер населением, особенно имея в виду их влияние на принятие семьёй решения о рождении ребёнка. Крайне важным для совершенствования проводимой федеральной и региональной семейно-демографической политики представляется изучение потребности населения в отдельных мерах государственной помощи, выявление уровня информированности о них и об основных источниках получения соответствующих сведений.

Согласно данным нашего опроса, 57% родителей при принятии решения о рождении младшего (единственного) ребёнка не ориентировались на помощь государства, а 24%, напротив, приняли такое решение с оглядкой на усиление мер поддержки (табл. 1). О положительном эффекте мер демографической политики чаще указывали жители Республики Башкортостан, реже полагались на поддержку государства в Ивановской, Нижегородской, Московской областях и г. Москве. При этом женщины чаще, чем мужчины склонны принимать решение о рождении ребёнка, не ориентируясь на меры поддержки (62% против 52%). Наиболее восприимчиво к активизации семейно-демографической политики оказалось население в возрасте от 30 до 40 лет (30% указали на влияние мер поддержки).

После рождения детей большинство семей активно используют применимые к ним меры государственной помощи. Так, среди участников первого этапа проведённого нами исследования 58% семей когда-либо прибегали к государственной помощи, а 21% из них продолжают пользоваться ею и в настоящее время. В то же время 43% опрошенных отметили, что их семья никогда не обращалась за помощью к государству (из них 68% не имеют детей, а часть респондентов пособие по беременности и родам рассматривают как оплату больничного листа, а не дополнительную помощь).

Группой, наиболее активно использующей меры государственной поддержки семьи в настоящее время, является население в возрасте от 30 до 40 лет (29% женщин, 26% мужчин). Значительная часть опрошенных в более старшей возрастной категории 40–50 лет (54% женщин, 45% мужчин) уже прибегали к государственной помощи, но в настоящее время её не получают. Меньше всего тех, кто успел воспользоваться мерами под-

Таблица 2. Распределение ответов на вопрос “Какие меры социальной помощи и поддержки необходимы Вашей семье?”. Приведены средние баллы по шкале от 1 (совсем не нужна) до 5 (крайне необходима)

Вариант ответа	Ивановская область	Московская область	г. Москва	Вологодская область	Волгоградская область	Ставропольский край	Республика Башкортостан	Республика Татарстан	Нижегородская область	Свердловская область	Среднее по опросу
Консультативно-медицинские услуги	**4.0**	3.5	3.6	3.2	3.3	3.6	3.4	3.6	3.6	**3.7**	**3.5**
Дополнительное образование для детей	3.1	3.4	3.1	3.0	3.2	**3.6**	**3.5**	**3.6**	3.3	**3.5**	**3.3**
Помощь в трудоустройстве с возможностью работы по гибкому графику	3.4	3.4	3.2	2.9	3.0	3.3	3.1	3.3	3.2	3.1	**3.2**
Помощь в уходе за ребёнком дошкольного возраста	**3.3**	2.8	2.6	2.9	2.8	**3.3**	3.0	**3.3**	3.0	3.2	3.0
Помощь в поиске дополнительного заработка	2.8	**3.3**	3.0	2.8	2.8	**3.3**	3.1	3.2	3.0	3.1	3.0
Помощь в присмотре за ребёнком школьного возраста	2.6	2.7	2.6	2.7	2.7	**3.3**	2.9	**3.3**	2.9	3.1	2.9
Помощь в организации семейного отдыха	2.9	2.8	2.6	2.6	2.7	3.1	3.1	3.1	2.9	2.8	2.9
Содействие в организации досуга	2.5	2.6	2.5	2.7	2.6	3.0	3.0	3.1	2.8	2.8	2.8
Помощь в уходе за нетрудоспособным членом семьи	2.1	2.7	2.9	2.3	2.4	2.9	2.4	2.8	2.2	2.5	2.6
Помощь в организации семейного дела	2.5	2.6	2.6	2.2	2.4	3.0	2.8	2.8	2.1	2.5	2.6
Помощь в оказании бытовых услуг (сходить в магазин, убрать квартиру)	2.1	2.4	2.6	2.1	2.2	2.7	2.4	2.6	1.9	2.2	2.3

Источник: данные социологического исследования “Демографическое самочувствие России”.
url:http://демография2020.рф/%d0%b8%d0%b4%d0%b5%d0%bd%d1%82-%d0%bc%d0%b0%d1%82%d0%b5%d1%80%d0%b8%d0%b0%d0%bb%d1%8b/

держки семьи, среди молодёжи в возрасте до 30 лет. Бóльшая популярность всех видов мер среди женщин свидетельствует о том, что зачастую именно они выступают заявителями при обращении за помощью.

Среди используемых мер поддержки чаще всего упоминаются пособие по беременности и родам (63%) и единовременное пособие при рождении ребенка (62%). Около половины опрошенных использовали частично оплачиваемый отпуск по уходу за ребёнком до достижения им возраста 1.5 лет (49%), ежемесячное пособие на ребёнка (49%) и материнский капитал (42%). Реже всего население прибегает к разного рода кредитам – образовательным и льготным на неотложные нужды (по 2% соответственно), к обеспечению льготными продуктами и товарами (по 3% соответственно).

Самыми востребованными мерами поддержки семьи с детьми, помимо денежных выплат, являются консультативно-медицинские услуги, дополнительное образование для детей, а также помощь в трудоустройстве с возможностью работы по гибкому графику. Меньше всего население нуждается в оказании бытовых услуг, организации семейного дела и ухода за нетрудоспособным членом семьи.

Обнаруживают себя половозрастные различия в оценке востребованности отдельных мер. Например, потребность в консультативно-медицинских услугах оказалась наиболее высокой у женщин в возрасте 30 лет и старше (табл. 2), а в

дополнительном образовании детей и в помощи по уходу за ребёнком дошкольного возраста – среди женщин и мужчин 30–40 лет. Среди молодых женщин 17–30 лет наиболее популярная мера – трудоустройство с возможностью работы по гибкому графику, а среди женщин среднего возраста (30–40 лет) важна помощь в присмотре за ребёнком школьного возраста, организация семейного отдыха и досуга.

Высокая потребность в консультативно-медицинских услугах обнаружилась у респондентов из Ивановской и Свердловской областей, в дополнительном образовании детей – из Ставропольского края, Республик Башкортостан и Татарстан, Свердловской области, в помощи по уходу за ребёнком дошкольного возраста – из Ивановской области, Ставропольского края и Республики Татарстан. О необходимости помощи в поиске дополнительной работы чаще заявляли жители Московской области и Ставропольского края, в присмотре за ребёнком школьного возраста – Ставропольского края и Республики Татарстан.

По мнению опрошенных, самыми важными направлениями деятельности по укреплению семьи в России являются: введение достойной оплаты родительского труда; предоставление жилья нуждающимся семьям; введение крупного пособия при рождении ребёнка, а также пособия на ребёнка в возрасте до трёх лет в размере прожиточного минимума для тех семей, чей доход ниже среднего; частичное погашение кредита или субсидии на приобретение жилья (при рождении первого и второго ребёнка) или полное его погашение при рождении третьего ребёнка; обеспечение гарантий получения детьми качественного профессионального образования. Реже всего респонденты отмечали значимость таких мер, как формирование негативного отношения общества к прерыванию беременности и введение законодательных норм, усложняющих процедуру развода.

В целом население достаточно высоко оценивает те меры государственной поддержки семей, которыми они пользовались. Так, 47% опрошенных оценили их значимость на 4 и 5 баллов по 5-балльной шкале. Считают полученную помощь малозначимой 9% респондентов. Наибольшую удовлетворённость государственной помощью продемонстрировали жители Свердловской области (в среднем 3.8 балла), а самыми требовательными оказались жители Московской области (2.9 балла).

Информированность семей о региональных мерах поддержки можно охарактеризовать как довольно низкую. При этом больше осведомлены в данном вопросе женщины в возрасте от 30 до 40 лет, хуже информированы молодые женщины (17–30 лет) и мужчины всех возрастов. Основными ресурсами получения информации о видах помощи семьям выступают сеть Интернет, знакомые, соседи и друзья, теле- и радиопередачи, а также публикации в печатных изданиях. Если к использованию Интернета с этой целью чаще прибегают женщины 30–40 лет, то к информации печатных СМИ и теле- и радиопередач – представители старшей возрастной группы (40–50 лет). Треть опрошенных выразили потребность в дополнительном информировании о возможностях получения государственной помощи семьям. При этом самым популярным информационным источником являются тематические сайты в Интернете.

Наиболее осведомлённым о мерах региональной семейной политики оказалось население Вологодской области и Республики Башкортостан (хорошо или полностью осведомлены 35 и 32% респондентов соответственно). Меньшую информированность обнаружили респонденты из Ивановской области и Москвы.

В целом опрос показал, что подавляющее большинство россиян считают необходимой поддержку семьи со стороны государства, причём каждый пятый опрошенный полагается только на государство. В качестве других агентов поддержки семей респонденты называли бизнес (в рамках повышения его социальной ответственности), некоммерческие организации (НКО) и семейные объединения.

Данные экспертных интервью расширяют и дополняют знания, полученные в массовом опросе, позволяют выявить пробелы и перспективные направления социально-демографической политики. В данной статье приводится анализ интервью представителей исполнительной и законодательной власти и руководителей НКО.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОСА ЭКСПЕРТОВ – ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ОРГАНОВ ВЛАСТИ

Представители органов власти указывают на актуальность и значимость проблем социально-демографического развития как России в целом, так и отдельных регионов. В качестве наиболее острых демографических проблем эксперты называют: низкую рождаемость, высокую смертность, старение населения, миграционный отток в крупные города. Приведём некоторые мнения опрошенных.

“Наиболее острой демографической проблемой для России и Ставропольского края является убыль населения. На снижение рождаемости в Ставропольском крае, так же как и в целом в Российской Федерации, оказывает влияние сокращение числа женщин репродуктивного возраста (20–39 лет)” (Ставропольский край).

“Демографические проблемы нашей Республики, как и других субъектов России в целом,

одинаковы. Во-первых, у нас очень низкая рождаемость, когда поколение родителей, не замещается поколением детей. И второе, у нас очень высокие показатели уровня смертности, низкая продолжительность жизни. В Республике так же острая проблема – миграционный отток населения, который в 2020 году немного ослаб в связи с пандемией коронавируса" (Башкирия).

"Проблема, связанная с миграцией. Да, с миграцией в целом ситуация такая, что до 2020 года мы наблюдали миграционную убыль, люди уезжали. Особенно это касалось близлежащих к крупным городам Волгоградской области районов. В основном уезжают те, кто рожает, то есть трудоспособные граждане фертильного, репродуктивного возраста... Но нельзя забывать, и о старении населения, которое мы наблюдаем и в стране, и в регионе, конечно, оно сказывается на уровне демографической нагрузки, которая растёт в регионе" (Волгоград).

Ряд экспертов указывают на такую проблему, как старение населения, а также отмечают негативные тенденции в брачности.

"Так же как и в большинстве регионов России, в Московской области наблюдается тенденция к постепенному снижению доли трудоспособного населения и увеличение доли населения старше трудоспособного возраста, что в перспективе может негативно сказаться на рынке труда, привести к дефициту социальных расходов регионального бюджета...Число разводов достигает более половины от числа зарегистрированных браков. Незначительный рост числа заключённых браков сопровождается ростом числа разводов" (Московская область).

Основными причинами сложной демографической обстановки, по оценкам экспертов, являются неблагоприятная экономическая ситуация, низкий уровень жизни населения, недоступность жилья, прежде всего для молодёжи, низкая морально-нравственная ценность семьи.

Говоря о мерах социально-демографической политики, эксперты отмечают, что за последние три года были сделаны достаточно серьёзные шаги в направлении улучшения демографической ситуации. В качестве наиболее эффективных мер специалисты называют материнский капитал, социальную помощь и поддержку малообеспеченных и многодетных семей, семей инвалидов и детей-инвалидов, выплаты отдельным категориям семей с детьми, беременным женщинам, льготы по ипотечному кредитованию. Принимаемые меры, по мнению экспертов, в целом способствуют усилению демографической безопасности России. В то же время надо учитывать, что меняющаяся социальная реальность оказывает существенное влияние на темпы достижения намеченных целевых показателей.

"Я считаю, что они (меры демографической политики) недостаточны. Они не соответствуют глубине того кризиса, который существует" (Нижегородская область).

"Сказать, что эти меры позволят решить на 100% проблемы, конечно же нет, но тем не менее, снизить риски и снизить напряжённость они, безусловно, позволят" (Ивановская область).

Эксперты выделяют ряд направлений демографической политики, требующих внимания.

Первое направление связано с улучшением социально-экономической ситуации, повышением уровня и качества жизни населения*:* "Ну и самое главное это – экономика. Не будет работать экономика в России, в нашем регионе, не будет ничего. Надо искать точки развития, новые механизмы поддержки экономики, чтоб она развивалась. Для привлечения инвестиций, чтоб появлялись новые производства, чтоб вокруг этого на территорию притекали люди, развивалась соответствующая инфраструктура. Комплексное развитие территорий, ему надо больше уделять внимания" (Вологодская область).

"Когда мы начинаем обсуждать эту тему, мы говорим: создайте людям рабочие места, то есть поднимите экономику в конце концов, чтобы каждый человек мог работать там, где он живёт, чтобы он не покидал своё место жительства, чтобы он не уезжал и не оставлял свою семью (особенно в сельских районах вообще работать негде). А когда все будут работать, то смысл материальных пособий в какой-то части уйдёт" (Нижегородская область).

Второе направление предполагает сопровождение российской семьи не только в трудных жизненных ситуациях, но на всех важных этапах развития в том числе и благополучной семьи (в связи с созданием семьи, приобретением собственного жилья, рождением первенца и последующих детей и др.). Здесь требуется помощь квалифицированных семейных психологов, врачей, специалистов по социальной работе с семьёй и детьми, специалистов по работе с молодёжью, по присмотру и уходу за детьми. Однако этих специалистов явно недостаточно, отсутствуют системные подходы к их профессиональной подготовке и трудоустройству по специальности.

"Мер принято на самом деле много. И конечно, многим семьям они помогли. Но я всегда выступаю за обычную, нормальную, здоровую семью. А очень многие меры поддерживают не эти семьи. Кроме конкретных выплат в период пандемии, они поддерживают малоимущие семьи, многодетные семьи. А если это ответственная семья, которая воспитывает детей, дети благополучные, родители несут ответственность. Именно эта семья получает меньше всего. Демографическая политика должна быть направлена на

бóльшую часть людей, которые составляют бóльшую часть трудоспособного населения. На семьи, которые ещё могут рожать детей. А это как раз стимулируется недостаточно" (Вологодская область).

Третье. Немаловажное значение, по мнению представителей власти, имеет не только материальная и финансовая помощь, но и формирование идеологии, в соответствии с которой семья и семейные ценности имеют приоритетное значение, трансляция положительного образа благополучной семьи с детьми в обществе.

"Я бы разделил все меры на два блока. Первый блок – финансовые меры поддержки. И очень важная вторая часть – это идеология, формирование идеологии о приоритетности семьи, потому что, к сожалению, наши средства массовой информации формируют немного другое отношение, скажем, не противоположное, но точно не соответствующее тому, что надо" (Волгоградская область).

"На сегодняшний день можно сказать, что меры материально-стимулирующего характера себя исчерпали. Меняется демографическое поведение людей, репродуктивное, сексуальное поведение. Мы уже никогда не вернёмся к прежней модели рождаемости, семьи. Сейчас задача, помимо мер материального характера, уделять внимание воспитательно-пропагандистским мерам" (Башкирия).

Эксперты также отмечают, что значимую роль в работе с населением играет доступность и открытость информационных ресурсов*:* "Самая большая проблема заключается в непрозрачности предпринимаемых мер. И чем больше о них будут говорить, и чем больше они будут открыты, доступны и с бóльшим участием населения, тем это будет более эффективно и воспринимаемо позитивно населением. Потому что всё что воспринимается в штыки, воспринимается в связи с отсутствием информации" (Татарстан).

Многие эксперты – представители региональной власти отмечали, что следует уточнять демографические задачи для каждого конкретного субъекта Российской Федерации, закреплять их в соответствующих паспортах региональных демографических проектов, с определением круга ответственных лиц. Региональные демографические проекты должны быть основаны на актуальных данных региональной статистики, мнениях экспертов. Анализируя специфические региональные практики в сфере демографии, следует отметить, что основное внимание уделяется поддержке семей с детьми, в частности многодетных семей, а также привлечению молодёжи и молодых специалистов. Примечателен опыт Волгоградской области, где проводится большая работа по организации материально-финансовой помощи и морального поощрения семей с детьми.

"У нас несколько региональных мер: такие региональные меры, как родительский капитал на рождение третьего и последующего ребёнка, ежемесячная денежная выплата многодетным семьям на оплату коммунальных услуг, есть ежеквартальная выплата на каждого ребёнка из многодетной семьи, есть выплата для подготовки к школе на каждого ребёнка. У нас эти меры действуют без учёта доходов. В регионе с 2015 года повышен размер адресного пособия на ребёнка именно из многодетной семьи. Кроме выплат, в регионе и транспортный налог регулируется для многодетных семей, и предоставление земельного участка, и оформление ипотечных кредитов на льготных условиях. И то, что комплекс дополнительных мер, которые действуют в регионе эффективен, демонстрирует ежегодный рост числа многодетных семей.

...Если в целом говорить, то по ряду направлений такой красной линией проходит именно поддержка в целом семьи, имеющей ребенка, но и, конечно, это касается многодетной семьи... Это выражается не только в денежных выплатах, у нас есть такие меры морального поощрения, как почётный знак "Материнская слава". И он ежегодно вручается на приёме губернатора" (Волгоградская область).

В Республике Татарстан проводится большая работа по улучшению демографической ситуации за счёт поддержки молодых семей, роста рождаемости, а также привлечения населения, молодёжи, специалистов извне. Популяризируется проект по привлечению молодых семей и специалистов.

"Одна из проблем – это проблема оттока населения из сельских районов, то есть в большие города люди едут, если говорить про Татарстан – прежде всего в Казань, в меньшей степени, но тоже – Набережные Челны и Альметьевск, ну и всё, пожалуй. В районы никто, конечно, ехать не хочет."

«Я могу назвать – республиканская программа "Наш двор", если говорить про Республику Татарстан, это республиканская или федеральная программа "Здоровье" и "Парки и скверы". Вот три, которые на слуху, с которыми я сталкиваюсь"» (Татарстан).

Реализация демографической политики является межведомственной задачей, где пересекаются интересы институтов социальной защиты населения, здравоохранения, образования, строительства. Работа государственных учреждений дополняется проектной деятельностью социально-ориентированных некоммерческих организаций. Важным аспектом эффективной реализации государственной демографической политики является межведомственное взаимодействие в ре-

шении демографических проблем в регионах и в Российской Федерации в целом. Оценивая уровень межведомственного сотрудничества, эксперты отмечают как положительные, так и отрицательные моменты данного процесса.

“Если говорить про регион, то 8 из 10 баллов, если говорить про Российскую Федерацию – 6 из 10. Межведомственное сотрудничество – это взаимодействие органов власти с обществом, с населением, с общественными организациями и бизнесом. То есть треугольник – власть, общество, бизнес. Вот этот треугольник, на мой взгляд, – наиболее эффективное сотрудничество. Как раз-таки этого взаимодействия и не хватает. У нас обычно в лучшем случае власть обращается к населению с точки зрения согласования с ним минимального, чтобы просто не протестовали, не бастовали, но не сильно вовлекают его в процессы. А если говорить о бизнесе, об интересах капитала, то это вообще не учитывается” (Татарстан).

“К сожалению, у каждого ведомства свой интерес. Вот я не видел ни одного заседания по демографии в регионе, не слышал ничего в регионе за последние пять лет, где бы было серьёзное межведомственное совещание с губернатором по демографии” (Нижегородская область).

В условиях недостаточно эффективного межведомственного сотрудничества эксперты предлагают ряд направлений улучшения сложившейся ситуации. К ним можно отнести:

• совершенствование нормативно-правовой базы в сфере демографической политики: “Должны быть какие-то системные решения на уровне руководства регионов, на уровне руководства страны. Все эти программы регламентируются конкретными указами, приказами, нормативными документами по реализации. Изменение этих нормативных основ даст результат” (Татарстан);

• создание единого координирующего органа, занимающегося вопросами демографии: “У нас до сих пор в республике, да и в России в целом, нет структуры, которая бы занималась демографической политикой в целом. Если брать Республику, то у нас несколько ведомств, которые занимаются отдельными демографическими проблемами” (Башкирия);

• повышение квалификации специалистов-демографов: «Необходимо развивать межмуниципальные, межрегиональные, международные проекты в сфере демографии, содействовать подготовке квалифицированных специалистов в этой сфере. В дальнейшем необходимо разработать и внедрить в российскую систему образования образовательный стандарт “Демограф”» (Московская область).

Рассуждая о роли социально ориентированных НКО в решении социально-демографических проблем в регионах, эксперты указывали на разнообразие их деятельности в этой сфере, которая нацелена главным образом на работу с социально уязвимыми категориями населения (пенсионеры, дети, инвалиды), на помощь семьям в трудной жизненной ситуации, одиноким матерям и отцам, воспитывающим детей, приёмным семьям. По мнению экспертов, деятельность социально ориентированных НКО в целом способствует реализации национального проекта “Демография”. В то же время ряд экспертов указывает на недостаточную активность общественных организаций в реализации целей демографической политики: “Но пока о таких практиках (СО НКО по демографии) я лично слышу впервые, работая главой уже 14 лет. Некоммерческие организации именно этот вопрос не обсуждали ни с кем. Пожалуйста – мы готовы. Пусть приезжают, продвигают и обсуждают” (Екатеринбург).

Другая группа специалистов, напротив, отмечает достаточную активность и большое количество направлений деятельности социально ориентированных НКО в решении социально-демографических проблем в регионе, широкое привлечение общественников к работе государственных органов социального обслуживания. Эксперты отмечают, что основными целевыми категориями СО НКО являются социально уязвимые группы населения (пенсионеры, дети, инвалиды, многодетные семьи).

«В регионе очень активно работают НКО. Например, в рамках “Старшего поколения” они очень активно включены и работают, причём очень интересно. И у них интересные есть проекты, которые и гранты выигрывают, например, проект “Социальный маршрут”, как развитие социального туризма для пожилых. Предлагаются порой нестандартные, неординарные подходы к работе с людьми старшего возраста, по продлению активного долголетия. С точки зрения поддержки семьи и детей тоже есть очень много интересных общественных организаций... Они развивают разные проекты: “Многодетный Волгоград”, “Лествица”, “Планета детства”, “Семья”, работают именно с детьми, с семьями с детьми. Есть и общественная организация, которая целенаправленно работает с семьями с детьми-инвалидами – “Дети в беде”. Это адаптация молодых инвалидов в условиях самостоятельного проживания» (Волгоградская область).

«Роль социально ориентированных НКО сейчас возрастает. Это связано с тем, что они не занимаются административной рутиной. Наши НКО в основном работают с детьми-инвалидами. Эта ниша больше всех занята. Если взять “Верас”, “Перспективу”, “Умку” в Чкаловске, “Созведие” в Выксе, у них всё-таки узконаправленные проекты относительно семей с детьми-инвалидами... Семейный центр “Лада” представляет более широкий контингент семей: тренинги для

родителей, подготовка к родам, работа с благополучными семьями» (Нижегородская область).

“Я считаю, что развита работа с пожилыми поколениями в последнее время. Это золотое волонтёрство и т.д. И мы видим этот эффект. Эти организации поднялись. Это тема инвалидов. Под это проще получить деньги. Это важное направление. Прежде всего из-за того, что доступная среда для них так и не создана. Это работа с семьями. Она тоже популярна. Все формы, которые поддерживают семью, должны развиваться, их должно быть больше” (Вологодская область).

В целом большинство экспертов считают, что основная деятельность в сфере социально-демографического развития регионов должна осуществляться на государственном уровне. Социально ориентированные НКО “могут осваивать новые методики, формы, но они могут быть только дополнением к государственным программам. Основная работа в этом направлении должна быть государственная. Демография – это государственная проблема. Роль СО НКО только вспомогательная, поскольку демография – это долгосрочная задача”.

Обобщая мнения экспертов относительно изменений мер семейно-демографической политики отметим, что большинство специалистов считают, что эти меры должны приобрести системность, управляемость, основываться на долгосрочном прогнозировании, результатах количественных и качественных исследований, мнении экспертного сообщества. К обсуждению законодательных инициатив нужно привлекать специалистов, имеющих профильное образование – демографов. Кроме того, совершенствуя законодательство в социально-демографической области, необходимо усилить его ориентацию на всех граждан Российской Федерации, все российские семьи, вне зависимости от их материального положения, наличия или отсутствия детей.

Эксперты почёркивали, что государство уделяет большое внимание социально-демографической политике, реализуемые меры нужны и способствуют поддержке семей с детьми. Вместе с тем в отношении достижимости целей национальных проектов просматривается умеренный скепсис. Осуществляемые меры носят преимущественно социальный характер, ориентированы на нуждающиеся категории населения, их эффект отсрочен во времени. Среди важных проблем обращается внимание на дисфункцию современной семьи и ослабление традиционных семейных ценностей, девальвацию брака, недостаточно эффективное здоровьесбережение, низкий уровень жизни, обезлюдение территорий, ограниченную доступность услуг образовательных организаций. Особо отмечается необходимость развития межведомственного взаимодействия в реализации демографической политики и восстановление доверия к власти. Из конкретных предложений можно указать на такие актуальные задачи, как расширение возможностей некоммерческих организаций, службы медиации по решению внутрисемейных конфликтов, профилактике разводов и т.п., проработка законодательной базы демографической политики, обеспечение прозрачности и достоверности информационного поля, информирование населения о предпринимаемых мерах и возможностях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОСА ЭКСПЕРТОВ – ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ОБЩЕСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Представители общественных организаций, реализующих проекты в сфере демографической политики, указали на наиболее острые для России и региона демографические проблемы, оценили эффективность предпринимаемых государством мер, направленных на достижение целей национального проекта “Демография”, рассказали о практиках работы социально ориентированных НКО в своих регионах.

К наиболее острым демографическим проблемам, помимо сокращения численности населения вследствие низкой рождаемости и высокой смертности, эксперты отнесли:

• ускоренную урбанизацию, обусловленную в том числе региональной политикой концентрации населения в мегаполисах, не рациональную в условиях России;

• миграцию людей из регионов;

• нестабильность института семьи, рост числа расторжения браков, нуклеаризацию семьи на фоне распространения гедонистических ценностей в условиях неуверенности в завтрашнем дне;

• преимущественную ориентацию молодёжи на карьеру в ущерб семье;

• низкую культуру репродуктивного поведения; отсутствие системы психологического сопровождения семей и женщин в послеродовой период;

• отсутствие качественной и доступной медицины, ориентированной на профилактику, а не только на решение уже возникших проблем со здоровьем;

• низкую информированность граждан о системе государственной поддержки семьи и детей;

• проблемы в системе дополнительного образования, неразвитость системы помощи семьям в уходе и присмотре за детьми;

• наличие конфликтов во взаимоотношениях семьи и школы, системы образования и воспитания.

Эксперты – представители социально ориентированных НКО считают, что предпринимаемые в последние три года федеральные меры социально-демографической политики беспрецедентны для России. В то же время, оценивая эффективность этих шагов, многие отмечают, что за рамками государственных программ остаются вопросы воспитания молодого поколения: “Сейчас дадут денег, начнут рожать, дети будут без присмотра”. Приводится пример демографической политики европейских стран, где стараются побуждать к рождению детей средний класс, “потому что это определённый уровень интеллекта, определённый уровень развития детей – уже старт другой. Увеличивать эту прослойку, стимулируя их, – это тоже часть демографической политики... а среднему классу, может быть, не столько нужны пособия, сколько нужна, например, уверенность в работе, уверенность в качественном отдыхе в стране, уверенность в детских садах, каких-то частных школах” (г. Нижний Новгород).

Эксперты признают эффективными меры поддержки многодетных семей: “Они (меры) дают толчок. Потому что многодетные семьи рожают детей. Если там три ребёнка и родится четвёртый, это им не страшно” (Ивановская область). Однако, работая с населением, нуждающимся в помощи, специалисты указывают на вызовы демографическому развитию страны, в том числе на недостаточное внимание духовно-нравственному состоянию общества, в котором преобладают тревожность, социальная напряжённость, которое испытывает “массированный натиск чуждых для нас ценностей (однополые браки, гедонизм, чайлд-фри, допустимость лёгких разводов, сожительство вместо зарегистрированного брака)” (Москва). Также отмечается неравномерное распределение населения по территории страны, миграция молодёжи в крупные города, в скученной среде которых люди меняют приоритеты, отказываются иметь потомство.

В качестве важного демографического вызова расматривается неразвитость ориентированной на семью доступной среды. И здесь НКО нередко оказываются эффективнее государственных структур: “У нас нет излишней бюрократизации ...Мы достаточно подвижны и гибки. Мы можем оказать помощь быстрее, наверное, чем это могут сделать специалисты из социальных органов... У нас есть возможность как у некоммерческого сектора работать точечно” (Екатеринбург).

Деятельность НКО, как правило, активно поддерживается властями регионов, фондами, в том числе фондом президентских грантов, что способствует их успешной работе. “Государство не может дать, то, что можем дать мы; мы можем дать волонтёров, дружбу, тепло. Государство даёт материальную помощь, кроватку, коляску в прокат. Только вместе помощь наиболее эффективна. Мы можем дать психологическую поддержку, сопровождение” (Волгоград). В то же время отмечается рассогласованность действий. Так, эксперт из Вологды отмечает, что помощь от департаментов приходится пробивать, отсутствует координация работы и информирование, не всегда реализуется Федеральный закон о предоставлении НКО безвозмездного пользования имуществом. Эффективная же реализация государственной демографической политики требует межведомственного взаимодействия. Анализ практики работы с семьями, основанный на экспертных интервью, показал, что социально ориентированные НКО являются медиаторами между населением и органами социальной защиты.

* * *

Приведённые в статье данные подтверждают востребованность политики регулирования демографических процессов. Меры поддержки семей с детьми, принимаемые на федеральном уровне, населением и экспертами оцениваются как нужные и действенные. Исследование показало, что современная российская семья нуждается в поддержке не только в трудных жизненных ситуациях, в связи с её неблагополучием или многодетностью. Практически на всех важных этапах развития благополучной семьи (создание семьи, приобретение жилья, рождение первенца и последующих детей и т.д.) требуется помощь со стороны государства, местных органов власти.

Стратегически верным представляются формирование идеологии приоритетности семьи и семейных ценностей, создание и трансляция в обществе положительного образа благополучной семьи с детьми, особенно в молодёжной среде.

Повышение эффективности реализации демографической политики во многом связано с выстраиванием межведомственного сотрудничества, которое способствует преодолению бюрократических препятствий и барьеров. Исследование показало, что недостаточно развито информационное пространство, в котором могли бы взаимодействовать различные институты, реализующие демографическую политику, требуется проведение мер по повышению квалификации специалистов в области семьи и демографии.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 20-18-00256 “Демографическое поведение населения в контексте национальной безопасности России”.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вишневский А.Г.* Время демографических перемен: избр. ст. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2015.
2. *Вишневский А.Г.* Новая роль миграции в демографическом развитии России // Миграция в России 2000–2012. Хрестоматия в 3 томах. Т. 1. Миграционные процессы и актуальные вопросы миграции. Ч. 1. М.: Спецкнига, 2013. С. 97–109.
3. *Локосов В.В.* Демографическое развитие России: динамика и социально-экономические риски // Вестник Российской академии наук. 2020. № 3. С. 251–258. https://doi.org/10.31857/S086958732003010X
4. *Ильин В.А., Шабунова А.А., Калачикова О.Н.* Результаты исследования демографических проблем России в XXI веке // Вестник Российской академии наук. 2021. № 9. С. 831–844. https://doi.org/10.31857/S0869587321090048
5. Демографическая ситуация в России: новые вызовы и пути оптимизации: национальный демографический доклад / Под ред. члена-корреспондента РАН С.В. Рязанцева. М.: Экон-Информ, 2019.
6. *Рыбаковский Л.Л., Кожевникова Н.И.* Депопуляция в России: её этапы, особенности и возможности нейтрализации // Социально-трудовые исследования. 2019. № 2. С. 6–15. https://doi.org/10.34022/2658-3712-2019-35-2-6-15
7. *Рязанцев С.В., Рыбаковский Л.Л.* Демографическое развитие России в XX–XXI веках: историческое и геополитическое измерение // Вестник Российской академии наук. 2021. № 9. С. 810–819. https://doi.org/10.31857/S0869587321090085
8. *Доброхлеб В.Г.* Старение населения России: региональный аспект // Вопросы территориального развития. 2018. № 4 (44). http://vtr.vscc.ac.ru/article/2764; https://doi.org/10.15838/tdi.2018.4.44.4
9. *Ростовская Т.К., Архангельский В.Н., Иванова А.Е. и др.* Семья и демографические процессы в современной России / Под ред. Т.К. Ростовской. М.: Экон-Информ, 2021. https://doi.org/10.19181/monogr.978-5-907427-21-1.2021
10. *Рязанцев С.В., Архангельский В.Н., Воробьёва О.Д. и др.* Демографическое развитие России: тенденции, прогнозы, меры. Национальный демографический доклад – 2020 / Отв. ред. С.В. Рязанцев. М.: Объединённая редакция, 2020.
11. *Рыбаковский Л.Л., Савинков В.И., Кожевникова Н.И.* Особенности демографического развития России: прошлое, настоящее, будущее // Социально-трудовые исследования. 2021. № 2. С. 8–18. https://doi.org/10.34022/2658-3712-2021-43-2-8-18
12. *Русанова Н.Е., Камынина Н.Н.* Коронавирус и преждевременная смертность от неинфекционных заболеваний в России // Народонаселение. 2021. № 3. С. 123–134. https://doi.org/10.19181/population.2021.24.3.10
13. *Рыбаковский О.Л.* Воспроизводство населения России: задачи, тенденции, факторы и возможные результаты к 2024 году // Народонаселение. 2020. № 1. С. 53–66. https://doi.org/10.19181/population.2020.23.1.5
14. *Иванова А.Е., Плетнёва Ю.Э., Сивоплясова С.Ю. и др.* Возможен ли естественный прирост населения России в ближайшие 10 лет? // Экономика. Налоги. Право. 2021. № 2. С. 32–43. https://doi.org/10.26794/1999-849X-2021-14-2-32-43
15. *Симагин Ю.А.* Результаты исследований демографических проблем России в XXI веке // Народонаселение. 2021. № 4. С. 4–22. https://doi.org/10.19181/population.2021.24.4.1
16. *Макар С.В., Симагин Ю.А., Ярашева А.В.* Демографическая ситуация в России и социальная инфраструктура // Народонаселение. 2020. № 1. С. 67–75. https://doi.org/10.19181/population.2020.23.1.6
17. *Козлова О.А., Архангельский В.Н.* Прогноз рождаемости в России: подходы, гипотезы, результаты // Вестник Российской академии наук. 2021. № 9. С. 845–855. https://doi.org/10.31857/S0869587321090061

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 12, с. 1157–1166

ЗА РУБЕЖОМ

ОСОБЕННОСТИ УРЕГУЛИРОВАНИЯ ВООРУЖЁННЫХ КОНФЛИКТОВ В АЗИИ И АФРИКЕ В КОНЦЕ 2010-х – НАЧАЛЕ 2020-х ГОДОВ

© 2022 г. В. С. Мирзеханов[a,b,*], Ф. О. Трунов[b,]**

[a] *Институт всеобщей истории РАН, Москва, Россия*
[b] *Институт научной информации по общественным наукам РАН, Москва, Россия*
**E-mail: lum62@yandex.ru*
***E-mail: 1trunov@mail.ru*

Поступила в редакцию 20.04.2022 г.
После доработки 13.06.2022 г.
Принята к публикации 10.09.2022 г.

На фоне развития современных холодных войн проблема урегулирования региональных вооружённых конфликтов отнюдь не потеряла актуальности. Авторы статьи ставят своей целью выявить закономерности развития вспышек организованного насилия и противодействия этому в современных условиях на примере ситуации в северной части Африки, на Ближнем и Среднем Востоке. Методологически публикация представляет собой попытку актуализировать ряд теоретических положений конфликтологии с учётом вновь возникающих реалий. Особое внимание обращено на тенденцию национализации урегулирования, то есть управление им властями и силами безопасности страны происхождения конфликта. Данный процесс с выявлением общих и отличительных закономерностей анализируется на примере ситуации в Сирии, Ираке, Ливии, Мали, Афганистане. Ставится вопрос о практической взаимосвязи развития вооружённых конфликтов и конфронтаций с участием Евро-Атлантического сообщества и России, США, группы их государств-партнёров и КНР. Формулируются выводы о возможных путях преодоления вспышек организованного насилия, в том числе с участием внешних сил, в реалиях вновь возникающего миропорядка.

Ключевые слова: национализация, миротворчество, поддержание мира, международный терроризм, стабильность.

DOI: 10.31857/S0869587322120064

К числу факторов формирования перспективного миропорядка, безусловно, относятся современные холодные войны, одна из которых развивается между Евро-Атлантическим сообществом и Россией, другая – между США, группой их государств-партнёров и Китаем. При бесспорной значимости каждой из данных конфронтаций едва ли можно утверждать, что только ими ограничивается набор *конституирующих* мировой порядок элементов. К ним следует также отнести сохраняющиеся очаги нестабильности, то есть зоны, где продолжаются вспышки организованного насилия. Значительное их число расположено в северной части Африки, на Ближнем и Среднем Востоке – на достаточно существенном расстоянии от линий разделения сторон-участниц новой холодной войны.





МИРЗЕХАНОВ Велихан Салманханович – доктор исторических наук, профессор, заместитель директора ИВИ РАН; заведующий отделом Азии и Африки ИНИОН РАН. ТРУНОВ Филипп Олегович – кандидат политических наук, ведущий научный сотрудник ИНИОН РАН.

Усиление напряжённости между крупными державами и их объединениями реактуализирует значимость классических вызовов безопасности и обороны, содержащих в себе военную составляющую (в той или иной форме). Однако это отнюдь не означает исчезновения многочисленных

неклассических угроз, проецируемых из зон нестабильности в сторону самого широкого круга международных игроков, в том числе тех, развитие которых признаётся весьма устойчивым и благополучным. Данная группа рисков может содержать как военную компоненту (теракты, повстанческие действия и регулярные боевые операции незаконных вооружённых формирований), так и невоенную (массовое неконтролируемое перемещение беженцев, контрабанда сырья или антиквариата), а их источниками часто выступают негосударственные акторы – прежде всего структуры международного терроризма [1].

В начале 2020-х годов положение этих возбудителей напряжённости в сопоставлении с серединой 2010-х – временем кульминации успехов запрещённого у нас в стране "Исламского государства" на сирийско-иракском направлении – было двойственным. С одной стороны, с точки зрения количественных показателей (численность боевиков, площадь подконтрольных территорий) радикальные незаконные вооружённые формирования (НВФ) в целом далеки от того, чем они располагали 7–8 лет назад. С другой – наблюдается весьма опасная тенденция восстановления их потенциала. Четвёртое поколение группировок международного терроризма, ключевым примером которого стало "Исламское государство", стремилось и будет продолжать пытаться не просто создавать "серые" зоны на политической карте мира, но и отстаивать альтернативные проекты выстраивания институтов власти [2].

Радикальным НВФ неоднократно наносились поражения вплоть до очень тяжёлых (наиболее успешной представляется деятельность триумвирата Российской Федерации – правительства Сирийской Арабской Республики – Исламской Республики Иран на сирийском направлении с осени 2015 г.; в то время деятельность здесь II западной антитеррористической коалиции была намного менее результативной) [3, с. 146–149]. Однако задача их полного разгрома на практике остаётся нерешённой. В результате априори сохраняется потенциальное окно возможностей для восстановления потенциала, перегруппировки, последующей активизации сил боевиков. Этому способствует вступление структур международного терроризма в симбиотические связи с силами организованной преступности, что облегчает теневой трафик различных грузов [4, S. 5, 6]. Наблюдаются первые признаки потенциального сращивания НВФ с коррумпированными элементами системы государственной власти, особенно в условиях социально-экономических трудностей, порождаемых пандемией COVID-19 [5]. В случае полномасштабного развития данная тенденция будет означать появление нового – пятого – поколения террористических группировок [3] как мощной преграды на пути формирования сбалансированного миропорядка.

Мы ставим перед собой задачу выявить характерные черты вооружённых конфликтов и возможности их прекращения в Азии и Африке применительно к рубежу 2010–2020-х годов. Особое внимание обращено на влияние фактора "холодных войн" на исследуемые процессы. В качестве реальных случаев для анализа выбраны конфликты в Мали, Ливии, Сирии (в увязке с ситуацией в Ираке) и Афганистане, так как применительно к ним с целью управления ситуацией предпринимаются особые усилия со стороны внешних игроков, прежде всего государств-членов и институтов Евро-Атлантического сообщества. Методологически данное исследование нацелено на уточнение некоторых текущих особенностей управления и урегулирования конфликтов [6, 7] с учётом актуальных тенденций развития мирополитического ландшафта.

НАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УРЕГУЛИРОВАНИЯ: НОВОЕ "СТАРОЕ" ЯВЛЕНИЕ?

В начале 2020-х годов на ряде направлений – прежде всего на Среднем Востоке и в Западной Африке – наблюдался выход на внутриполитическую арену сил, утвердившихся у власти вооружённым путём; они стремились полностью взять на себя процесс урегулирования, особенно вопросы антитеррористической профилактики. Так, в Мали и Буркина-Фасо военные из числа правительственных войск временно арестовали и оттеснили от власти гражданскую администрацию (в Мали между августом 2020 г. и маем 2021 г. это произошло дважды). В Афганистане местный "Талибан", будучи вооружённой оппозиционной силой, повёл успешное наступление весной–летом 2021 г., заняв Кабул и установив контроль практически над всей страной.

Логика прекращения каждого вооружённого конфликта обусловливает на его завершающей стадии возложение ответственности за обеспечение мира и правопорядка на органы управления и силы безопасности страны происхождения конфликта, что означает её переход к нормальному (постконфликтному) развитию. Комплекс шагов в этом направлении уместно обозначить термином *национализация урегулирования*. Производное данного понятия – "вьетнамизация" – было впервые использовано администрацией Р. Никсона для обозначения переложения ответственности за ситуацию в Южном Вьетнаме на официальный Сайгон и его вооружённые силы; термин приобрёл негативную коннотацию в странах Запада и отчасти в мире в целом [8, с. 709–761]. Вместе с тем именно вьетнамизация конфликта в итоге стала едва ли не основным фактором его

окончания (под названием Второй, а затем и Третьей индокитайской войн), перехода объединившейся страны к устойчивому развитию.

Национализация урегулирования неизбежна уже потому, что её отсутствие будет свидетельствовать о неспособности государства как института бороться за выживание на территориях, образующих общность. Это ни в коей мере не означает отрицания значимости международного участия в урегулировании, в том числе военных усилий – в форме силовых операций, де-юре небоевой деятельности по миротворчеству и поддержанию мира. Однако полномасштабно комплекс таких мер, особенно связанных с использованием войсковых подразделений и частей, в идеале должен продолжаться несколько лет, максимум десятилетие–полтора. В противном случае возникает и развивается эффект навязанного иностранного присутствия, обычно весьма болезненно воспринимающийся местным населением, а часто и представителями силовых ведомств. Ещё более важен другой аспект этой проблемы: чрезмерное затягивание фазы оказания внешней военной помощи (в виде сохранения на территории контингентов личного состава из боевых частей и подразделений) де-факто закрепляет неспособность государства происхождения конфликта самостоятельно решать стоящие перед ним проблемы в области безопасности и обороны.

Из общего правила бывают исключения, когда международное военное присутствие объективно должно быть растянутым во времени – вплоть до нескольких десятилетий. Это те случаи, когда требуется заморозка вооружённого конфликта. Однако тогда речь идёт не обо всех территориях, образующих страну происхождения конфликта, а о её малой части – линии разделения противоборствующих сил, имеющей обычно ширину в несколько километров. Примерами такого применения миротворцев являются миссии: ООН – на Голанских высотах (после окончания боевых действий на сирийском направлении арабо-израильской войны 1973 г.), Российской Федерации – в зоне размороженного (2020) конфликта в Нагорном Карабахе по просьбе Азербайджана и Армении. Исключением представляется нахождение в стране конфликта групп военных инструкторов и советников, которые не составляют войсковых подразделений и частей. Однако в данном случае обязательным условием должна быть легитимность применения этого типа военного инструментария – не только наличие оформленных просьбы или согласия официальных властей страны, но также *действенный* вклад в противостояние радикальных НВФ.

Войсковое присутствие внешних участников в ходе национализации урегулирования и по его окончании может быть сохранено, если трансформируется из миротворческого (размещённого на обширных площадях) в военные базы, сконцентрированные на конкретных, относительно небольших по площади объектах. Разумеется, последнее не отменяет проведение совместных учений, в том числе создание временных, ротационных или постоянных группировок совместных сил, что представляет собой реалию уже мирного (после полного исчезновения очага нестабильности) времени, означая переход к союзу или как минимум стратегическому партнёрству. Переформированные таким образом войсковые силы де-факто, а часто и де-юре являют собой одну из гарантий (не только в военном, но и в политическом отношении) безопасности страны, перешедшей к постконфликтной стадии развития.

Первым примером в реалиях вступления миропорядка в постбиполярную эпоху стало размещение 201-й российской военной базы (ВБ) в Таджикистане после окончания там гражданской войны (1992–1997). После “августовской войны” (2008), когда Россия провела операцию по принуждению к миру официального Тбилиси, на территории Абхазии была создана 7-я ВБ, Южной Осетии – 4-я (позднее 4-я гвардейская) ВБ ВС РФ. В Сирии российская сторона к концу 2010-х годов сосредоточила своё войсковое присутствие в основном на объектах в Латакии (база с аэродромом “Хмеймим”) и Тартусе (пункт материально-технического обеспечения ВМФ России). Тогда ещё не были разгромлены радикальные НВФ: на рубеже 2010–2020-х годов их остатки сконцентрировались в сирийской провинции Идлиб [3]. Чем в таком случае объяснялось решение об обращении к военным базам как доминирующей форме использования сил?

На этапах активного подключения России к антитеррористической борьбе её вклад на сирийском направлении состоял в использовании потенциала Воздушно-космических сил и ВМФ, то есть не предполагал сколько-нибудь масштабного использования наземных сил. Дело в том, что в отличие от Афганистана в 2001 г. или Мали в 2012–2013 гг. национальные силы, ведущие борьбу с НВФ, – в случае Сирии это регулярная армия и проправительственные ополчения – сумели в условиях тяжёлой гражданской войны (борьбы на истощение) сохранить минимально необходимый количественный и качественный потенциал. Дипломатически этому способствовало успешное урегулирование военно-политического кризиса вокруг Сирийской Арабской Республики (САР) в августе–сентябре 2013 г., когда её власти были бездоказательно обвинены в применении химического оружия: Российская Федерация инициировала уничтожение арсенала сирийского оружия массового поражения под международным контролем [9], тем самым предупредив нанесение мощных воздушных ударов “коалицией

желающих" во главе с США. Реализация такого сценария оказала бы разрушительное воздействие на силы безопасности официального Дамаска, и без того ослабленные, что означало бы ликвидацию барьеров на пути наступления "Исламского государства" и союзных ему радикальных НВФ. Умеренная оппозиция в Сирии не была способна остановить и тем более пресечь их дальнейшее усиление, что резко усугубило масштаб и качество миграционного кризиса в ЕС в 2015–2016 гг. и тесно связанного с ним роста террористической активности на территории объединения (2015–2017). Задача, для которой была создана II западная антитеррористическая коалиция, – нанесение поражения ИГ на сирийско-иракском направлении – в реальности оказалась решена объединением усилий РФ, правительства Сирии и Ирана. Их успехи, уже в 2015–2017 гг. приведшие к резкому ослаблению ИГ, стали ещё одной причиной сосредоточения российских сил в составе военных баз. Причём данная форма оказалась гибкой: военные базы по мере необходимости использовались для дальнейшего ослабления потенциала незаконных вооружённых формирований, особенно в Идлибе.

СТРАНОВЫЕ СХЕМЫ НАЦИОНАЛИЗАЦИИ УРЕГУЛИРОВАНИЯ

Сохранение вполне боеспособного ядра проправительственных сирийских сил отменяло необходимость развёртывания международных миротворческих контингентов: решение задач по обеспечению правопорядка было и продолжало лежать прежде всего на регулярных войсках и ополчении официального Дамаска, опиравшегося на помощь Ирана (прежде всего по линии Корпуса стражей исламской революции – КСИР) и России. В данную тенденцию в полной мере вписывалась логика рациональной (с точки зрения количественной ограниченности и эффективности использования оборонного потенциала РФ) поддержки сирийского народа. Соответственно, случай Сирии представлял собой редкий успех ранних (не запоздалых) попыток перехода к национализации процесса урегулирования.

С ведущим участием стран Запада, их региональных партнёров на Ближнем Востоке был создан ряд многосторонних площадок – "Группа друзей Сирии" (с 2012 г.; наиболее активна до 2015 г.), а затем "Малая группа" по Сирии (с 2018 г.). Представляя собой механизмы поддержки умеренной оппозиции, эти форматы не стали действительно значимыми в процессе практического урегулирования. Трансформируясь ("Женева-1", "Женева-2" и т.д.), более результативным оказался межсирийский диалог при международной поддержке в Швейцарии. Существенную роль в поиске путей урегулирования сыграл "Астанинский формат" с ключевой ролью России, Ирана и Турции [7], который во многом обеспечил успех официального Дамаска в деле стабилизации и успокоения большинства территорий САР в конце 2010-х годов. Несмотря на заметные результаты, процесс урегулирования ещё не завершён ни территориально (учитывая неподконтрольность властям Сирии провинции Идлиб в турецкой зоне деэскалации, куда отошли отряды радикальных НВФ и "умеренной" оппозиции), ни институционально. Последнее означает создание существенно обновлённой политической архитектуры Сирии с закреплением в ней представительства действительно умеренной сирийской оппозиции [3]. Для последней необходимость диалога с действующими властями САР становится всё более очевидной, поскольку именно они оказались способны противостоять натиску ИГ и дружественных ему сил. В случае умеренной оппозиции часть военизированных формирований (в частности, ряд отрядов "Свободной сирийской армии" в Идлибе) не смогла избавиться от влияния радикальных НВФ вплоть до сращивания с ними.

Попытки реализовать схему национализации урегулирования, внешне похожую на сирийскую, активно предпринимались в Ираке. Отправной точкой этого процесса, на наш взгляд, следует рассматривать не начало деятельности II западной антитеррористической коалиции (осень 2014 г.), но достижение успехов объединения РФ, официального Дамаска и ИРИ на территории Сирии. ИГ в 2013–2015 гг. наступало в две стороны от района сирийско-иракской границы – на запад и восток–северо-восток, то есть имело логику, обратную физическому закону сообщающихся сосудов. Соответственно, резкое ослабление боевиков ИГ и дружественных ему группировок на сирийском театре военных действий сопровождалось вынужденной переброской туда отрядов НВФ с севера Ирака, что во многом обеспечило саму возможность наступления курдских пешмерга и войск официального Багдада, которые поддерживались в военном плане большой группой государств-членов и партнёров НАТО. Однако по сравнению с Сирией степень готовности Ирака к национализации урегулирования в реальности оказалась существенно ниже. Так, не удалось достичь точки невозврата в деле ослабления террористических группировок в конце 2010-х годов. "Исламское государство" вновь смогло резко активизироваться, перейдя от преимущественно регулярных к повстанческим действиям [10, S. 6–8]. На этом фоне происходит фактическое усиление влияния Ирана на ситуацию в Ираке, что весьма негативно воспринималось США и странами-участницами Евро-Атлантического сообщества в целом, в частности потому, что предполагало возможность их замещения ведущими незападными игроками (в данном случае Ираном). В наиболее

полной мере это наблюдалось на сирийском направлении в середине 2010-х годов: интенсивность усилий (в основном воздушных бомбардировок) II западной антитеррористической коалиции в условиях начала действий ВКС РФ в сотрудничестве с КСИР ИРИ и силами официального Дамаска резко сократилась с последующим выводом наземных сил США с курдского севера [11]. Причём, как уже подчёркивалось, замещение государств-членов Евро-Атлантического сообщества незападными державами оказалось весьма результативным с точки зрения эффективности антитеррористических усилий. Подключение Ирана к такой борьбе на территории Ирака, особенно на севере, потенциально существенно ослабляет ИГ. Однако жёсткость конкуренции Ирана и стран Запада здесь намного больше, чем в случае Сирии, что мешает противодействию общей террористической угрозе.

Ещё более значимыми препятствиями на пути национализации поиска путей обеспечения мира и безопасности в Ираке являются застарелый характер конфликта и тесно связанное с этим фактическое разделение территории страны на три части: юг, населённый иракцами-шиитами, суннитский центр и север с преобладающим курдским населением, тяготеющим к предельно возможной самостоятельности. Как известно, в сентябре 2017 г. был проведён референдум о независимости иракского Курдистана. Несмотря на положительный итог голосования, данное решение не получило международной поддержки, а потому не было реализовано, однако глубокие противоречия сохраняются. Дистанцирование друг от друга пешмерга и правительственных войск официального Багдада, особенно после перехода под контроль властей очищенного от боевиков ИГ Мосула, сохраняется; не помогают и стимулирующие меры стран Запада по их сближению (в частности, наличие единых лагерей подготовки и единый канал предоставления вооружений и предметов военного снабжения) [10, S. 8–10]. Дестабилизация Ирака началась в ходе и по окончании полномасштабной военной кампании “коалиции желающих” во главе с США и Великобританией (март–май 2003 г.). Режим С. Хуссейна был авторитарным по своей природе, однако в данном случае произошла подмена понятий: официальный Багдад, обвинённый в разработке оружия массового поражения (что в итоге не было доказано) и тесных связях с террористическими группировками (также не имело места), из мнимого источника угроз нестабильности после операции 2003 г. превратился в экзистенциальный [12, с. 102–104]. Фактический распад страны на три части сопровождался появлением на территории Ирака “Исламского государства” (с 2006 г.) – сначала под названием “ИГ Ирака”, затем ИГИЛ (то есть включая в предполагаемую зону ответственности уже весь Левант), и наконец, в условиях географического прилежания зон вооружённых конфликтов в самом Ираке и Сирии, – “Исламского государства”, иначе говоря, международной террористической структуры с глобалистскими устремлениями [2].

В нашем понимании вооружённый конфликт представляется возможным назвать застарелым при условии его активного развития, то есть деградации или как минимум стагнации ситуации в смысле улучшения с обеспечением внутренней безопасности на протяжении более чем 10 лет (половина срока активности одного поколения). Бесспорно, усталость значительной части общества от сохранения вспышек организованного насилия накапливается и сохраняется как до, так и по прохождении данного условного хронологического рубежа. Однако в первое десятилетие способность населения, государственно ориентированных представителей власти и сил безопасности к поиску путей прекращения противостояния и примирения обычно намного выше, чем в последующие декады. Иными словами, усталость от развития вооружённого конфликта есть фактор, способствующий урегулированию, но при условии своей не чрезмерности, то есть до впадения масс людей в апатию. Социальная апатия означает массовое появление людей, привыкших осознавать действительность сквозь призму затяжной внутристрановой борьбы, когда начинает стираться национальная память о своём государстве как некогда стабильно действовавшем институте. Это в полной мере проявилось в Сомали, где вооружённый конфликт, меняя формы и ключевых игроков, развивался с конца 1980-х годов, усложняя проблему искоренения сомалийской повстанческой группировки “Аш-Шабаб” и преодоления сепаратизма Сомалиленда и Пунтленда.

По мере хронологического отдаления от начала вооружённого конфликта, в большинстве случаев в первые годы или в первое десятилетие, возрастает степень фрагментации внутриполитического ландшафта и радикализации сил антиправительственного лагеря. Иллюстрация тому – блокирование части представителей умеренной оппозиции с ИГ и запрещённой в России “Джебхат ан-Нусрой” в Сирии, сторонников независимого Азавада с “Ансар ад-Дин” и “Аль-Каидой” в Магрибе, также запрещёнными в РФ [13, S. 6–8]. При таком развитии ситуации радикализация сторон вооружённого конфликта неизбежно достигнет критической отметки, что становится отправной точкой двух сценариев: либо превращения территории страны в серую зону, полностью подконтрольную радикальным НВФ, либо, наоборот, возникает мощный импульс для оздоровления государства как института. Подобный импульс обычно формируется именно тогда, когда вооружённый конфликт ещё не перешёл в заста-

релую стадию, что часто сопровождается предоставлением антитеррористической внешней поддержки – дипломатической или силовой.

Отнюдь не безуспешные попытки не допустить перехода вспышек организованного насилия через 10-летний рубеж наблюдались в случае Ливии. Фактический распад института центральной власти в этой стране в результате военно-воздушной операции группы стран-участниц НАТО во главе с Великобританией и Францией (2011) создал предпосылки для превращения данной территории в огромную транзитную зону, которая проецирует угрозы нестабильности, прежде всего массовой неконтролируемой миграции, а также мимикрирующих под беженцев боевиков, на страны ЕС и НАТО [14, p. 1, 2]. В середине – второй половине 2010-х годов предпринимались неудачные попытки найти решение ливийской проблемы, но удалось, и то лишь отчасти, ограничить масштаб возникших рисков благодаря действиям в южной части Средиземного моря и Сахеле, укреплению отношений с сопредельными Египтом и Алжиром. В 2014–2020 гг. наблюдалась поляризация умеренных сил, вылившаяся в гражданскую войну с участием Ливийской национальной армии (ЛНА) не только как военной машины, но и системы управления во главе с фельдмаршалом Х. Хафтаром, с одной стороны, и Правительства национального согласия (ПНС) Ф. Сарраджа, контролировавшего часть Триполитании и опиравшегося на собственные войска, а ещё более на отряды союзных ПНС движений, с другой; третьей неконструктивной стороной конфликта выступали террористические группировки (ИГ и дружественные ему силы).

В случае Ливии наблюдалось весьма редкое явление *примерного равенства* потенциалов двух сил, стремившихся к восстановлению института государства, – ЛНА и ПНС (обе они имели международное признание). Попытка поколебать этот баланс в результате наступления Ливийской национальной армии весной–летом 2020 г. оказалась в целом неудачной, в первую очередь из-за существенной военной помощи, которую Турция предоставила Правительству национального согласия. Результатом стала компромиссная схема начальной национализации урегулирования – создание механизма “5 + 5” (то есть де-юре с равным представительством ЛНА и ПНС) [15], а в последующем – переходных институтов власти (Форума ливийского диалога), не имевшего тесной привязки ни к ЛНА, ни к ПНС. Сам запуск межливийского диалога и первые успешные этапы его реализации стали возможными благодаря кооперативной схеме взаимодействия ведущих стран-участниц Евро-Атлантического сообщества, в авангарде дипломатических усилий которого действовала ФРГ, с незападными державами, прежде всего Россией. Так, без предварительных опосредованных переговоров в Москве 13 января 2020 г. между ПНС и ЛНА едва ли был возможен их конструктивный диалог на первой встрече в формате Берлинской конференции по Ливии 19 января 2020 г., которая открыла путь прекращению огня, примирению и формированию переходных органов власти [15]. Напротив, вторые переговоры (23 июня 2021 г.) не смогли обеспечить проведение президентских выборов в этой североафриканской стране, запланированных на конец декабря 2021 г. Одна из причин этого усматривается в стремлении государств-участников переговоров от Запада минимизировать роль РФ [16], то есть отойти от кооперативной схемы обеспечения безопасности: десинхронизация усилий не позволила обеспечить необходимого стимулирующего воздействия на процесс урегулирования в вопросе создания и легитимизации постоянных властей страны. Безусловно, значим и внутренний фактор: правительство А.-Х. Дбейбы не смогло сформировать консолидированной вертикали власти и успешно провести подготовку к выборам, что, однако, не может быть в полной мере понято без учёта указанных внешних обстоятельств.

Если в случае Ливии военные (сгруппировавшиеся во главе с Х. Хафтаром в составе ЛНА) играли роль одного из элементов процесса перехода к национализации урегулирования, то в случае Мали (и с высокой долей вероятности Буркина-Фасо) они стремятся быть ключевым игроком. В условиях мощного наступления сторонников независимого Азавада (2012), среди которых резко усиливалось влияние террористических группировок (особенно “Ансар ад-Дин”), армейские чины пошли на силовое отстранение тогдашнего президента с последующей передачей власти переходным гражданским властям. На фоне проведения военно-силовой операции Франции “Serval” (2013–2014), а затем “Barkhane” (2014–2021), параллельно функционирующих миссий MINUSMA и EUTM Mali в этой стране Сахеля были сформированы постоянные органы власти во главе с президентом И.-Б. Кейтой (избран в 2013 и 2018 гг., во втором случае выборы проходили уже на всей территории страны).

Однако первоначальные успехи – договорённости о прекращении огня с действительно умеренными туарегами (июнь 2014 г.) и соглашения о примирении (15 мая и 20 июня 2015 г.) – не были реализованы в достаточной мере. С одной стороны, несмотря на принуждение со стороны Франции и Германии, руководство в Бамако не стремилось наделять расширенными полномочиями муниципальные органы власти на севере Мали [4, S. 9–11], то есть осуществлять федерализацию части страны как условия сохранения её единства и полного отхода от формулы независимого Азавада. С другой – частичное умиротворение в север-

ных провинциях сочеталось с перетоком боевиков незаконных вооружённых формирований на считавшийся относительно спокойным юг, особенно в сопредельные с Буркина-Фасо районы [4, S. 5, 6]. Одной из основных причин наблюдавшейся здесь в конце 2010-х годов существенной деградации обстановки были грубые просчёты центрального руководства в использовании войск: они, прежде всего вновь реорганизованные и обученные миссией EUTM Mali части батальонного уровня, применялись мелкими подразделениями. Таким путём власти во главе с И.-Б. Кейтой стремились исключить риск новой силовой смены власти, однако добились обратного результата – такая смена произошла 19–20 августа 2020 г. Назначенные вскоре высшие гражданские представители переходных органов управления страной во главе с Ба Ндао, в свою очередь, были отстранены от власти 23–24 мая 2020 г. теми же военными чинами. Этот процесс отчётливо иллюстрирует стремление малийских военных взять нити управления урегулированием в свои руки, сосредоточившись на антитеррористической борьбе и профилактике. Притом другая задача – автономизации севера Мали – не может быть снята с повестки дня, поскольку, не будучи решённой, она создаёт предпосылки для сепаратизма.

Представляется, что утвердившиеся у власти в Мали военные (как и в Буркина-Фасо после силовой смены власти там в январе 2022 г.) могут попытаться пойти по пути Сирии и особенно Египта, опробованному ещё в эпоху "арабского национализма": легитимизировать собственные полномочия, расширив свою ответственность как гарантов внутренней безопасности и стабильности. В 2021–2022 гг. наблюдалось стремление новых властей Мали к предельному сокращению присутствия на их территории стран-участниц Евро-Атлантического сообщества, прежде всего Франции, которые воспринимались в качестве игроков, не способных помочь Мали добиться успехов в урегулировании. Под влиянием сменившихся властей страны Пятая республика пошла на свёртывание операции "Barkhane" (2014–2021), а затем и "Takuba" (2020–2022, с использованием потенциала ЕС), выводя войска в соседний Нигер, а деятельность военно-тренировочной миссии ЕС была в апреле 2022 г. заморожена (с декларацией обратимости и временного характера данного решения со стороны государств-членов Европейского союза) [17, S. 6–8].

Примечательна схема национализации урегулирования в Афганистане: ключевую роль в нём приняло на себя местное движение "Талибан", относимое к числу радикальных, связанных с конца 1990-х годов с "Аль-Каидой", и бывшее безусловно оппозиционным в 2001–2021 гг. Власти в Кабуле и весьма значительные силы безопасности, созданные в период деятельности ISAF[1] (параллельно с этим проходила военно-силовая операция США и группы их партнёров "Enduring Freedom"; 2001–2014) и продолжавшие усиливаться уже в период функционирования миссии "Resolute Support" (2015–2021), оказались не способны взять на себя ответственность за обеспечение порядка в стране. Частичное признание этого со стороны США было зафиксировано в сделке между администрацией Д. Трампа и "Талибаном" от 29 февраля 2020 г. (предполагала полный вывод иностранных войск в течение 14 месяцев), полное – в условиях принятия и осуществления окончательного решения уже аппарата Дж. Байдена о свёртывании присутствия США в Афганистане к 11 сентября, а затем 4 июля 2021 г.

В чём проявились признаки попыток "Талибана" перейти к национализации процесса урегулирования, приняв на себя доминирующую роль? Во-первых, это масштаб, результативность и сроки наступления движения весной–летом 2021 г.: стремительно подчиняя одну провинцию за другой к югу, востоку и западу от Кабула, талибы без особого противодействия смогли установить контроль над самим городом (середина августа 2021 г.) и достаточно быстро подавили очаги сопротивления на традиционно оппозиционном им севере. Во-вторых, "Талибан", особенно с начала 2020-х годов, стал позиционировать себя не в качестве исключительно пуштунского, но общенационального движения, вовлекая в ряды своих сторонников представителей большинства этнических групп (в том числе таджиков и узбеков), за исключением лишь хозарейцев. Наконец, в-третьих, талибы уже с 2017–2018 гг. повели жёсткую борьбу с "Исламским государством" на территории Афганистана, преимущественно в северной его части. Вместе с тем полностью ликвидировать отряды ИГ в Хорасане им не удалось [18]. Принципиальным является вопрос об отношении "Талибана" в новых реалиях к "Аль-Каиде": без пересмотра дружественного или как минимум нейтрального отношения к этой террористической группировке превратиться в лидера афганского урегулирования было бы сложно. Сценарий отмежевания "Талибана" от радикальных сил, которое отнюдь не исключено, и в целом его стремление выстроить нормально функционирующий государственный аппарат выдвигает на первый план вопрос о трансформации этого движения из радикального в умеренное.

[1] Международные силы содействия безопасности – возглавляемый НАТО международный войсковой контингент, действовавший на территории Афганистана с 2001 по 2014 г.

ВООРУЖЁННЫЕ КОНФЛИКТЫ В АЗИИ И АФРИКЕ: ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ХОЛОДНЫХ ВОЙН

Развитие ситуации в зонах нестабильности на современном этапе не может быть объяснено без учёта реалий двух уже отмеченных конфронтаций: во-первых, между Евро-Атлантическим сообществом и РФ, во-вторых, между США, группой их государств-партнёров и КНР. Логика предшествующей холодной войны – так сказать, классической – обусловливала стремление государств "первого" и "второго" мира, включая сверхдержавы, к поиску скорейшего успокоения или как минимум жёсткого контроля ситуации в зонах локальных вспышек организованного насилия в третьих странах – иначе они могли перерасти в региональные конфликты, а далее – в войну глобального характера с катастрофическими последствиями для всех сторон. Работает ли данная схема применительно к современности? По нашему мнению, лишь отчасти. В наибольшей мере это характерно для вспышек организованного насилия, географически расположенных между границами сторон-участниц конфронтации – в Европе, в Восточной Азии.

Что касается вооружённых конфликтов в северной части Африки, на Ближнем и Среднем Востоке на их возникновение и разрешение, как представляется, влияют три фактора стратегического характера.

Во-первых, в современных реалиях наличествуют не одна, а *две холодные войны*, в реалиях начала 2020-х годов отнюдь не демонстрирующие тенденцию к слиянию в единый процесс. Имея ряд общих черт, каждая из конфронтаций всё же обладает отличительными особенностями: так, масштаб и скорость выстраивания странами Запада системы сдерживания России в военном и политическом отношении пока выше, чем КНР. В сопоставлении с континентальным Китаем Россия в середине 2010-х – начале 2020-х годов существенно более активно использовала свои оборонные и дипломатические возможности для борьбы с террористической угрозой на Ближнем Востоке и севере Африки и для урегулирования вооружённых конфликтов в целом.

Во-вторых, по мере отдаления от момента старта обеих конфронтаций (2014) *возрастает их сдерживающее (негативное) влияние*, а именно, снижается готовность государств-членов и институтов Евро-Атлантического сообщества к выстраиванию кооперативных схем безопасности с незападными державами. Данная тенденция сохранится, по крайней мере, на кратко- и среднесрочную перспективу – до времени наступления состояния разрядки как минимум для одной из конфронтаций.

Участие стран-участниц НАТО и ЕС в выстраивании системы сдерживания незападных держав (прежде всего РФ, но также КНР и ИРИ) существенно ограничивает те потенциальные ресурсы (особенно военно-людские и финансовые), которые нужны государствам Запада для сохранения присутствия в зонах вооружённых конфликтов и необходимого уровня контроля над их развитием. Во второй половине 2010-х годов эта тенденция была обусловлена формированием сети ротационных группировок передового развёртывания НАТО в Восточной и Северной Европе, численностью войск, предназначенных для использования в составе сил быстрого реагирования альянса, а также его оперативно-тактических резервов. Приостановленный в самом конце 2010-х годов, данный процесс вновь может активизироваться в следующем десятилетии.

Ещё одним ограничителем миротворческой активности становится участие не только США и их партнёров в Восточной Азии, но и стран ЕС в выстраивании системы сдерживания КНР. Со второй половины 2010-х годов наблюдается нарастающее увеличение всех количественных характеристик вооружённых сил (личного состава, единиц вооружений и военной техники, объёмов финансирования) стран-участниц "коллективного" Запада, нацеленное на преодоление проблемы нехватки войск в зонах нестабильности вне зоны ответственности Североатлантического альянса [19]. Так, Франция не могла единовременно использовать для проведения операции "Serval" более 4–5 тыс. военнослужащих, как и для сменившей её операции "Barkhane" [20, с. 120; 21], хотя последняя миссия была развёрнута на территории не только Мали, но и стран "сахельской пятёрки" (Буркина-Фасо, Мавритания, Нигер, Чад) в целом. Одной из причин резкого сокращения присутствия в Афганистане ещё до начала операции "Resolute Support" стала необходимость перенаправления части ударных подразделений и лучших военных инструкторов в Сахель. У Германии военное присутствие на территориях нестабильности за пределами зоны ответственности НАТО сократилось с более чем 7 тыс. в начале 2010-х годов [22, S. 8–11] до 2.4 тыс. по состоянию на декабрь 2021 г. [23]. Наконец, одной из ключевых причин сокращения численности военного персонала ISAF (при администрации Б. Обамы), а затем и решение Д. Трампа пойти на сделку с "Талибаном" видится стремление высвободить военные силы и средства для усиления сдерживания РФ и КНР.

По нашим расчётам, выход на показатели периода до 2014 г. – по объёмам и, что не менее важно, числу миссий с активным участием стран-участниц Евро-Атлантического сообщества, их географическому диапазону в зонах нестабильности – возможен лишь в долгосрочной перспекти-

ве. С одной стороны, это обусловлено определённой инерционностью восстановительного роста большинства стран-участниц НАТО, особенно континентальных европейских государств. Ещё более важно иное: размеры военных подразделений, выделяемых и требующих резервирования для использования в составе группировок альянса внутри его зоны ответственности, весьма велики, имея в виду современную и будущую (как минимум до начала 2030-х годов) численность вооружённых сил западных стран в целом. Сейчас траектория развития их военных машин перенацелена с фокусного использования сил кризисного реагирования (в основном в районах локальных вооружённых конфликтов) на наращивание потенциала войск общего назначения, заточенных на применение внутри зоны ответственности НАТО. С другой стороны, исключительное значение имеет сложность восстановления присутствия на ряде направлений, где оно было утрачено полностью (Афганистан), сокращено до минимальных показателей (Сирия) или оказалось под угрозой демонтажа (Мали) как следствие *национализации урегулирования*.

В случае Ливии расширение наземного военного присутствия в реалиях начала 2020-х годов представляется маловероятным. Так, на фоне первых успехов Берлинской конференции страны-участницы Евро-Атлантического сообщества ограничились запуском военно-морской миссии “IRINI”, которая выступала приближенной к побережью модификацией предшественницы – “Sophia” [24]. Неся разноплановый ущерб – имиджевый, геополитический, финансовый (в случае вложения средств в подготовку правительственных войск, оказавшихся небоеспособными), государства-члены Евро-Атлантического сообщества вынуждены отказываться от обеспечения безопасности на дальних рубежах в пользу сил, берущих в свои руки управление урегулированием. Возможности компенсации утрачиваемых стратегических позиций присутствием на сопредельных территориях (размещение части сил стран Запада в Иордании вместо Сирии, перспективы их наращивания в Нигере на фоне утраты влияния в Мали и Буркина-Фасо) есть далеко не всегда. Причём передислокация зачастую позволяет восстанавливать своё влияние лишь частично – как в количественном, так и особенно качественном отношении.

Наконец, в-третьих, значим фактор *деградации обстановки*, степени этого процесса как в отдельно взятых зонах нестабильности, так и на территориях конфликтов в целом. Так, в первый год после начала операции ВКС РФ в Сирии (осень 2015 г. – осень 2016 г.) страны-участницы ЕС и НАТО не очень внятно критиковали действия нашей страны, хотя они были не просто параллельными, но в значительной мере заменяли на этом направлении II западную антитеррористическую коалицию. В то время государства-члены Европейского союза были заинтересованы в том, чтобы снизить остроту миграционного кризиса и террористической опасности внутри объединения, в том числе посредством использования поддержки России, хотя де-юре её роль никогда не признавалась.

Сложность решения ливийской проблемы обусловила готовность к тесной координации усилий стран Запада, особенно Германии, с Россией на этапах подготовки и запуска Берлинской конференции. Однако в последующем, по мере резкого уменьшения масштаба угроз, проецируемых с территории Сирии и Ливии, готовность стран Запада к сотрудничеству с РФ резко снизилась. Неслучайно в Стамбульском формате – Россия, германо-французский тандем, Турция – встреча по поддержке межсирийского диалога оказалась разовой (октябрь 2018 г.) [25], а полноценный диалог по идлибской проблеме (связанной с сохранением остатков “умеренной” оппозиции, фактически вступившей в тесные контакты с радикальными НВФ) так и не был начат. По схожему сценарию, имея в виду отказ от сотрудничества в пользу весьма ограниченного по характеру и масштабам взаимодействия, развивалась координация усилий между державами НАТО и Россией на Берлинской конференции по Ливии в 2020–2021 гг.

* * *

В начале 2020-х годов, в отличие от середины 2010-х, локализована глобальная “дуга нестабильности”. Она представляет собой пояс зон реальных и потенциальных конфликтов от Центральной Азии до Западной Африки. Её стержнем является активность ИГ как наиболее организованной террористической структуры, а также дочерних и перешедших под эгиду ИГ радикальных НВФ. Ограничить пространство нестабильности удалось благодаря достаточно эффективному противодействию официальных властей государств, охваченных конфликтами, и активизацией участия в процессе урегулирования группы незападных стран. Результаты усилий государств-членов Евро-Атлантического сообщества оказались менее эффективными, что нередко ведёт к свёртыванию их стратегического присутствия в регионе, когда оно объективно не согласуется с национализацией урегулирования.

Рост внутреннего самосознания населения в стране происхождения конфликта, способствующий умиротворению и дерадикализации, не имеет альтернативы как эффективный путь ликвидации очагов организованного насилия. В поддержку этого процесса должны не только де-юре, но и де-факто направляться усилия заинтересованных

международных игроков, в том числе западных стран, даже если такие действия вступают в противоречие с эгоистическими государственными интересами по сохранению их стратегического присутствия в том или ином регионе: выгоды от ликвидации конфликтных зон несопоставимо выше для всего международного сообщества. Однако в условиях развития новых холодных войн понимание этого обстоятельства часто притупляется.

Методически содействие национализации урегулирования предполагает поиск путей активизации многосторонних усилий при решении задач по миротворчеству и поддержанию мира. Имеются в виду оптимизация сроков прекращения конфликтов (особенно на обширных территориях) и реформа сектора безопасности в странах происхождения конфликта. Такой подход не следует понимать как призыв к отказу от помощи внешних участников урегулирования, как стремление пустить этот процесс на самотёк. Речь идёт о нахождении предельно рациональных методов и мер урегулирования различных конфликтов, учитывая исключительную и нарастающую сложность управления ими, а также необычайную трудность задачи полного и необратимого разгрома структур международного терроризма, представляющих экзистенциональную угрозу современному миропорядку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция внешней политики Российской Федерации (утверждена Президентом Российской Федерации В.В. Путиным 30 ноября 2016 г.) https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/official_documents/1538901/
2. *Фитуни Л.Л.* Культурно-идеологические процессы в регионе Ближнего Востока и проблема терроризма сквозь призму предиктивной аналитики // Контуры глобальных трансформаций. 2017. № 2. С. 110–127.
3. *Манойло А.В.* Конфликт в Сирии и внешняя политика России // Актуальные проблемы Европы. 2020. № 2. С. 145–172.
4. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Bericht der Bundesregierung zur Lage und zum deutschen Engagement in Mali/Sahel. Aktuelle Lage, Ziele und Handlungsfelder des deutschen Engagements. Deutscher Bundestag, 19. Wahlperiode. Drucksache 19/18080, 25.03.2020.
5. *Новикова О.Н.* Терроризм в тени пандемии // Актуальные проблемы Европы. 2022. № 1. С. 180–198.
6. International Conflict Resolution / C. Hauss (ed.). NY: Continuum International Publishing Group INC, London: Continuum International Publishing Group Ltd., 2010.
7. *Ходынская-Голенищева М.С.* Сирия: трудный путь от войны к миру. М.: Грифон, 2018.
8. *Дэвидсон Ф.Б.* Война во Вьетнаме (1946–1975). М.: Изографус, Эксмо, 2002.
9. https://tass.ru/politika/674855
10. Antrag der Bundesregierung. Fortsetzung des Einsatzes bewaffneter deutscher Streitkräfte – Stabilisierung sichern, Wiedererstarken des IS verhindern, Versöhnung fördern in Irak und Syrien. Deutscher Bundestag, 19. Wahlperiode. Drucksache 19/22207, 09.09.2020.
11. *Steinberg G., Albrecht A.* Kurden unter Druck: Die Folgen des US-Truppenabzugs für den PKK-Ableger in Syrien // SWP-Aktuell. 2019. Januar. № 4. S. 1–8.
12. *Звягельская И.Д.* Суверенитет и государственность на Ближнем Востоке – невыносимая хрупкость бытия // Контуры глобальных трансформаций. 2017. № 2. С. 97–109.
13. Antrag der Bundesregierung. Fortsetzung der Beteiligung bewaffneter deutscher Streitkräfte an der EU-geführten Ausbildungsmission EUTM Mali. Deutscher Bundestag, 18. Wahlperiode. Drucksache 18/437, 05.02.2014.
14. *Hanish M.* A new quality of engagement Germany's extended military operation in northern Mali // Bundesakademie für Sicherheitspolitik. Security Policy Working Paper. 2015. № 8. P. 1–5.
15. Waffenruhe für Libyen. 19.1.2020. https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/libyen-konferenz-in-berlin-1712310
16. Zweite Berliner Libyen-Konferenz: Neue Phase für Frieden in Libyen. 23.06.2021. https://www.auswaertiges-amt.de/de/aussenpolitik/laender/libyen-node/zweite-libyen-konferenz/2467338
17. Antrag der Bundesregierung. Fortsetzung der Beteiligung bewaffneter deutscher Streitkräfte an der Multidimensionalen Integrierten Stabilisierungsmission der Vereinten Nationen in Mali (MINUSMA). Deutscher Bundestag, 20. Wahlperiode. Drucksache 20/1761, 11.05.2022.
18. *Steinberg G., Albrecht A.* Terror gegen die Taliban // SWP-Aktuell. 2022. Februar. № 8. S. 1–8.
19. https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_49198.htm
20. *Сидоров А.С.* Франция в Сахеле: текущие проблемы и возможное развитие военного конфликта // Актуальные проблемы Европы. 2018. № 4. С. 116–137.
21. *Сидоров А.С.* Стратегический тупик в Сахеле: от встречи в По до встречи в Нджамене // Европейская безопасность: события, оценки, прогнозы. 2021. Выпуск 62 (78). С. 22–27.
22. *Glatz R., Hansen W., Kaim M., Vorrath J.* Die Auslandseinsätze der Bundeswehr in Wandel. Berlin: German Institute for International and Security Affairs, Stiftung Wissenschaft und Politik, 2018.
23. Anzahl der an internationalen Einsätzen beteiligten deutschen Soldaten der Bundeswehr (Stand: 13. Dezember 2021). https://de.statista.com/statistik/daten/studie/72703/umfrage/anzahl-der-soldaten-der-bundeswehr-im-ausland/
24. Antrag der Bundesregierung. Fortsetzung der Beteiligung bewaffneter deutscher Streitkräfte an der durch die Europäische Union geführten Operation EUNAVFOR MED IRINI. Deutscher Bundestag, 19. Wahlperiode. Drucksache 19/27661, 17.03.2021.
25. Syrien: Lösung kann nur politisch gelingen. 27.10.2018. https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/syrien-loesung-kann-nur-politisch-gelingen-1542644

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 12, с. 1167–1177

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

ПИОНЕР ЛАЗЕРНОЙ ЭРЫ
К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Н.Г. БАСОВА

© 2022 г. И. Н. Компанец

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

E-mail: kompanecin@lebedev.ru

Поступила в редакцию 06.09.2022 г.
После доработки 12.09.2022 г.
Принята к публикации 14.09.2022 г.

Статья посвящена жизни и деятельности выдающегося советского и российского учёного, одного из основоположников квантовой электроники, лауреата Нобелевской премии в области физики, академика АН СССР и РАН Николая Геннадиевича Басова (1922–2001). Автор повествует об основных этапах его биографии, акцентируя внимание на главных научных достижениях: создании (совместно с А.М. Прохоровым) принципиально новых малошумящих квантовых генераторов и усилителей радиочастотного диапазона – мазеров, а позднее (совместно с коллегами из Физического института АН СССР им. П.Н. Лебедева) семейства лазеров – генераторов более коротковолнового (оптического) диапазона, выдвижении (совместно с О.Н. Крохиным) идеи осуществления лазерного термоядерного синтеза путём нагрева мишени излучением лазера до температуры, достаточной для протекания реакций синтеза. В статье уделяется внимание и успешной деятельности академика Басова как крупного организатора науки, много сделавшего для разработки и производства лазерной техники, которая нашла самое широкое применение не только в науке, но и в различных отраслях народного хозяйства, военном деле.

Ключевые слова: Н.Г. Басов, квантовый генератор, мазер, лазер, лазерный термоядерный синтез, ФИАН им. П.Н. Лебедева АН СССР, нобелевские лауреаты.

DOI: 10.31857/S0869587322120052

Николай Геннадиевич Басов родился 14 декабря 1922 г. в г. Усмань Воронежской губернии (с 1954 г. в составе Липецкой области) в семье Геннадия Фёдоровича и Зинаиды Андреевны Басовых. Геннадий Фёдорович с 1926 г. преподавал гидротехнику в Воронежском государственном университете (в Воронеж с ним переехала и семья), а с 1931 г. – в Воронежском лесотехническом институте в звании доцента, а затем профессора [1]. Окончание Николаем школы совпало с началом Великой Отечественной войны. В 1941 г. Басов был призван в армию и направлен в Куйбышевскую военно-медицинскую академию, а в 1942 г. переведён в Киевское военно-медицинское училище, эвакуированное в Свердловск. Окончив его в 1943 г., получив квалификацию фельдшера с присвоением звания лейтенанта медицинской службы, был определён в батальон химической защиты и до конца войны находился в рядах действующей армии, в войсках 1-го Украинского фронта. В 1945 г. награждён медалью “За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.”.

Начало работ Н.Г. Басова по квантовой радиофизике неразрывно связано как с Московским механическим институтом (ММИ), в 1953 г. преобразованным в Московский инженерно-физический институт (МИФИ), где он с 1946 по 1950 г. был студентом и по 1953 г. аспирантом, так и с лабораторией колебаний Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР (ФИАН), куда в 1949 г. способного студента пригласил возглавлявший лабораторию колебаний и одновременно заведовавший кафедрой теоретической физики ММИ академик М.А. Леонтович, ставший научным руководителем аспиранта. Н.Г. Басов начал работать в научной группе кандидата физико-математических наук А.М. Прохорова, а после ухода М.А. Леонтовича в 1954 г. в Лабораторию № 2 АН СССР к И.В. Курчатову руководителем и лаборатории колебаний, и диссертанта Н.Г. Басова стал к тому времени уже доктор физико-математиче-

КОМПАНЕЦ Игорь Николаевич – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ФИАН.

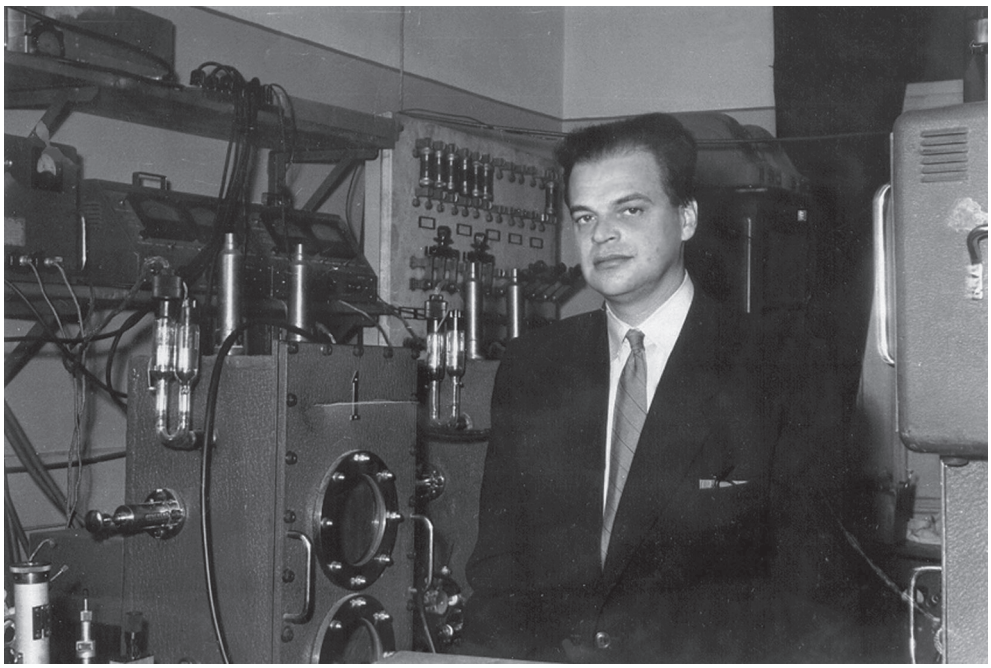


Фото 1. Н.Г. Басов у экспериментальной установки первого молекулярного генератора (середина 1950-х годов) [1]

ских наук А.М. Прохоров. Первые научные работы Н.Г. Басова связаны с исследованием магнитных моментов ядер радиоспектроскопическими методами, и по этой теме он защитил в 1953 г. кандидатскую диссертацию.

Плодотворное сотрудничество Н.Г. Басова и А.М. Прохорова в лаборатории колебаний ФИАН привело к основополагающим результатам в области квантовой радиофизики. Уже в 1952 г. они вместе подготовили и в январе 1953 г. сделали доклад на Всесоюзном совещании по магнитным моментам ядер (стенограмма доклада сохранилась в Архиве РАН), в котором впервые были изложены результаты теоретического анализа эффектов усиления и генерации электромагнитного излучения квантовыми системами и тем самым сформулированы основные положения теории молекулярного квантового генератора на молекулах аммиака. Первая статья Н.Г. Басова и А.М. Прохорова на эту тему была послана в "Журнал теоретической и экспериментальной физики" в январе 1954 г. и вышла в октябре. Аналогичная работа американского физика Ч. Таунса с сотрудниками была отправлена в печать в мае 1954 г. и опубликована в июльском номере журнала "Physical Review". Этот год считается годом создания принципиально новых малошумящих квантовых генераторов и усилителей радиочастотного диапазона – мазеров. В 1956 г. Басов защитил докторскую диссертацию на тему "Молекулярный генератор" [1, 2], при подготовке которой, по отзывам именитых оппонентов, он смог продемонстрировать талант блестящего экспериментатора и высокий уровень теоретического анализа сложных физических проблем.

В 1955 г. Н.Г. Басов предложил эффективный и универсальный метод получения инверсной заселённости – метод селективной накачки электромагнитным излучением так называемой "трёхуровневой" системы. Суть метода, нашедшего чрезвычайно широкое применение в оптических квантовых генераторах, состоит в том, что на дополнительном третьем уровне можно накопить большое число возбуждённых частиц, испускающих кванты излучения при переходах на нижний (с минимальной энергией) уровень под действием аналогичного излучения других частиц, то есть вынужденно. При введении обратной связи с помощью резонатора, в котором взаимодействуют внешние и собственные кванты, возможны генерация и усиление вынужденного излучения. При этом была показана когерентность (синфазность) излучаемых фотонов и их тождественность вынуждающим.

С этого времени Басов загорелся поиском путей создания лазеров – генераторов более коротковолнового (оптического) диапазона. В 1958 г. им совместно с Б.М. Вулом и Ю.М. Поповым в патентной заявке было предложено создавать лазерные источники излучения на основе полупроводников, возбуждаемых импульсным электрическим полем. Через полтора года Н.Г. Басов, О.Н. Крохин и Ю.М. Попов предложили возбуждать полупроводник инжекцией электронов через p-n-переход. Наряду с этими идеями амери-



Фото 2. Нобелевские лауреаты (на переднем плане слева направо) А.М. Прохоров, Н.Г. Басов и Ч. Таунс на научном семинаре в лаборатории КРФ (1969). Фото из архива лаборатории КРФ

канскими учёными предлагалось использовать в лазерах кристаллы рубина (Ч. Таунс, А. Шавлов) и газовые смеси (А. Джаван, В. Беннет).

За открытие нового принципа генерации и усиления электромагнитного излучения на основе квантовых систем в 1959 г. Н.Г. Басову и А.М. Прохорову была присуждена Ленинская премия. Их исследования, а также работы, выполненные в США примерно в то же время Ч. Таунсом с сотрудниками, привели к рождению и бурному развитию новой области физики – квантовой электроники. В 1964 г. за фундаментальные исследования в этой области Н.Г. Басов, А.М. Прохоров и Ч.Х. Таунс удостоились Нобелевской премии в области физики.

Директор ФИАНа академик Д.В. Скобельцын активно поддерживал работы по лазерной тематике и, высоко оценивая научные результаты Н.Г. Басова и А.М. Прохорова, способствовал не только представлению их к престижным наградам, но и выдвижению на руководящие должности. В 1958 г. Н.Г. Басов назначается заместителем директора института по научной работе. В 1959 г. под его руководством в составе лаборатории колебаний организуется сектор молекулярных генераторов, а в 1963 г. сектор выделяется в отдельную лабораторию квантовой радиофизики (КРФ). В 1960 г. А.М. Прохоров избирается членом-корреспондентом АН СССР, в 1962 г. членом-корреспондентом избирается Н.Г. Басов. Действительными членами Академии наук СССР оба становятся в 1966 г.

Предвидя перспективы лазерной техники, Басов в 1958 г. организовал и возглавил в рамках Академии наук первую в СССР научную программу по исследованию возможности генерации и усиления электромагнитного излучения в инфракрасной и оптической областях спектра. Программа осуществлялась исключительно усилиями Физического института, для чего Николай Геннадиевич объединил в одном коллективе сотрудников лаборатории колебаний и ряда других лабораторий ФИАНа. Параллельно выполнялась и другая, “закрытая” программа “Фотон” (к настоящему времени она рассекречена), поскольку Басов не сомневался в том, что у будущих лазеров хорошие перспективы в системах двойного назначения.

Работы по созданию мазеров и лазеров оказались очень привлекательными для сотрудников, особенно молодых, не только ФИАНа, но и других научных организаций Советского Союза. Усилилась конкуренция научных коллективов страны, причём с оглядкой на работы в США. В мае 1960 г. американский физик Т. Мейман запустил первый оптически возбуждаемый импульсный лазер на кристалле рубина, о чём было сообщено в журнале “Nature” в августе того же года. Начатые в конце 1960 г. работы в СССР привели к запуску первых отечественных рубиновых лазеров: в июне 1961 г. в Государственном оптическом институте им. С.И. Вавилова и в сентябре в лаборатории люминесценции ФИАНа. В том же 1961 г. А. Джаван с коллегами в США запустили первый работающий в непрерывном режиме лазер на смеси газов гелия и неона, возбуждаемой

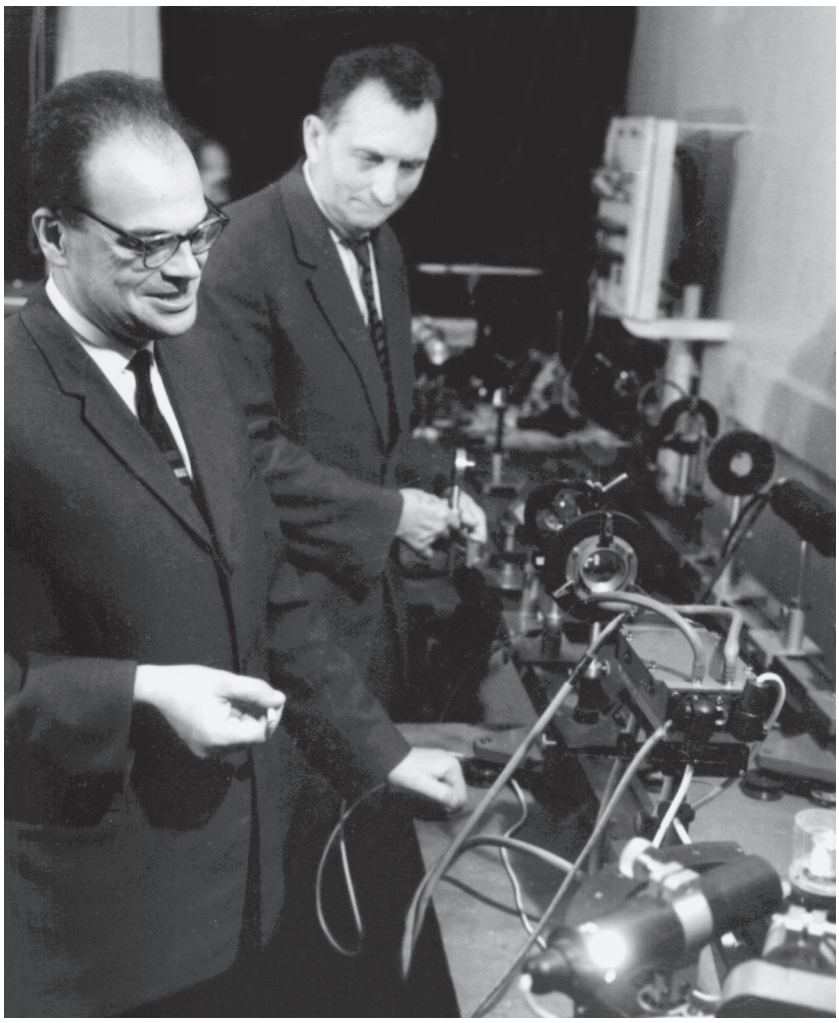


Фото 3. Н.Г. Басов и А.М. Прохоров в лаборатории (1964) [1]. Фото из архива лаборатории КРФ

постоянным электрическим разрядом. Аналогичный лазер был создан в ФИАНе в 1962 г. Н.Г. Басовым с сотрудниками [2, 3].

Заметное влияние на развитие исследований имела обзорная статья Н.Г. Басова "Генерация, усиление и индикация инфракрасного и оптического излучений с помощью квантовых систем", опубликованная в 1960 г. в журнале "Успехи физических наук". В 1958–1962 гг. Басовым и его учениками были предложены и обоснованы главные методы создания полупроводниковых лазеров: с оптической накачкой, инжекционных и лазеров с электронным возбуждением. Опираясь на эти работы, учёные Ленинградского физико-технического института им. А.Ф. Иоффе АН СССР начали исследования излучения полупроводников и в начале 1962 г. впервые наблюдали индуцированное излучение из *p-n*-перехода в арсениде галлия. Активно включилась в исследования и лаборатория физики полупроводников ФИАНа, в которой в декабре 1962 г. был запущен первый отечественный инжекционный лазер на *p-n*-переходе в арсениде галлия. Запуск аналогичного лазера в США состоялся всего тремя месяцами ранее.

Для создателей лазеров стало ясно, что уникальные характеристики лазерного излучения (когерентность, монохроматичность, возможность получения коротких импульсов и высоких мощностей) открывают широчайшие перспективы применения лазеров в науке, различных отраслях народного хозяйства, в военном деле. В 1961 г. Н.Г. Басов и О.Н. Крохин первыми высказали идею осуществления лазерного термоядерного синтеза (ЛТС) путём нагрева мишени излучением лазера до температуры, достаточной для протекания реакций синтеза. Об этом Басов в 1962 г. доложил на заседании президиума АН СССР, а в 1963 г. на III Международной конференции по квантовой электронике [4]. Тем самым на многие годы вперёд предопределилось развитие работ по новому наиважнейшему научно-техническому направлению. В дальнейшем по инициативе Ба-

сова с привлечением промышленных организаций и оборонного ведомства были развёрнуты работы по мощным лазерам как непрерывного, так и импульсного действия, на разных активных средах и с разными типами накачки (помимо осуществления ЛТС такие лазеры требовались для локации Луны и решения ряда других задач). В этой инициативе проявились глубокая проницательность и научная смелость её автора, ведь в то время существовали лишь твердотельные лазеры с энергией импульса менее джоуля и непрерывные газовые лазеры мощностью менее ватта.

Под руководством Басова были начаты работы по фотодиссоционным и химическим, эксимерным и электроионизационным лазерам, по созданию лазерных усилителей и мощных когерентных сумматоров, полупроводниковых инжекционных и дисковых лазеров с оптической накачкой, а также стандартов частоты на основе маломощных газовых лазеров для применений в метрологии, службе точного времени, навигации, геодезии и др.

После успешного выполнения программы "Фотон" в декабре 1962 г. было принято первое постановление ЦК КПСС и Совета министров СССР о развитии лазерной техники. За ним последовали другие. В реализации новых программ участвовали различные академические и ведомственные научно-исследовательские институты, а также производственные предприятия. Проявляя незаурядные организаторские способности, Н.Г. Басов добивался расширения фронта исследовательских работ, укрепления связей с промышленными и оборонными предприятиями. Под его руководством началась разработка комплексных программ развития важнейших направлений квантовой электроники, а ФИАН стал головной организацией при выполнении различных проектов. В результате лазерные исследования развернулись во многих научных и промышленных центрах Советского Союза.

Практика превзошла ожидания учёных: с развитием квантовой радиофизики вторая половина XX столетия ознаменовалась началом новой научно-технологической эры – лазерной, вставшей по своему значению в один ряд с атомной и космической.

Возникает вопрос: что ещё, кроме незаурядных способностей и упорства Басова, позволило ему после вызванного войной почти пятилетнего отлучения от физики и математики успешно окончить курс ММИ–МИФИ (1946–1950) и спустя всего два с половиной года (в конце 1952 г.) подготовить совместно с А.М. Прохоровым доклад, в котором впервые были сформулированы основные положения теории молекулярного квантового генератора? (Эти положения стали основой докторской диссертации Басова и фундаментом работы, оценённой Нобелевской премией.) Доктор физико-математических наук Н.А. Ирисова, сотрудница группы А.М. Прохорова, хорошо знавшая обоих нобелевских лауреатов, утверждала, что "в паре Басов–Прохоров идейным лидером всегда был Николай Басов", и называла его гением [5]. Другой сотрудник лаборатории колебаний (впоследствии Института общей физики РАН) доктор физико-математических наук В.В. Аполлонов аналогично отозвался о Н.Г. Басове в статье с красноречивым названием "Гений, который жил рядом" [6].

Сменивший Басова на посту директора ФИАНа физик-теоретик академик Л.В. Келдыш считал его мышление совершенно необычным, неожиданным и высоко ценил это [5]. Следующий на посту директора ФИАНа физик-теоретик академик О.Н. Крохин, коллега и соавтор многих совместных с Басовым проектов и научных работ, пытался объяснить его "особенную логику мышления, которая идёт не по более простому пути – от основ физики, изложенных в учебниках, к более сложным комплексным построениям, но по противоположному пути – от конца... По-видимому, он считал, что слушатели уже мысленно прошли ту часть пути, которую он прошёл сам" [7]. Крохин также считал, что "Николай Геннадиевич был исключительно креативной личностью. Просто из него все идеи как из фонтана типа питерского Самсона выходили. Главной чертой его натуры были пытливость и творческий подход к делу. Его ум постоянно рождал вопросы-загадки, ответы на которые порождали новые идеи и открывали новые пути исследований или реализации новых задач" [8, с. 1076].

Будучи аспирантом Басова и позднее в течение многих лет тесно работая с ним, в том числе в 1970–1980-х годах в качестве секретаря парторганизации в руководимом им отделении КРФ, я сам неоднократно был свидетелем того, как Николай Геннадиевич возбуждённо говорил о новой идее, привычно потирая одной ладонью другую. Обычно это бывало утром, в основном в понедельник, так как идеи чаще всего нисходили к нему ночью и в выходные. Своими идеями он делился, в первую очередь, со своими заместителями и с другими коллегами, которых эти идеи касались.

Академик Басов был большим мечтателем и всегда с надеждой и верой рассматривал вероятность воплощения своей мечты (или предвидения). Он говорил о ней как о живой, как бы видя, осязая её. О.Н. Крохин вспоминал: "Когда только появились лазеры, Николай Геннадиевич предсказывал чуть ли не новую научно-техническую революцию, связанную с этим открытием. Многим тогда это казалось слишком большим преувеличением. Однако время доказало его правоту.

Именно сейчас происходит интенсивное проникновение лазеров в современную технологию – от использования их в эндоскопических и глазных операциях до создания трансконтинентальных линий связи и интернета, от сверхточных измерений до компакт-дисков, лазерных принтеров и обработки материалов в машиностроении" [7].

Особое место в творческой жизни Н.Г. Басова занимало его любимое детище – лаборатория квантовой радиофизики, которая с 1973 г. является отделением ФИАНа. Несмотря на загруженность работой в дирекции института (заместитель директора с 1958 по 1972 г., директор с 1973 по 1989 г.), в Академии наук (член президиума в 1967–1990 гг.), во Всесоюзном обществе "Знание" (председатель в 1978–1990 гг.), он постоянно интересовался всеми сторонами жизни своей лаборатории (отделения), руководил научным семинаром, реализацией планов исследований, обеспечением необходимым оборудованием, сотрудничеством с отечественными и зарубежными организациями и вообще много сделал для развития своего подразделения, включая постройку лабораторных корпусов не только в Москве, но и в Красной Пахре (позднее – Академгородок, а с 2007 г. наукоград Троицк).

Главным в научной деятельности Н.Г. Басова являлось создание и развитие новых перспективных научных направлений, кардинально меняющих традиционные взгляды, и одновременно проведение исследований в уже развитых направлениях для обеспечения решения крупных задач науки и техники. Он сам определял тематику исследований либо, по мере формирования коллектива, поддерживал идеи и предложения своих сотрудников. Этим прежде всего объясняется разнообразие и широта научных направлений, созданных Басовым и его школой, вырастившей более 80 докторов наук. Более 50 его сотрудников удостоены звания лауреата самых престижных премий – Ленинской, Государственной СССР или РФ и премий Правительства РФ, а также именных премий и медалей РАН.

Лаборатория квантовой радиофизики ФИАНа ("Басовская", как стали её называть) быстро приобрела известность в научном мире и на протяжении десятилетий оказывала и продолжает оказывать заметное влияние на деятельность отечественных и зарубежных учёных. Большую роль в этом сыграл и научный (тоже "Басовский") семинар, на котором заслушивались и обсуждались доклады о результатах текущих научных исследований, выступали приглашённые известные учёные, в том числе зарубежные. Николай Геннадиевич всегда сидел в первом ряду и обычно одним из первых задавал вопросы докладчику.

Басов сам принимал на работу сотрудников и знал большинство из них по имени и отчеству. Лично тепло поздравлял женщин с праздником 8 марта на торжественном собрании, организуемом профсоюзной организацией. В другие праздники поздравлял сотрудников по радиосети (она тогда работала), а также лично, обходя лаборатории. Вместе с сотрудниками болел за волейбольную команду лаборатории КРФ, которая в 1969 г. выиграла первенство среди лабораторий ФИАНа.

В общении с сотрудниками и аспирантами академик Басов был приветлив и прост. Наиболее легко донести ему свою идею, просьбу или предложение можно было вечером, после окончания рабочего дня, дождавшись ухода последнего его гостя или посетителя. Редко, когда Эн Гэ (так за глаза его звали сотрудники) покидал лабораторию раньше 10 часов вечера.

Николай Геннадиевич испытывал неподдельную радость и гордость за успехи и достижения своих сотрудников. Это проявлялось, например, при их награждении государственными наградами, защите ими диссертаций и на праздновании их юбилеев. Обычно Басов выступал на торжествах и банкетах, устраиваемых по такому поводу, и тёплые слова его поздравления никогда не были дежурными, банальными.

Феноменальная интуиция и широкий круг интересов позволяли Басову быстро вникать в любую новую проблему и находить пути её решения, непременно добиваясь результата. Не могу не упомянуть и о его отзывчивости. Если по каким-либо причинам он не мог сам исполнить просьбу подчинённого, то в его стиле было быстро найти коллег, способных это сделать. Например, в 2000 г. по моей просьбе как заведующего лабораторией оптоэлектронных процессоров отделения квантовой радиофизики и председателя программного комитета международной конференции по передовым дисплейным технологиям (ADT-2000) Басов договорился с космонавтом В.Н. Терешковой, в то время руководителем Российского центра международного научного и культурного сотрудничества при Правительстве РФ (Росзарубежцентр), о предоставлении помещений Дома дружбы с народами зарубежных стран на ул. Воздвиженка для проведения первой в России конференции Международного дисплейного общества (SID). Он же открыл и саму конференцию, прошедшую с успехом.

Неудачи и проблемы подчинённых Николай Геннадиевич переживал как собственные, и был рад помочь сотрудникам не только в научных, но и в житейских делах. Наиболее значимыми из таких дел явились "пробивание" многих квартир для нуждающихся сотрудников в Москве, Самаре, Троицке, Долгопрудном, Пущине и постройка в 1977 г. 16-этажного жилого дома по ул. Зюзинской в Москве. Квартиры в нём получили не

только сотрудники отделения квантовой радиофизики, но и других подразделений ФИАНа.

Обширной и многогранной была научно-организационная деятельность Н.Г. Басова на посту заместителя директора и затем директора ФИАНа. Именно в 1960–1970-е годы институт выдвинулся в ряд передовых центров физической науки СССР. Быстро расширялась и совершенствовалась его экспериментальная база [5]. Внедрение средств автоматизации, вычислительной техники, обновление приборного парка, создание уникальных установок – этими вопросами Николай Геннадиевич занимался непосредственно и в институте, и в академии, и в министерствах, на уровне Совета министров СССР и отделов ЦК КПСС, отвечавших за выпуск научного оборудования. Много внимания он уделял повышению точности физических измерений, а также постановке новых экспериментов и проектированию для этого специальных физических установок.

Активной и результативной работе института была подчинена и кадровая политика. При деятельном участии Николая Геннадиевича, партийной и профсоюзной организаций в ФИАНе был разработан порядок аттестации и утверждения в должностях учёных, инженеров, рабочих и обслуживающего персонала. В сущности, речь шла об адаптации трудового законодательства к задачам института. Слова с определением должности (младший или старший научный сотрудник, заведующий сектором, начальник установки), степени (кандидат или доктор физико-математических наук) обрели более конкретный смысл не только в виде уровня зарплаты, но и чёткого формулирования обязанностей [5].

С целью обеспечения развития ФИАНа ещё в 1963 г. по инициативе Н.Г. Басова и на основании постановления ЦК КПСС и правительства институту была выделена земля под строительство Особого конструкторского бюро. Площадку для него Басов выбрал примерно в 20 км от тогдашних границ Москвы у посёлка Красная Пахра (с 1977 г. это всем известный город Троицк, который оказался чуть ли не в геометрическом центре Новой Москвы). В 1966 г. строительство завершилось, и новое ОКБ приступило к выполнению производственных заказов для ФИАНа и других научных учреждений страны. По сути было создано научно-технологическое и конструкторское предприятие, оснащённое современным оборудованием для механической, опто-механической обработки материалов, разработки и монтажа радиоэлектронной аппаратуры, постройки экспериментальных макетов и физических установок. Параллельно в Троицке возводились жилые дома, магазины, школы и другие объекты социальной инфраструктуры.

Уже позднее (в 2008 г.) ОКБ ФИАНа было преобразовано в Троицкое обособленное подразделение института и при нём с целью формирования среды, благоприятной для развития малого и среднего инновационного предпринимательства, было создано инновационное подразделение “Троицкий технопарк”. Тематика работ в технопарке включает в себя научное приборостроение, оптоэлектронику, лазерную технику, в том числе разработку и создание компонентов и полуфабрикатов для неё, материаловедение и создание новых материалов. Во многих помещениях бывшего ОКБ с тех пор работают малые предприятия, которые сохраняют и развивают традиции ОКБ ФИАНа в создании научно-технической продукции. Следует также упомянуть, что в 1970 г. в Троицке была завершена организация Института спектроскопии РАН, основной костяк коллектива которого составили сотрудники лаборатории спектроскопии и лаборатории квантовой радиофизики ФИАНа, что в значительной мере способствовало развитию лазерной тематики и определило лицо нового института.

Благодаря совместной инициативе Н.Г. Басова и руководства Куйбышевской области в 1980 г. был образован Куйбышевский (с 1991 г. Самарский) филиал ФИАНа с целью создания перспективных лазерных систем и технологий в интересах машиностроительного комплекса г. Куйбышева. (Город и область на тот момент представляли собой развитый индустриальный регион, располагавший мощной энергетической базой, большими строительными возможностями, высококвалифицированными кадрами в машиностроении, химической и авиационной промышленности и были заинтересованы в увеличении научного потенциала.) В апреле 1980 г. в здании Куйбышевского обкома КПСС Басов с сотрудниками выступили с краткими сообщениями о своих работах в области лазерной физики, а Николай Геннадиевич представил первого директора филиала – доктора физико-математических наук В.А. Катулина, крупного специалиста в области создания и использования мощных лазеров. Вскоре для постоянной работы в филиале приехали высококвалифицированные специалисты по физике лазеров А.Л. Петров и В.И. Игошин, а также многочисленные молодые учёные – амбициозные выпускники и аспиранты МИФИ.

Как директор ФИАНа Басов внимательно следил за развитием филиала, быстро становившегося мощным катализатором развития лазерного направления исследований и внедренческих работ. В 1989 г. на базе филиала ФИАНа и Куйбышевского госуниверситета был создан научно-учебный Центр лазерной технологии, научным руководителем которого стал В.А. Катулин. К настоящему времени в сферу влияния центра включены практически все высшие учебные заведения

Самары, имеющие отношение к лазерной физике и оптике. Индустриальный регион получил новые перспективы и стимулы развития как фундаментальной, так и прикладной науки.

Успехи и достижения руководимого Н.Г. Басовым коллектива ФИАНа, особенно в рамках исследований по лазерной тематике, заслуженно оценило правительство СССР, наградив в 1984 г. институт орденом Октябрьской революции.

Понимая, что проблема получения неисчерпаемого безопасного и относительно экологически чистого источника энергии превосходит на данном этапе финансовые возможности нашей страны, Басов неоднократно ставил вопрос о необходимости международного сотрудничества в решении проблемы лазерного термоядерного синтеза, что было непросто в условиях закрытого характера работ. Наиболее привлекательной для Басова представлялась идея создания международного лазерного термоядерного центра. В 1990–1991 гг. идея получила поддержку влиятельных международных организаций – МАГАТЭ и ЮНЕСКО, разрабатывались даже её практические аспекты, но до реализации дело не дошло, поскольку индустриально развитые страны (США, Франция, Япония, Китай, Корея, Россия) начали создавать национальные центры ЛТС. Вклад Н.Г. Басова в развитие международного сотрудничества в области лазерного термоядерного синтеза был отмечен почётными премиями в США, Индии и других странах.

В 1971 г. Басов организовал издание сборника статей “Квантовая электроника”, ставшего в 1974 г. научным журналом с тем же названием (издаются русская и английская версия), и до последних дней жизни был его главным редактором. В 1980 г. он основал “Journal of Soviet Laser Research” (позднее “Journal of Russian Laser Research”) и был избран членом редколлегии международного ежегодника “Наука и человечество”. С 1967 по 1990 г. возглавлял научно-популярный журнал “Природа”.

В 1963 г. Басов стал профессором МИФИ, часто бывал в альма-матер и организовал там семинар по квантовой радиофизике для преподавателей и студентов старших курсов, на котором с докладами по актуальным темам периодически выступали ведущие сотрудники ФИАНа. На основе опыта преподавания у Николая Геннадиевича сформировалось предложение, как эффективнее готовить квалифицированные научно-инженерные кадры для научных и промышленных центров страны и одновременно расширить географию лазерных исследований. Для решения такой задачи требовались современная научная база (её мог предоставить ФИАН, учебно-методическая база имелась в МИФИ) и способная молодёжь. По инициативе академика Басова и при содействии ректора МИФИ профессора В.Г. Кириллова-Угрюмова в 1971 г. был создан Специальный факультет физики МИФИ, позднее переименованный в Высшую школу физиков (ВШФ), основная задача которого – индивидуальная подготовка высококвалифицированных специалистов в области лазерной физики. На него зачисляются в порядке перевода одарённые студенты, имеющие образование в объёме двух с половиной курсов физических и физико-технических факультетов областных и республиканских вузов, проявившие склонность и способность к научно-исследовательской работе (эти качества выявлялись при собеседовании с ними специально командируемых представителей МИФИ и/или ФИАНа). Учебная и научно-исследовательская работа студентов затем проходит в стенах МИФИ и ФИАНа. После окончания факультета выпускники получают диплом НИЯУ МИФИ государственного образца о высшем образовании и квалификацию инженера-физика. Формально они трудоустраиваются тем университетом, который их откомандировывал в МИФИ, но в большинстве случаев поступают в аспирантуру МИФИ или по месту выполнения дипломного проектирования.

Высокий уровень подготовки, индивидуальное шефство ведущих учёных позволяют выпускникам ВШФ стать высококлассными специалистами в избранной области и в короткие сроки занять достаточно высокое положение в своей области знаний. За 50 лет через систему ВШФ прошло более 1300 человек, представляющих более 70 вузов России и стран СНГ. Около 70% из них имеют теперь учёные степени кандидата или доктора физико-математических наук, а трое стали академиками, двое – членами-корреспондентами РАН.

Проект “Высшая школа физиков НИЯУ МИФИ” отмечен премией Президента РФ в области образования за 2001 год. Высшей школе физиков присвоено имя её основателя и научного руководителя академика Н.Г. Басова. Деятельность ВШФ получила высокую оценку коллегии Минобразования России и поддержку в рамках федеральной целевой программы “Интеграция”. В настоящее время научное руководство Высшей школой физиков осуществляет академик РАН О.Н. Крохин, а руководит ею выпускница ВШФ доктор физико-математических наук, профессор И.Н. Завестовская.

Н.Г. Басов был также инициатором создания в 1977 г. кафедры “Квантовая электроника” (ныне “Лазерная физика”) в МИФИ и заведовал ею на протяжении 24 лет. Учитывая заслуги академика Басова в подготовке и воспитании научных кадров, учёный совет МИФИ присвоил ему звание Почётного профессора.



Фото 4. А.М. Прохоров с внуком Александром (слева) и Н.Г. Басов с сыном Дмитрием (справа), 2001 г. [1]

Далее позволю себе отступление, касающиеся деликатной темы – взаимоотношений двух выдающихся физиков, двух нобелевских лауреатов. Мне, общавшемуся с академиком Басовым на протяжении многих лет, до сих пор приходится слышать вопрос: было ли в период бурного развития лазерной физики и создания лазеров противостояние между академиками Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым и между работниками их подразделений, ведь учёные, как правило, амбициозны и ревнивы к успехам коллег?

В конце 1970-х годов этот деликатный вопрос обсуждался на заседании Октябрьского райкома КПСС г. в присутствии академиков и секретарей партбюро отделений “А” (Н.В. Карлов) и “Б” (И.Н. Компанец) ФИАНа, так как на самых разных уровнях научного (прежде всего академического) сообщества на слуху была информация о натянутых отношениях сотрудников и их коллег, примыкавших к тому или иному “лагерю”, о непубличном (за глаза) выпячивании или принижении успехов и неуспехов одной из сторон, а также о “продавливании” своих интересов и своих кадров и, наоборот, в организации им препятствий.

Заседание прошло достаточно спокойно, поскольку оба академика уведомили присутствующих о своём искреннем уважении и почтении по отношению друг к другу, а проявления конфронтации посчитали только внешними. Они в обоих отделениях инициировались сотрудниками, не вполне адекватно оценивавшими процесс научных исследований, который по сути своей носит соревновательный характер, а также превратно понимающими вопросы защиты интересов своих отделений и их руководителей. Оба академика посчитали это своими недоработками и обещали принять необходимые меры.

У сотрудников ФИАН имеется множество свидетельств уважительно-почтительного, а с возрастом и заботливого отношения академиков друг к другу. Например, директор Пущинской радиоастрономической обсерватории Астрокосмического центра ФИАНа доктор физико-математических наук Р.Д. Дагкесаманский рассказал, что в один из визитов в обсерваторию, а именно 11 июля 1980 г., Н.Г. Басов попросил разрешить ему позвонить в Москву А.М. Прохорову. Услышав в трубке знакомый голос, Николай Геннадиевич произнёс: “От всей души, Александр Михайлович, поздравляю Вас с замечательным юбилеем”. На вопрос удивленного собеседника, о каком юбилее идёт речь, последовал ответ: “Ну так сегодня Вам исполняется 64 года, а это ведь два в шестой степени, и следующий такой день будет только через 64 года!” [5].

А вот что говорил в день 75-летия Н.Г. Басова А.М. Прохоров об одном из первых с 1951 г. и ближайших своих сотрудников в лаборатории колебаний ФИАНа. “9 декабря 1994 г. была пятница. Кто-то из старых сотрудников лаборатории колебаний вспомнил, что завтра, 10 декабря, исполнится 30 лет с того памятного дня, когда Чарльзу Таунсу и нам с Николаем Геннадиевичем в Стокгольме была вручена Нобелевская премия по физике 1964 г. Тут же возникла идея отметить эту дату. Позвонили Николаю Геннадиевичу. Он живо откликнулся на предложение собраться ненадолго в моём кабинете. Присутствовали ещё несколько сотрудников нашего института из числа работавших в лаборатории колебаний ФИАН в 50-е годы. Незаметно в непринуждённой тёплой беседе прошли два часа. Было хорошее настроение, говорили о сегодняшнем дне, о прошедших годах. Что-то звучало вслух, что-то проходило перед мысленным взором” [9].



Фото 5. Скульптурная композиция “Выпускник МИФИ академик Н.Г. Басов с моделью первого молекулярного генератора” [10]

Николай Геннадиевич очень остро переживал разрушение СССР и крах гегемонии КПСС, урезание финансирования на фундаментальную науку и прикладные научные разработки, уход учёных из сферы науки или их эмиграцию. По сути, рушилось многое из того, что он сам создавал. Особенно запомнился разговор об этом в его кабинете, который не отапливался в те годы, как и все помещения ФИАНа, и потому приходилось сидеть в верхней одежде. Полагаю, что стрессы, которые Николай Геннадиевич испытал в 1990-е годы, подорвали его здоровье и ускорили его кончину.

Прошло более двадцати лет, однако личность и деятельность академика Н.Г. Басова продолжают осмысливаться современниками. Редко кому удаётся так ярко прожить свою жизнь и так много передать потомкам, как ему. Лазеры, прочно вошедшие в нашу повседневную практику, являются главным и осязаемым свидетельством значимости деяний академика Басова. Благодарные ученики и потомки чтут память гения, бережно относятся к его научному наследию и обогащают его новыми идеями и практическими результатами своих исследований.

Заслуги Н.Г. Басова перед отечественной и мировой наукой получили всеобщее признание. Нобелевский лауреат был дважды удостоен звания Героя Социалистического Труда (в 1969 г. и 1982 г.), являлся лауреатом Ленинской (1959) и Государственной (1989) премий, награждён золотой медалью им. М.В. Ломоносова АН СССР (1990), а также другими государственными орденами СССР и зарубежных стран.

В МИФИ чтут память своего знаменитого выпускника. В главном здании установлен бронзовый бюст Н.Г. Басова, а перед зданием сооружён бронзовый памятник работы скульптора А.А. Миронова [10].

Институт магистратуры и Высшая школа физиков им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ при поддержке отделения квантовой радиофизики ФИАНа ежегодно проводят молодёжный конкурс научных работ им. Н.Г. Басова по оптике и лазерной физике. Победители конкурса выступают с докладами на ежегодных “Басовских чтениях”, организуемых в Отделении КРФ в день рождения Николая Геннадиевича.

С 2001 г. Отделение КРФ ФИАНа и Высшая школа физиков НИЯУ МИФИ носят имя своего основателя академика Н.Г. Басова. В Отделении КРФ и в ФИАНе ежегодно проводится конкурс научных работ на премию им. Н.Г. Басова. В 2004 г. в ФИАНе установлен бронзовый бюст Н.Г. Басова работы скульптора Л.М. Баранова, являющийся уменьшенной копией памятника на родине учёного в г. Усмань. С 2010 г. за выдающиеся работы в области физики Российской академией наук присуждается Золотая медаль имени Н.Г. Басова. В его честь 1 сентября 1993 г. в каталоге астероидов под номером 3599 зарегистрирована малая планета Basov. В 2018 г. пересечение улиц Вавилова и Дмитрия Ульянова в Москве названо “Площадью академика Басова”. В честь 100-летия выпущена памятная именная почтовая марка. Ука-

зом Президента РФ о праздновании 100-летия со дня рождения выдающегося учёного учреждены (начиная с 2023 г.) пять персональных стипендий имени Н.Г. Басова для аспирантов ФИАНа [11].

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор искренне благодарит сотрудников ФИАНа, оказавших ему содействие в подготовке статьи, любезно предоставивших для ознакомления свои материалы, включая тексты и фотографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Книга-альбом “Николай Геннадиевич Басов. К 95-летию со дня рождения” / Под ред. А.А. Ионина. Авторы-составители: В.М. Березанская, М.А. Лукичёв, Н.М. Шаульская. Ярославль: издательство РМП, 2017.
2. Записки архивариуса / Сост. А.Н. Стародуб. М.: Издание Архива Физического института им. П.Н. Лебедева РАН. Т. 1 (1992); т. 2 (1997).
3. Как это было... Воспоминания создателей отечественной лазерной техники. Части 1–6 / Ред.-сост. И.Б. Ковш. М.: Рекламно-издательский центр “Техносфера”, 2006–2018.
4. *Басов Н.Г.* О применении лазеров для управляемого термоядерного синтеза. Доклад на заседании президиума АН СССР, 1962; Доклад на III Международной конференции по квантовой электронике. Париж, 1963.
5. *Виноградов А.В.* Н.Г. Басов во главе Физического института Академии наук СССР (1973–1988) // Исследования по истории физики и механики 2019–2020 / Отв. ред. Вл.П. Визгин. М.: Ин-т истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, 2021.
6. *Аполлонов В.В.* Гений, который жил рядом // Военно-промышленный курьер (ВПК). № 36 (899). 21 сентября 2021 г.
7. *Крохин О.Н.* Воспоминания о Н.Г. Басове (к 70-летию НИЯУ МИФИ). http://library.mephi.ru/ vistavki/basov/memoirs.html
8. *Крохин О.Н.* Слово о Николае Геннадиевиче Басове // Квантовая электроника, 2017. № 12. С. 1075–1076.
9. *Прохоров А.М.* К 75-летию Н.Г. Басова // Квантовая электроника. 1997. № 12. С. 1061–1062.
10. https://old.mephi.ru/about/nobel_laureates.php
11. Указ Президента РФ “О праздновании 100-летия со дня рождения Н.Г. Басова”. 18 августа 2022 г., № 562. https://3c8174dZyzmdt4astxATiOSLmEjqpIK2.pdf

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 12, с. 1178–1188

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ГЕНОМА И ЕЁ РОЛЬ В ЭВОЛЮЦИИ, АДАПТАЦИИ И ПЕРСИСТЕНЦИИ ПАТОГЕННЫХ БАКТЕРИЙ

К 120-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ЛАУРЕАТА НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ ПО ФИЗИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ 1983 г. БАРБАРЫ МАККЛИНТОК

© 2022 г. Б. Г. Андрюков[a,b,*], Т. А. Кузнецова[a,], Н. Н. Беседнова[a,***]**

[a] *НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова Роспотребнадзора, Владивосток, Россия*
[b] *Дальневосточный федеральный университет, Школа медицины, Владивосток, Россия*

**E-mail: andrukov_bg@mail.ru*
***E-mail: takuznets@mail.ru*
****E-mail: besednoff_lev@mail.ru*

Поступила в редакцию 11.06.2022 г.
После доработки 26.06.2022 г.
Принята к публикации 29.06.2022 г.

Патогенные бактерии демонстрируют удивительное разнообразие стратегий колонизации и преодоления иммунной защиты организма-хозяина. В ходе эволюции многие инфекционные агенты расширили свой геном за счёт прокариот различных таксонов путём горизонтального (латерального) переноса мобильных генетических элементов (МГЭ). Открытию феномена генетической транспозиции МГЭ человечество обязано гениальному цитогенетику XX в. Барбаре МакКлинток, посвятившей всю свою жизнь изучению нестабильности генома. Эта революционная парадигма лежит в основе современной генной инженерии и концептуально связанных с ней молекулярной микробиологии, экологии и адаптационной эволюции, однако потребовалось более 30 лет, чтобы открытие Б. МакКлинток было признано и принято в научном мире. Работы этой уникальной женщины-учёного о генетической транспозиции перевернули представление о генетике, бросили вызов доминирующей парадигме о статичности генома, передаваемого из поколения в поколение, и доказали его нестабильность.
Отдавая должное гениальной научной прозорливости МакКлинток и в связи с 120-летием со дня её рождения, в этом обзоре авторы очерчивают основные вехи её жизни в науке, акцентируя внимание на открытии генетической транспозиции и нестабильности генома, обсуждают механизмы горизонтального переноса генов и участие различных МГЭ в формировании вирулентности, адаптивной эволюции и персистенции патогенных бактерий.

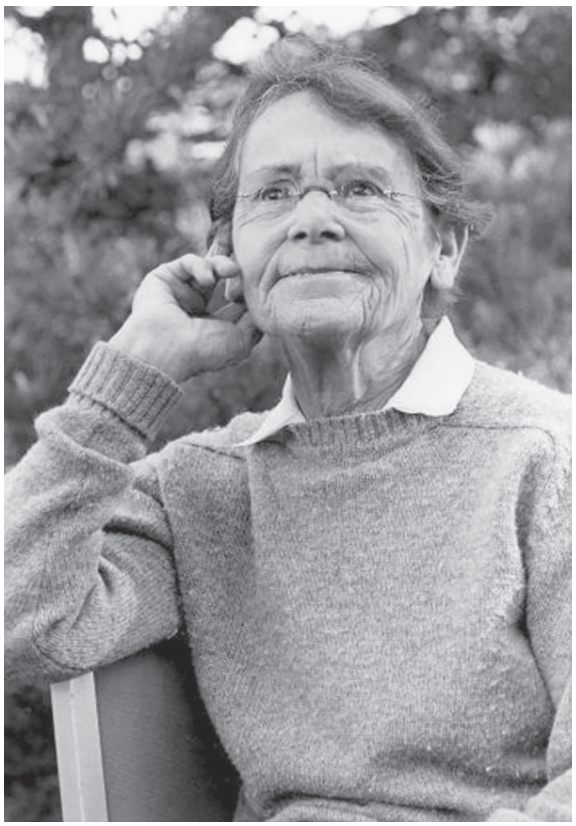
Ключевые слова: Барбара МакКлинток, Barbara McClintock, мобильные генетические элементы (МГЭ), горизонтальный перенос генов (ГПГ), нестабильность генома, патогенные бактерии, эволюция, персистенция, адаптация.

DOI: 10.31857/S0869587322120027

“Если вы знаете, что находитесь на правильном пути,
если у вас есть это внутреннее знание,
то никто не сможет вас сбить...
что бы они ни говорили”.
Барбара МакКлинток, 1953 г.

История фундаментального открытия Барбары МакКлинток трагична и во многом необычайно поучительна. Оно не соответствовало доминировавшей в то время парадигме о статичности генома, передаваемого из поколения в поколение, а, напротив, доказывало его нестабильность. В на-

АНДРЮКОВ Борис Георгиевич – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории кишечных инфекций НИИЭМ им. Г.П. Сомова Роспотребнадзора. БЕСЕДНОВА Наталья Николаевна – академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории иммунологии НИИЭМ им. Г.П. Сомова Роспотребнадзора. КУЗНЕЦОВА Татьяна Алексеевна – доктор медицинских наук, заведующая лабораторией иммунологии НИИЭМ им. Г.П. Сомова Роспотребнадзора.



Барбара МакКлинток (1902–1992)

ше время революционные научные идеи о нестабильности генома, высказанные МакКлинток в середине XX в., лежат в основе современной генной инженерии, однако на то, чтобы они были признаны в научном мире ушло более 30 лет. Самая значительная из этих идей – о существовании мобильных генетических элементов (МГЭ) – дискретных единиц ДНК, способных занимать различные положения в геноме [1, 2].

Б. МакКлинток повторила драматичную судьбу многих учёных, сделавших открытия, которые опередили своё время. В этом печальном ряду стоят Г. Мендель, Г. Галилей, Н. Коперник, И. Земмельвейс, Л. Больцман, У. Харви, У.Б. Коли и другие великие новаторы и творцы истории науки, большинство из которых не дожили до триумфа своих гениальных идей. В отличие от них МакКлинток была нашей современницей и признанным авторитетом в области изучения мозаичности гибридной кукурузы. Однако это не помешало коллегам-генетикам и всему научному сообществу, не разглядевшим значения нового открытия, объявить её сумасшедшей и окружить стеной непонимания и враждебности [1, 3]. Оппозиция учёных-современников новаторской концепции МакКлинток была настолько яростной, что вынудила её на долгие 30 лет прекратить выступления и публикации [2–4].

Получается, история науки не меняется: когда кто-то из учёных забегает далеко вперёд, он становится изгоем, и могут пройти десятилетия или даже столетия, прежде чем его открытие будет оценено, а репутация восстановлена. В значительной степени это касается и судьбы Б. МакКлинток, а также её замечательного открытия загадочных “прыгающих” генов и генетической транспозиции фрагментов ДНК. Гениальность этого открытия заключалась в том, что оно было сделано до описания экстрахромосомных детерминант наследственности и изменчивости прокариот, открытия плазмид и генетической конъюгации Дж. Ледбергом, структуры ДНК Дж. Уотсоном и Ф. Криком и задолго до обнаружения у прокариот особого вида мутаций, ассоциированных со вставками инсерционных последовательностей, появления полимеразой цепной реакции и полногеномного секвенирования генома [1, 3, 4].

Со временем оказалось, что последствия горизонтального переноса генов (ГПГ), обусловленного МГЭ, имеют фундаментальное значение для генетики бактерий: они определяют новые функции генов, влияя на их экспрессию в микробных популяциях. Микробный мобилом (см. ниже) рассматривается в качестве основного компонента метагенома бактерий и ключевого механизма адаптивной эволюции прокариотических сообществ [1, 4]. Последствия ГПГ концептуально связаны с медицинской микробиологией и объясняют многие механизмы адаптивной эволюции и персистенции бактерий, приобретения ими факторов патогенности, устойчивости к антибиотикам [2, 3, 5]. МГЭ чрезвычайно распространены в природе, определяя её биологическое многообразие. Выявлено, например, что 40–45% человеческого генома состоит из МГЭ, которые, возможно, играют значительную роль в возникновении наследственных заболеваний человека, могут составлять бóльшую часть генома у эукариот и прокариот [1, 4, 5].

В процессе эволюционного отбора бактерии расширяли ареалы используемых природных ниш и хозяев, которые в свою очередь развили сложные механизмы иммунологической защиты. Факультативные паразиты в этих условиях приобрели психрофильность и набор ферментов, оптимум активности которых наступает при различных температурах, что позволило им стать экологически пластичными. Облигатные бактерии-паразиты в бесконечном эволюционном поиске способов выживания приобрели новые факторы патогенности за счёт перемещения МГЭ между неродственными микроорганизмами, относящимися к различным таксонам. Таким образом, генетическая транспозиция ДНК – богатый и неис-

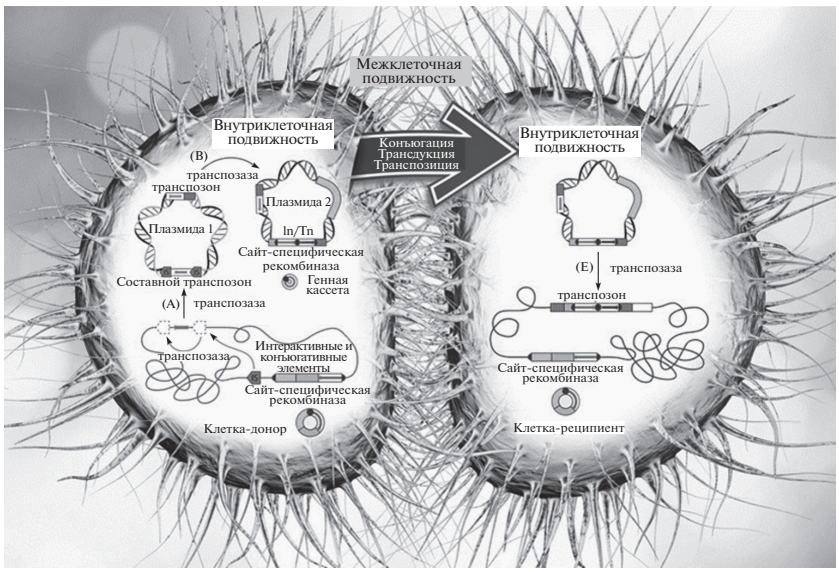


Рис. 1. Обусловленные МГЭ механизмы горизонтального генетического обмена включают конъюгацию (реализуемую плазмидами), трансдукцию (макрофагами) и трансформацию (свободными фрагментами ДНК)

черпаемый эволюционный ресурс для бактерий, обеспечивающий им адаптационную пластичность, накопление и передачу патогенного потенциала [2, 4, 5].

Через несколько десятилетий после открытия Б. МакКлинток будет установлено, что механизмы горизонтального генетического обмена включают конъюгацию, трансдукцию и трансформацию, а общество мобильных элементов расширят за счёт плазмид, интегронов, интронов, островков патогенности, бактериофагов, инсерционных последовательностей и выделят в отдельное семейство МГЭ – *прокариотический мобилом* [1, 3] (рис. 1). Становится всё более очевидным, что обусловленные мобильными генетическими элементами последствия ГПГ – главная движущая сила эволюции, и они имеют фундаментальное значение для адаптации бактерий [2, 3, 5]. Однако это осознание пришло намного позже – в конце 1960-х – начале 1970-х годов, когда было установлено, что транспозиция нуклеиновых кислот широко распространена в природе и имеет всеобщее значение, а МГЭ не только оказывают модулирующее влияние на бактериальный геном, но и играют ключевую роль в эволюции живого мира [2, 4].

Обратимся теперь к основным вехам научной деятельности Б. МакКлинток, уделяя основное внимание открытию генетической транспозиции и нестабильности генома.

“Я просто знала, что была права”. История открытия парадигмы генетической транспозиции и нестабильности генома родилась не на пустом месте. Предшествующие научно-исторические предпосылки, знания, накопленные в различных разделах генетики оказали влияние на круг научных увлечений молодой студентки Корнельского сельскохозяйственного колледжа: курс селекционера растений и генетика К.Б. Хатчинсона по уровню соответствовал Гарвардскому университету и пробудил её интерес к генетике. С другой стороны, сыграло свою роль и описание в начале XX в. Гуго де Фризом (создателем теории мутаций) выраженной нестабильности наследственности у высших организмов [4, 6].

Энтузиазму, упорству и настойчивости, а также чистоте и изяществу экспериментов при проведении научных исследований будущий нобелевский лауреат училась у замечательного исследователя-генетика и профессора Корнельского университета Р.А. Эмерсона, влияние которого на свою научную деятельность МакКлинток постоянно подчёркивала. Он не только привил студентке-ботанику интерес к генетическому анализу мозаицизма у кукурузы – основной биологической модели генетиков в те годы, но и своими исследованиями “фактора и временного ингибитора мозаицизма” инициировал создание концепции нестабильности генома [1, 2, 7]. Несомненное влияние на научное мировоззрение МакКлинток оказали также последующие работы в области генной нестабильности насекомых и микроорганизмов одного из выдающихся учеников Эмерсона – М. Демереца [6].

Изучая ботанику и проходя последовательно все учёные ступени (бакалавр, магистр и доктор философии в 1927 г.), МакКлинток мечтала о генетике и добилась своего, приняв в 1941 г. предложение М. Демереца занять должность исследователя в Вашингтонской лаборатории Колд-Спринг-Харбор Института Карнеги, где прорабо-

а б в



Рис. 2. Барбара МакКлинток в лаборатории Колд-Спринг-Харбор Института Карнеги в 1947, 1980 и 1983 г. (слева направо)

Фото публикуются с разрешения библиотеки лаборатории Колд-Спринг-Харбор, обработка и коллаж авторов

тала до выхода на пенсию. Молодой исследовательнице повезло: она попала в научное учреждение, по праву считавшееся Меккой биологических наук. В этой лаборатории в разные годы работали восемь будущих нобелевских лауреатов, получивших впоследствии эту престижную премию за генетические открытия. Неслучайно это учреждение признавалось в тот период одним из мировых лидеров в изучении генетики растений [6, 7]. Далее последовали годы упорного и плодотворного труда, и вскоре (1944) доктор МакКлинток стала третьей за всю историю женщиной, избранной в члены Национальной академии наук, а через год – первой женщиной-президентом Американского общества генетиков [1, 2, 7]. В её научной биографии 1940–1950-е годы были связаны не только с получением многих наград и почётных стипендий. Было положено начало обобщению полученных результатов многолетних цитогенетических исследований нестабильности кукурузного генома в виде стройной концепции. Изучая разрывы хромосом (dissociation, Ds), смещение точек разрыва и образование нестабильных мутаций, МакКлинток связала их формирование с контролирующим геном *Ds*. Она установила, что этот ген находится под контролем доминантного гена-активатора *Ac*, влияющего на свойства *Ds*, в том числе на его способность к транспозиции в составе хромосомы [6, 7] (рис. 2).

Б. МакКлинток впервые представила свою новаторскую гипотезу о нестабильности генома в 1950-х годах на авторитетных научных форумах (съезд Американской академии наук и международная конференция генетиков в Колд-Спринг-Харборе). Однако её выводы о существовании “блуждающих” генетических элементов, способных менять положение в геноме хозяина, были признаны “парадоксальными и неправдоподобными”. Действительно, эта революционная идея перечёркивала сформулированную в начале XX в. каноническую теорию Т. Моргана и поэтому была принята враждебно большинством генетиков мира, а их автор была вынуждена замолчать на 30 лет, продолжала заниматься исследованиями самостоятельно, оставленная без поддержки профессионального научного сообщества [2, 4, 6].

Поразительно, что все последующие работы, выполненные другими учёными в 1960–1970-е годы с использованием появившихся молекулярных инструментов, лишь подтвердили блестящие выводы, полученные МакКлинток с помощью цитогенетических исследований, проведённых с помощью обычного светового микроскопа [8–10]. Главные из них: мутации генов связаны с влиянием на геном регуляторных контролирующих мобильных элементов; помимо возникновения мутантных событий, эти мобильные элементы могут модулировать активность генов организма-хозяина; блуждающие гены могут составлять большую часть генома прокариот и эукариот [8, 10]. Впоследствии было установлено, что МГЭ способны интегрироваться, перемещаться и распространяться в регуляторных или кодирующих областях геномов практически всех таксонов живого мира – от бактерий и вирусов до одноклеточных и многоклеточных эукариот. Они кодируют синтез структурных белков и ферментов, обеспечивающих собственную пролиферацию и последующую генетическую инвазивную активность. В то же время эти мобильные элементы могут передавать клеткам организма-хозяина новые функции и свойства, позволяющие им адаптиро-

ваться к изменяющимся условиям среды обитания [11–13].

В последние десятилетия всё острее встаёт проблема приобретения патогенными бактериями резистентности к антибиотикам. Выявлены штаммы потенциально смертельных патогенов (*Enterococcus faecalis, Mycobacterium tuberculosis*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus aureus*), устойчивые ко всем известным классам антибиотиков [10, 12, 14]. Установлено, что ключевым механизмом формирования бактериальной резистентности является ГПГ, реализуемый мобильными элементами с участием плазмид, транспозонов, интегронов, способных легко перемещаться из одной клетки в другую [1, 2, 13, 14]. Помимо резистентности к антимикробным средствам эти и другие мобильные элементы способны путём транслокации распространять в популяциях гены, кодирующие разнообразные факторы патогенности бактерий. В частности, белки и ферменты, кодирующиеся МГЭ, входят в протеом патогенных бактерий, обеспечивают их персистенцию, защиту от иммунитета хозяина, синтез и выделение токсинов, уникальные метаболические пути, и, в конечном счёте, эволюционное преимущество при освоении новых экосистем и распространении инфекционных заболеваний [4, 15, 16].

Одно из подтверждений идей доктора Б. МакКлинток было получено уже в 1961 г. Ф. Жакобом совместно с Ж. Моно и А. Львовым на модели *Escherichia coli*. Согласно выдвинутой этими исследователями гипотезе функции генов различны: помимо структурных, кодирующих информацию об аминокислотном составе ферментов, существуют гены-регуляторы, оказывающие влияние на их активность. Последние, располагаясь рядом, образуют оперон и программируют внутриклеточную транскрипцию и экспрессию ферментов. Кроме того, в структуру оперона входит ген-оператор, который контролирует ген-регулятор, в свою очередь кодирующий синтез белка-репрессора. Репрессор в активной форме подавляет транскрипцию ДНК и выключает оперон. Обратный процесс включения оперона происходит при переходе гена-оператора в неактивную форму [13, 14]. В последующем авторы этой гипотезы интерполировали свои выводы, полученные на прокариотической модели, на все живые организмы [2, 13, 15].

Не раз в истории науки непонятные и неоценённые идеи предопределяют другие открытия, сделанные намного позже. Последующие (1970–1980-е годы) открытия транспозонов и других мобильных элементов в составе генома прокариот и эукариот убедили мировое генетическое сообщество в правильности блестящих идей МакКлинток. Одним из достижений стало обнаружение в 1972 г. [цит. по 16] двух инсерционных последовательностей (IS) у *E. coli*, которые вызывали несколько мутаций. Эти IS-вставки по их контролирующим функциям были названы авторами аналогами генетических элементов, обнаруженных доктором МакКлинток у кукурузы [16].

В 1983 г. МакКлинток стала первой (и пока единственной) женщиной, получившей единолично Нобелевскую премию по физиологии и медицине [2, 7]. Присуждение и вручение ей этой престижной награды спустя почти 40 лет после совершения открытия МГЭ, как и присвоение ей в дальнейшем почётных докторских степеней 14 различных национальных академий наук, стало не только блестящим признанием правоты и гениальности учёного, но и достойной оценкой её поразительной уверенности в правоте собственных идей. “В течение многих лет мне действительно нравилось, что не нужно защищать своё научное мнение. Я могла просто работать с величайшим удовольствием, никогда не чувствуя ни потребности, ни желания отстаивать свои взгляды... Я просто знала, что была права,” – писала она в 1984 г. [3, с. 297]. На протяжении всей своей долгой карьеры исследователя-цитогенетика МакКлинток оставалась примером необыкновенного упорства, твёрдости духа и убеждённости в собственной правоте. В историю науки она вошла прежде всего как первооткрыватель феномена генетической транспозиции и мобильных генетических элементов, а также инновационной концепции нестабильности генома.

Значение нестабильности генома и МГЭ в адаптивной эволюции и персистенции патогенных бактерий. Новаторская идея Б. МакКлинток о нестабильности генома, а также последующие теоретические и эмпирические концепции согласуются с представлениями о том, что стойкость и чрезвычайное многообразие “эгоистичных” МГЭ объясняются их инвазивной активностью и механизмами самовоспроизведения [2, 4, 14, 17]. Действительно, в ряде случаев инвазии мобильных элементов имеют нейтральные или негативные последствия для бактериальных клеток, например, из-за нарушения открытых рамок считывания или регуляции транскрипции генов [18]. Однако, несмотря на “паразитические” характеристики применительно к фенотипической дивергенции, персистенции и адаптации бактерий, генетическая транспозиция МГЭ также сочетается с полезным вкладом этих элементов в физиологию клетки-хозяина. Они всё чаще рассматриваются в качестве неисчерпаемого источника генетической изменчивости и адаптивной эволюции видов, образования новых свойств, обеспечивающих жизнеспособность бактерий в динамичных условиях среды обитания [3, 5, 12, 19].

Кроме того, межклеточная транслокация мобильных элементов связана с приобретением но-

вых генетических модулей посредством сложных взаимодействий между бактериальными геномами и МГЭ, обусловливая приобретение и потерю генов. Это играет ключевую роль в адаптации бактерий, обеспечивая генетическую пластичность, появление новых многочисленных клеточных функций, дающих эволюционные преимущества для адаптации к новым условиям отдельно взятой бактериальной клетки и популяции в целом [5, 15, 19]. Однако ключевая роль объясняемой МГЭ нестабильности генома в адаптивной эволюции и персистенции патогенных бактерий начала исследоваться и раскрываться только в последнее время в связи с открытием новых типов мобильных элементов [11, 15, 19].

При всей гетерогенности семейства МГЭ прокариотический мобилом определяется как любая вставочная последовательность нуклеиновых кислот и её транслокация внутри или между геномами. Согласно этому определению, спектр мобильных элементов весьма вариативен. Он включает в себя как простые фрагменты ДНК и инсерционные последовательности (insertion sequences, IS), так и большие острова патогенности, интроны, интегроны, бактериофаги, конъюгативные мегаплазмиды и транспозоны, которые представляют собой сложные геномы [20–24]. Для систематизации растущего числа МГЭ в прокариотических и эукариотических геномах используются различные подходы. Первая попытка их классификации была предпринята в 1989 г. [цит. по 13]. Все типы мобильных элементов были разделены на два класса в соответствии с промежуточным звеном транспозиции РНК (I класс – ретротранспозоны, основной механизм – “копировать и вставить”) и ДНК (II класс – ДНК-транспозоны, основной механизм – “вырезать и вставить”). В XXI в. появление технологий следующего поколения (next generation sequencing, NGS) привело к существенному расширению данных о геноме и обнаружению новых типов мобильных элементов, в результате чего в 2007 г. была предложена иерархическая классификация, основанная на структурных характеристиках МГЭ и способах репликации [цит. по 1, 20]. Наконец, в 2017 г. составлена новая трёхсторонняя классификация мобильных элементов с учётом их репликативных, интегративных и структурных компонентов [1]. Остановимся на краткой характеристике некоторых из них.

Плазмиды представляют собой повсеместно распространённые экстрахромосомные генетические элементы, способные к полуавтономной репликации, размеры которых варьируют от нескольких пар оснований (base pair, kb) до мегаплазмид (>500 млн kb) [4, 8, 10, 23, 24]. Одним из путей ГПГ в бактериальных популяциях является конъюгация, часто встречающаяся в мире прокариот и обеспечивающаяся конъюгативными плазмидами [23, 24] (см. рис. 1). Эти МГЭ считаются ключевыми платформами генетической транслокации и сохранения генов, ассоциированных с устойчивостью к антибиотикам и тяжёлым металлам, защитой от бактериофагов, персистенцией и вирулентностью бактерий, повышая их адаптационный потенциал к динамично изменяющимся условиям окружающей среды [8, 10, 23, 24]. За последние десятилетия по результатам филогенетического анализа было выделено целое семейство конъюгативных плазмид, прообраз которых в своё время впервые был описан Дж. Ледбергом как F-фактор [4, 8, 10, 23].

Инсерционные последовательности (IS) – простейшие и самые многочисленные МГЭ. Эти функциональные элементы были открыты при изучении модельных генетических систем благодаря их способности генерировать мутации в результате их транслокации [1, 3, 12]. К настоящему времени в бактериальных геномах обнаружено более 4000 IS [1, 21]. Они содержат единственный ген, кодирующий фермент транспоразу, окружённый инвертированными концевыми повторами и необходимый для собственной транслокации [2, 17, 20]. В отличие от других МГЭ для IS не требуется строгого соответствия концевых ДНК-последовательностей с интегрируемым сайтом-мишенью. Это свойство определяет значительность влияния IS на формирование бактериального генома и способность формирования эволюционного преимущества прокариот за счёт модуляции метаболических процессов [2, 12]. В последние годы установлено, что IS широко представлены в геномах бактерий и играют важную роль в адаптивной эволюции прокариот [1, 12, 20, 21].

Другие МГЭ, такие как транспозоны, отличаются от IS тем, что они могут нести дополнительные гены, например, устойчивости к антибиотикам [3, 4], приобретения факторов патогенности или устойчивости к антимикробным средствам.

Бактериальные *интроны* (intron, In) в зависимости от вторичной структуры входят в группу I (In-I) или группу II (In-II), которые представляют собой большие РНК-фрагменты. Долгое время считалось, что эти ретромобильные элементы не приносят никакой пользы своим хозяевам-бактериям [1, 2, 13]. Но в недавних исследованиях Ф. Ларош-Джонстон с соавторами обнаружили новую функцию интрона группы II, которая расширяет генетическое разнообразие и общую сложность транскриптома бактерий [1, 13, 14]. In-II содержат открытую рамку считывания (open reading frame, ORF), которая кодирует образование рибопротеинового комплекса, обеспечивающего эффективный сплайсинг и синтез поверхностных белков у бактерий [1, 13, 14]. In-II используются в генной инженерии (технология

TargeTron) для создания целевых нокаутов генов [1, 13].

Транспозоны (transposons, Tn) – МГЭ, получившие своё название от слова "транспозиция" – основного способа движения этих элементов, влекущих мутации и изменение количества ДНК в клетке. Tn присутствуют в геномах всех живых организмов и разделяются по механизмам транспозиции и интеграции на ретротранспозоны (элементы I класса) и ДНК-транспозоны (элементы II класса). Кроме того, Tn классифицируют на конъюгативные (CTn) и мобильные (MTn) [1, 25]. В отличие от последних, CTn способны к трансцеллюлярному бактериальному переносу с использованием механизма, подобного конъюгации [1, 4, 25]. По сравнению с плазмидами CTn не содержат точки начала репликации, поэтому для выживания они должны быть интегрированы в репликон. MTn не содержат областей, необходимых для интеграции и вырезания, поэтому для горизонтальной транслокации эти генетические элементы используют систему конъюгации плазмид или CTn [1, 25]. В отличие от IS транспозоны могут нести дополнительные гены, обеспечивающие, например, устойчивость к антимикробным средствам [1, 3, 25–27] или приобретение факторов патогенности [13, 25]. С момента их открытия всё больший интерес для изучения представляют механизмы персистенции бактерий и взаимодействия мобильных элементов с бактериальным геномом [1, 26–28].

Интегроны (integrons, Int). В середине 1950-х годов в Японии были выделены первые штаммы бактерий с множественной лекарственной устойчивостью (МЛУ). Однако только 20 лет спустя установили, что появление этих устойчивых фенотипов обусловлено конъюгативными плазмидами, а ещё через 10 лет было уточнено, что интегронами – мобильными элементами, расположенными в этих плазмидах [1, 29, 30]. Впоследствии было обнаружено, что эти МГЭ в сочетании с транспозонами представляют собой генетическую систему сайт-специфической рекомбинации, состоящую из гена интегразы (*intI*), сайта рекомбинации (*attI*) и промотора [29, 30]. Интегроны ответственны за интеграцию, экспрессию и обмен детерминантами (поли)резистентности к антибиотикам в бактериальных популяциях (преимущественно среди грамотрицательных прокариот) в виде генных кассет [1, 9, 29]. Их регулярно обнаруживают как в клинических изолятах человека и животных, так и в объектах окружающей среды [30]. Int разделяют на мобильные (MI) и хромосомные (CI), а также на три класса в зависимости от наличия в структуре типов гена *intI*, наиболее изученные из которых – Int класса I. Выделяют экологические Int, не имеющие генов устойчивости, однако несущие генные кассеты, дающие преимущество бактериальной клетке-хозяину в окружающей среде (например, к четвертичным аммониевым соединениям (*qac*) или сульфонамидам (*sulI*)) и включённые в транспозон Tn402 [1, 30]. Int обычно являются частью больших транспозонов, которые в свою очередь могут быть составной частью конъюгативных плазмид [1, 29, 30].

Бактериофаги – наиболее распространённые живые организмы на нашей планете [1, 21, 24, 31–33]. Присутствуя в любой бактериальной популяции и активно участвуя в формировании прокариот путём ГПГ, фаги играют важную роль в эволюции микроорганизмов за счёт увеличения скорости мутаций, рекомбинаций или адаптации [31, 33]. По современным представлениям сложная система взаимодействия "бактерия–фаг" сводится не только к лизису клетки-хозяина, но и к "одомашниванию" фагов, что приводит к адаптивным эволюционным изменениям и биоразнообразию прокариот. В связи с этим бактериофаги классифицируются на два вида: литические, вызывающие разрушение инфицированных бактерий, и умеренные, которые в качестве профагов интегрируются в геном бактерий, передавая им новые фенотипические и вирулентные свойства (производство токсинов, молекул клеточной адгезии, трансформация метаболизма, уклонение от иммунного ответа и др.) [1, 21, 24, 31].

Группы крупных интегративных элементов (бактериофаги, плазмиды и большие части генома), кодирующих один или несколько генетических локусов, называются геномными островами (genomic islands, GI) [32–34]. В начале 1980-х годов у уропатогенных изолятов *E. coli* были открыты и охарактеризованы GI, несущие интегративные мобильные элементы, которые кодируют один или несколько паттернов вирулентности, отсутствующие в геномах непатогенных репрезентативных бактерий того же вида или близкородственных видов. Впоследствии они были названы *островками патогенности* (pathogenicity islands, PAIs) [35]. В отличие от других МГЭ PAIs неспособны к репликации и самомобилизации [33]. С помощью горизонтального переноса, путём трансдукции, трансформации и конъюгации эти гены переносятся от вирулентных видов бактерий непатогенным штаммам, в результате чего комменсалы становятся патогенами, способными вызывать различные инфекционные заболевания [32, 34, 35]. С тех пор PAIs были обнаружены у различных патотипов *E. coli* [32–34], а также прочих представителей семейства *Enterobacteriaceae* [32, 35] и других таксонов патогенных бактерий [32] (табл. 1).

Бактериальный геном содержит большое количество разнообразных МГЭ, находящихся в сложных взаимоотношениях с прокариотической клеткой (от паразитизма до мутуализма). Неслу-

Таблица 1. Участие мобильных элементов в формировании патогенного потенциала, адаптивной эволюции и персистенции бактерий

Мобильные генетические элементы	Примеры и механизмы участия
Плазмиды	Ген устойчивости bla_{NDM} кодирует металло-β-лактамазу, способную гидролизовать большинство β-лактамных антибиотиков. Переносится 20 типами плазмид среди 11 семейств грамотрицательных бактерий. Применение методов NGS* показало, что большинство изолятов *E. coli*, происходящих из окружающей среды или из клинических образцов, содержат одну или несколько F-подобных плазмид (например, MOB_{F12}), которые обеспечивают резистентность и уропатогенность изолятов *E. coli* ST131 ExPEC
Инсерционные последовательности	Вставочные последовательности IS2D, IS2, IS5 совместно с транспозазой участвуют не только в обеспечении развития резистентности к бактериофагам у патогенных штаммов K1 *E. coli*, но и биосинтезе полисиаловой кислоты, участвующей в формировании капсулы, обусловливающей защиту от иммунной защиты и преодоление гематоэнцефалического барьера. В трёх разных штаммах *E. coli* (S17, DH5α и Nissle 1917) IS1 и IS10 быстро разрушали плазмидный ген *I-CeuI* (кодирующий эндонуклеазу I-CeuI)
Интроны	У нового возбудителя оппортунистических инфекций человека *Delfia tsuruhatensis* выявлено расширение генома интегронами различных классов путём ГПГ. Это повлекло за собой формирование новых генотипических и фенотипических профилей генов, связанных с вирулентностью (например, T2SS, которая участвует в секреции фактора колонизации кишечника, или локус *Tad pilus*, ответственный за адгезию и формирование биоплёнки) и устойчивостью к 15 антибиотикам
Интегроны	МЛУ 176 госпитальных штаммов *P. aeruginosa* ассоциирована с интегронами I класса. При этом большинство штаммов продуцировали пиовердин, ДНКазу, желатиназу и гемолизин. Резистентность *E. coli* к β-лактамным антибиотикам в 72.7% ассоциирована с содержанием гена интегрон-интегразы 1 (*intI1*) и в 51.5% – с содержанием гена интегрон-интегразы 2 (*intI2*). Этим же классам интегронов принадлежит ведущая роль в ГПГ в распространении генов, кодирующих паттерны вирулентности (адгезины, инвазины, сидерофоры, токсины, аутотранспортёры, а также гены, связанные с синтезом капсулы и биоплёнки) у основных патотипов *E. coli* (кишечный, уропатогенный, неонатальный, септический). Геномная кассета *dfr* была наиболее часто идентифицируемой среди интегрон-позитивных изолятов *E. coli*, обеспечивая резистентность и персистенцию энтеропатогенных видов
Транспозоны	Содержат гены, позволяющие патогенным бактериям выживать в особо сложных условиях (устойчивости к антибиотикам и кодирующие белки-транспортёры ABC, функционирующих за счёт энергии АТФ и ответственные за формирование МЛУ). Например, Tн *5397* и Tн *916* у *Clostridium difficile* обеспечивают устойчивость к тетрациклину и могут передаваться *Bacillus subtilis, E. faecalis* и *Streptococcus* spp. Tn *6104* и Tn *6104* кодируют у *C. difficile* три сигма-фактора и токсин-антитоксиновую систему (ТАС), обеспечивающую персистенцию бактерий. Секвенирование транспозонов (Tn-seq) для идентификации генов, ассоциированных с персистентностью *P. aeruginosa* (был идентифицирован ген персистенции *carB*, кодирующий малую субъединицу карбамоилфосфатсинтетазы)

Таблица 1. Окончание

Мобильные генетические элементы	Примеры и механизмы участия
Бактериофаги	Фаги *C. difficile* ϕCD119, ϕCD38-2 и ϕCD27 способны повышать и понижать продукцию токсинов; фаг ФС2 обеспечивает трансдукцию гена устойчивости к антибиотикам. 55 полных профагов, обнаруженных в сероварианте O:3 и O:9 *Yersinia enterocolitica*, обусловливают их патогенные свойства
Островки патогенности	Геномные вариации на островках патогенности, кодирующих такие функции, как уреазная и гидрогеназная активность, метаболизм кофактора B-12, механизмы адаптации и колонизации кишечника энтеропатогенными видами *Yersinia* spp.

Примечание: *NGS – методы секвенирования следующего поколения

Таблица 2. Эволюционные взаимодействия МГЭ с бактериальным геномом и их характеристика

Взаимодействие	Характеристика	Последствия
Приручение	Уменьшение и ограничение негативного влияния на чрезмерно высокую скорость транспозиции нового МГЭ как на структуру, так и на функцию генома хозяина	Это обратимый процесс, связанный с возможной эпигенетической регуляцией активности генов МГЭ в ответ на возникающий биотический или абиотический стресс и необходимостью бактерий адаптироваться к новым условиям окружающей среды
Одомашнивание	Установление устойчивых взаимодействий МГЭ с геномом клетки-хозяина, поддерживаемых на протяжении поколений	Приобретение, утрата или трансформация одного или нескольких признаков, которые могут оказывать значительное влияние на функционирование, организацию и эволюцию генома
Экзаптация	Признак, происхождение которого не является следствием естественного отбора, кооптируется для текущего использования	Последовательная эволюция признака или свойства посредством механизма естественного отбора и адаптации к новой функции

чайно с момента открытия их незаслуженно называли “эгоистичными” или “мусорными” ДНК, а в лучшем случае – “тёмной материей”. Благодаря своим свойствам, они обладают способностью быстро вторгаться в бактериальный геном, находиться в нём длительное время, покидать его или оседать в нём навсегда в ключевые моменты эволюции [22, 32]. Взгляд на мобильные элементы начал меняться с 1990-х годов, когда стали известными исследования, доказавшие адаптационное и эволюционное значение МГЭ для прокариот [1, 24, 30, 32].

Многообразие отношений с геномом клетки-хозяина зависит от видов бактерий, их физиологического состояния, типа мобильных элементов и нередко имеет неоднозначное влияние на клетку-хозяина [1, 2, 33]. Наглядным примером такого дуализма служат умеренные фаги, трансдукция которых в геном бактерий может обеспечить новые адаптивные свойства [2, 12, 33], однако их последующее удаление из генома, как правило, заканчивается гибелью клетки-хозяина [28]. Исход отношений МГЭ с бактериальной клеткой нередко зависит от результатов взаимодействия на уровне мобильных элементов [34, 35].

Обычно после транслокации мобильных элементов в “родной” геном клетки-хозяина общая активность “генов-мигрантов” резко снижается, что сопровождается поддержанием очень ограниченного количества автономных копий [33]. Однако при этом некоторые гены МГЭ из-за их свойств или особого места вставки в геном бактериальной клетки могут специфическим образом функционировать через приручение, одомашнивание или экзаптацию [33, 35]. В связи с этим в последние годы всё большую популярность получает теория кооптации или “молекулярного одомашнивания” МГЭ и их фрагментов, кодируемых ими белков, а также коэволюции с геномом организма-хозяина [11, 18, 34, 35]. В основе этой теории лежит строгая дифференцировка указанных эволюционных взаимодействий (табл. 2).

По мнению Р. Дениза с соавторами, примером кооптации в микромире из недавних открытий в

молекулярной биологии служат некоторые новые и неожиданные функции бактериальных систем секреции белков [16]. В последние десятилетия ключевое значение таких систем у прокариот было выявлено для ряда биотических и абиотических взаимодействий. Эволюция многих систем оказалась следствием кооптации отдельных компонентов или целых функциональных модулей. Предполагается, что эволюция секреции белков бактерий происходила путём ГПГ, в результате чего появились системы, которые могут значительно отличаться от исходных [36, 37].

* * *

Отдавая должное гениальности открытия мобильных генетических элементов, а также прозорливости Нобелевского комитета, отметившего этой почётной премией выдающийся вклад Барбары МакКлинток по прошествии десятков лет после её открытия, мы всё больше становимся сторонниками парадигмы нестабильности генома. Сегодня мы связываем с этим понятием адаптационную эволюцию бактерий, неменделевскую передачу паттернов эпигенетического наследования, обусловливающих биоразнообразие живого мира, и становимся свидетелями качественного перехода в изучении МГЭ [38–40].

Остаются нерешёнными вопросы в области биоинформатики, которая становится в настоящее время приоритетом в исследовании новых неизвестных типов МГЭ, а также проблемы отсутствия автоматизированных средств их идентификации [1, 40]. Приобретает особую важность систематизация всего многообразия мобильных элементов бактериального генома, определяющих структуру, функцию и эволюцию прокариот, влияющих на экспрессию или функциональность факторов патогенности, а в итоге – на клиническую картину и эффективность лечения инфекций [38].

Решение этих вопросов может поднять науку о бактериальном мобиломе на новый уровень и приблизить нас к пониманию полного влияния мобильных элементов на адаптацию, персистенцию и эволюцию патогенных бактерий. Конечно, для этого потребуются годы, но, как гласит мудрость китайского философа Лао-Цзы, “путь в тысячу ли начинается с первого шага”. А он уже сделан.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Arkhipova I.R.* Using bioinformatic and phylogenetic approaches to classify transposable elements and understand their complex evolutionary histories // Mob. DNA. 2017. V. 8. https://doi.org/10.1186/s13100-017-0103-2
2. *McClintock B.* Some parallels between gene control systems in maize and in bacteria // Amer. Natur. 1961. V. 95. P. 265–277.
3. *McClintock B.* The significance of responses of the genome to challenge // Science. 1984. V. 226. P. 792–801.
4. *Wang T., You L.* The persistence potential of transferable plasmids // Nat. Commun. 2020. V. 11. https://doi.org/10.1038/s41467-020-19368-7
5. *Acman M., Wang R., van Dorp L. et al.* Role of mobile genetic elements in the global dissemination of the carbapenem resistance gene blaNDM // Nat. Commun. 2022. V. 13 (1). https://doi.org/10.1038/s41467-022-28819-2
6. *Rybak B., Krawczyk B., Furmanek-Blaszk B. et al.* Antibiotic resistance, virulence, and phylogenetic analysis of *Escherichia coli* strains isolated from free-living birds in human habitats // PLoS One. 2022. V. 17 (1). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262236
7. *Durrant M.G., Li M.M., Siranosian B.A. et al.* A Bioinformatic Analysis of Integrative Mobile Genetic Elements Highlights Their Role in Bacterial Adaptation // Cell Host & Microbe. 2020. V. 27 (1). P. 140–153.
8. *Yang X., Dong N., Chan E.W. et al.* Carbapenem Resistance-Encoding and Virulence-Encoding Conjugative Plasmids in *Klebsiella pneumonia* // Trends in Microbiol. 2021. V. 29 (1). P. 65–83.
9. *Timmons C.M., Shazib S.U.A., Katz L.A.* Epigenetic influences of mobile genetic elements on ciliate genome architecture and evolution // J. Eukaryot. Microbiol. 2022. https://doi.org/10.1111/jeu.12891
10. *Zhao X., Gao L., Huang H. et al.* Exploring the pathogenic function of *Pantoea ananatis* endogenous plasmid by an efficient and simple plasmid elimination strategy // Microbiol. Res. 2021. V. 246. https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126710
11. *Sabbagh P., Rajabnia M., Maali A., Ferdosi-Shahandashti E.* Integron and its role in antimicrobial resistance: A literature review on some bacterial pathogens // Iran J. Basic. Med. Sci. 2021. V. 24 (2). P. 136–142.
12. *Cameron D.R., Shan Y., Zalis E.A. et al.* A Genetic Determinant of Persister Cell Formation in Bacterial Pathogens // J. Bacteriol. 2018. V. 200 (17). https://doi.org/10.1128/JB.00303-18
13. *Desvaux M., Dalmasso G., Beyrouthy R. et al.* Pathogenicity Factors of Genomic Islands in Intestinal and Extraintestinal *Escherichia coli* // Front. Microbiol. 2020. V. 11. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.02065
14. *Yin Z., Liu X., Qian C. et al.* Pan-Genome Analysis of *Delftia tsuruhatensis* Reveals Important Traits Concerning the Genetic Diversity, Pathogenicity, and Biotechnological Properties of the Species // Microbiol. Spectr. 2022. V. 10 (2). https://doi.org/10.1128/spectrum.02072-21
15. *Nicolau M., Picault N., Moissiard G.* The Evolutionary Volte-Face of Transposable Elements: From Harmful Jumping Genes to Major Drivers of Genetic Innovation // Cells. 2021. V. 10 (11). https://doi.org/10.3390/cells10112952

16. *Denise R., Abby S.S., Rocha E.P.C.* The Evolution of Protein Secretion Systems by Co-option and Tinkering of Cellular Machineries // Trends in Microbiol. 2020. V. 28 (5). P. 372–386.

17. *Vale F.F., Lehours P., Yamaoka Y.* Editorial: The Role of Mobile Genetic Elements in Bacterial Evolution and Their Adaptability // Front. Microbiol. 2022. V. 13. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.849667

18. World Health Organization official website. 2021. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance (дата обращения 03.01.2022).

19. *de Korne-Elenbaas J., Bruisten S.M., van Dam A.P. et al.* The Neisseria gonorrhoeae Accessory Genome and Its Association with the Core Genome and Antimicrobial Resistance // Microbiol. Spectr. 2022. https://doi.org/10.1128/spectrum.02654-21

20. *Ribatti D.* François Jacob, Lysogeny, and the Development of the Operon Model // Crit. Rev. Eukaryot. Gene Expr. 2020. V. 30 (5). P. 443–446.

21. *Hussain F.A., Dubert J., Elsherbini J. et al.* Rapid evolutionary turnover of mobile genetic elements drives bacterial resistance to phages // Science. 2021. V. 374 (6566). P. 488–492.

22. *Fan C., Wu Y.H., Decker C.M. et al.* Defensive Function of Transposable Elements in Bacteria // ACS Synth. Biol. 2019. V. 8 (9). P. 2141–2151.

23. *Xu Y., Zhang J., Wang M. et al.* Mobilization of the nonconjugative virulence plasmid from hypervirulent *Klebsiella pneumonia* // Genome Med. 2021. V. 13 (1). https://doi.org/10.1186/s13073-021-00936-5

24. *Ladd M., Bordoni B.* Genetics, Transposons // In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022.

25. *Banaszkiewicz S., Calland J.K., Mourkas E. et al.* Genetic Diversity of Composite Enterotoxigenic *Staphylococcus epidermidis* Pathogenicity Islands // Genome Biol. Evol. 2019. V. 11 (12). P. 3498–3509.

26. *Makałowski W., Gotea V., Pande A., Makałowska I.* Transposable Elements: Classification, Identification, and Their Use As a Tool For Comparative Genomics // Methods Mol. Biol. 2019. V. 1910. P. 177–207.

27. *Sandoval-Villegas N., Nurieva W., Amberger M., Ivics Z.* Contemporary Transposon Tools: A Review and Guide through Mechanisms and Applications of Sleeping Beauty, piggyBac and Tol2 for Genome Engineering // Int. J. Mol. Sci. 2021. V. 22 (10). https://doi.org/10.3390/ijms22105084

28. *Akrami F., Rajabnia M., Pournajaf A.* Resistance integrons. A Mini review // Caspian J. Intern. Med. 2019. V. 10 (4). P. 370–376.

29. *Rodulfo H., Arcia A., Hernández A. et al.* Virulence factors and integrons are associated with MDR and XDR phenotypes in nosocomial strains of *Pseudomonas aeruginosa* in a Venezuelan university hospital // Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo. 2019. V. 61. https://doi.org/10.1590/S1678-9946201961020

30. *Humphrey S., San Millán Á., Toll-Riera M. et al.* Staphylococcal phages and pathogenicity islands drive plasmid evolution // Nat. Commun. 2021. V. 12 (1). https://doi.org/10.1038/s41467-021-26101-5

31. *Watson B.N.J., Steens J.A., Staals R.H.J. et al.* Coevolution between bacterial CRISPR-Cas systems and their bacteriophages // Cell Host & Microbe. 2021. V. 29 (5). P. 715–725.

32. *Ibarra-Chávez R., Brady A., Chen J. et al.* Phage-inducible chromosomal islands promote genetic variability by blocking phage reproduction and protecting transductants from phage lysis // PLoS Genet. 2022. V. 18 (3). https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1010146

33. *Liang J., Kou Z., Qin S. et al.* Novel *Yersinia enterocolitica* Prophages and a Comparative Analysis of Genomic Diversity // Front. Microbiol. 2019. V. 10. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01184

34. *Novick R.P.* Pathogenicity Islands and Their Role in Staphylococcal Biology // Microbiol. Spectr. 2019. V. 7 (3). https://doi.org/10.1128/microbiolspec.GPP3-0062-2019

35. *Messerer M., Fischer W., Schubert S.* Investigation of horizontal gene transfer of pathogenicity islands in *Escherichia coli* using next-generation sequencing // PLoS One. 2017. V. 12 (7). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179880

36. *Lou L., Zhang P., Piao R., Wang Y.* Salmonella Pathogenicity Island 1 (SPI-1) and Its Complex Regulatory Network // Front. Cell. Infect. Microbiol. 2019. V. 9. https://doi.org/10.3389/fcimb.2019.00270

37. *Rocha E.P.C., Bikard D.* Microbial defenses against mobile genetic elements and viruses: Who defends whom from what? // PLoS Biol. 2022. V. 20 (1). https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001514

38. *Almeida M.V., Vernaz G., Putman A.L.K., Miska E.A.* Taming transposable elements in vertebrates: from epigenetic silencing to domestication // Trends. Genet. 2022. V. 38 (6). P. 529–553.

39. *Capy P.* Taming, Domestication and Exaptation: Trajectories of Transposable Elements in Genomes // Cells. 2021. V. 10 (12). https://doi.org/10.3390/cells10123590

40. *Espinosa-Camacho L.F., Delgado G., Cravioto A., Morales-Espinosa R.* Diversity in the composition of the accessory genome of Mexican *Pseudomonas aeruginosa* strains // Genes Genomics. 2022. V. 44 (1). P. 53–77.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2022, том 92, № 12, с. 1189–1195

БЫЛОЕ

ТРАНСФОРМАЦИЯ ДОНСКОЙ КАЗАЧЬЕЙ ВЕРХУШКИ В 1770–1780-е годы

© 2022 г. А. В. Венков[a,*], Г. Г. Матишов[a,**]

[a]Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

*E-mail: andrey_venk@rambler.ru

**E-mail: matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

Поступила в редакцию 16.05.2022 г.
После доработки 01.06.2022 г.
Принята к публикации 20.07.2022 г.

К 70–80-м годам XVIII в. донская казачья верхушка оформилась в сплочённую социальную группу, которая в то время претерпевала изменения под влиянием мер, предпринимаемых руководством Российской империи. У российской аристократии она заимствовала ряд практик, связанных с карьерным ростом, внедряла и собственные, способствовавшие формированию регионального нобилитета. Центральная власть стремилась подчинить донскую верхушку своему безоговорочному влиянию путём резкого увеличения её численности, прививала у неё стремление к получению имперских армейских чинов, демонстрируя при этом, что наряду и даже выше воинской доблести ценит преданность престолу. В исследуемый период критерием лояльности казачьей верхушки стало её участие не во внешних войнах, а в подавлении восстания Е.И. Пугачёва.

Ключевые слова: казачья верхушка, старшины, служба, армейские чины, кровнородственные связи.

DOI: 10.31857/S0869587322120088

Особенностям взаимоотношений донского казачества и российского государства на протяжении XVI – начала XVIII вв. посвящено большое количество научных работ, но наиболее обстоятельно, с опорой на труды предшественников, эта тема изучалась Н.А. Мининковым [1], О.Ю. Куцем [2, 3] и С.И. Рябовым [4]. Н.А. Мининков отмечает, что донская казачья верхушка более чем какая-либо другая часть казачества, была связана с царской властью [1, с. 468]. О.Ю. Куц считает, что “тесное сотрудничество донских казаков, и прежде всего казачьего войска с Москвой, во многом нехарактерное для более раннего времени”, относится к эпохе Азовского сидения (1637–1642) и далее к 1640-м годам, когда казаки понесли большие потери в боях с турками [3, с. 571]. С.И. Рябов пришёл к выводу, что к 70-м годам XVII в. сформировалась домовитая промосковски настроенная прослойка [3, с. 38], а в первой четверти XVIII в., при Петре I, атаманско-старшинская верхушка “сосредоточила в своих руках значительные богатства и имела огромное влияние на основную массу казачества” [4, с. 82].





ВЕНКОВ Андрей Вадимович – доктор исторических наук, главный научный сотрудник лаборатории казачества ЮНЦ РАН. МАТИШОВ Геннадий Григорьевич – академик РАН, научный руководитель ЮНЦ РАН.

А.П. Пронштейн, автор фундаментального труда “Земля Донская в XVIII веке”, написанного со строго классовых позиций и изданного в 1961 г., назвал власть на Дону “олигархическим правлением” [5, с. 228]. Он считал, что с начала XVIII в. казачья верхушка “даже в очень важных случаях принимала решения за всё Войско без санкции Круга” [5, с. 231].

Г.Г. Небратенко полагает, что “в течение XVIII в. была модернизирована вся система традиционных институтов казачества. Отныне власть на Дону

перестала быть потестарной[1] и приобрела публичную форму с “оттиском” традиционной легитимности» [6, с. 47]. Этот же автор указывает, что ещё в первой половине XVII в. в результате возникновения пожизненного старшинства это “войсковое старшинство выделилось в самостоятельный обычно-правовой институт” [7, с. 49]. Личности донских атаманов и их ближайшего окружения, составлявшего как раз это войсковое старшинство, вызывали интерес многих исследователей.

В.М. Безотосный проанализировал состав донского генералитета в 1812 г. [8]. Были описаны служба, взаимоотношения, происхождение. Давая беглый обзор становления донского генералитета, автор указывает, что к концу XVIII столетия на Дону окончательно выкристаллизовался полностью монополизировавший все сферы власти узкий слой старшины (30–40 родов). “Это была численно небольшая, но очень сплочённая социальная группа” [8, с. 20]. А.И. Сапожников, описывая командный состав донцов в 1812 г., отмечает: “Не вдаваясь в генеалогические подробности родственных связей между полковыми командирами, носившими разные фамилии, замечу только, что верхушка Войска Донского была просто пронизана ими. Войсковой атаман видел в этом положительную сторону...” [9, с. 56].

Исследуемая тема тесно связана с процессом появления донского дворянства. Непосредственно время его возникновения традиционно относилось к 1798 г. Исследователи опирались на повеление Павла I “положившее начало донскому дворянству” [10, с. 143]. Однако А.С. Мельников уточняет: “В самом конце XVIII в. в основном завершился процесс превращения донской старшины в военно-служилое дворянство” [11, с. 12]. То есть процесс длился как раз в исследуемый нами период – 70–80-е годы XVIII в.

Что касается властных структур и лиц, осуществлявших властные полномочия во второй половине XVIII в., этот вопрос изучен далеко не полностью. Цель данной статьи – выяснить, что представляла собой “донская старшина”, как менялась её внутренняя иерархия в период, отмеченный сильнейшими общественными и политическими потрясениями, одно из которых – крестьянская война под руководством Е.И. Пугачёва. В качестве источника нами использовались хранящиеся в Государственном архиве Ростовской области (ГАРО) списки донских старшин с описанием их службы.

[1] Потестарность – форма организации общественной власти в доклассовых и раннеклассовых обществах, не имевших политических и государственных институтов и атрибутов, а также в обществах с преобладанием силовых, неправовых публично-властных институтов. (*Прим. ред.*)

В 1740-е годы на Дону был создан новый вариант местного правительства – Войсковая канцелярия дел старшин. Она состояла из атамана, двух войсковых есаулов, войскового дьяка, толмача и “наличных” войсковых старшин. С 1754 г. велись гражданское, военное, уголовное производства. Привлекались к исполнению соответствующих служебных обязанностей не все старшины, а по повесткам атамана [6, с. 50]. Однако войсковая канцелярия в целом (по образцу 1740–1755 гг.) являла собой “совещательный, исполнительный и судебный орган, состоявший из всех старшин Войска Донского” [6, с. 82].

В 1768 г. в Войске числились войсковой атаман, 51 старшина, 10 есаулов войсковых и 2 походных, 3 войсковых толмача, 18 600 казаков [12, с. 173]. “Звание старшины было пожизненным, без права передачи его потомству, – отмечает Г.Г. Небратенко. – Войсковой Круг, возводя в это звание за личные заслуги, имел право и лишить его за дурное поведение и преступления против войска” [6, с. 49].

Некоторые представители казачьей верхушки, особо отличившиеся во время военных кампаний, имели армейские чины: атаман Данила Ефремов в 1753 г. был произведён в генерал-майоры, Иван Краснощёков в 1738 г. – в бригадиры [13, с. 170]. Донских казаков, командующих казачьими полками, называли “донскими полковниками”, и с 1775 г. было положено “в уважение их службы, считать за уряд младшими пред армейскими секунд-майорами, но выше капитана” [14, с. 19]. Из-за этого, в случае присвоения донскому полковнику русского армейского чина (обычно – премьер-майорского), на Дону бытовала насмешливая фраза: “Нашего полковника в майоры произвели”.

В 1770-е годы на взаимоотношения центральной власти с донскими казаками сильнейшее влияние оказали два события – мятеж атамана Степана Ефремова и крестьянская война под предводительством Емельяна Пугачёва. Крестьянской войне посвящено несколько фундаментальных исследований, а что касается мятежа Степана Ефремова, то мы здесь ограничимся оценкой А.И. Ригельмана, что Ефремов “возгордел уже своим состоянием и возмечтал о себе выше меры, не стал, наконец, повиноваться многим Указам, даже и насылаемым к нему грамотам”, за что был арестован, осуждён и сослан [12, с. 161, 162]. В Войско был временно назначен новый атаман, Семён Сулин, и произошла смена формы правления.

С 1775 г. Войско Донское находилось в непосредственном подчинении Г.А. Потёмкина, который был назначен генерал-губернатором Новороссийской, Азовской и Астраханской губерний. Донцы, поскольку они не поддержали Пугачёва,

были у власти в фаворе. Тем не менее переписку с её представителями они вели в льстивейших выражениях, подчёркивали “истинную всеподданическую верность и усердие войска Донского за Высочайше оказанное высокоматернее Ея Императорского Величества благоволение”, а получая “к неожиданному счастью” письма от Потёмкина, не уставали прославлять “милостивое и великодушное вашего превосходительства отеческое о нас попечение и ходатайство” [15, с. 22, 25].

На Дону было создано Гражданское правительство, состоявшее из атамана и шести войсковых старшин: двух непременных (пожизненных) и четырёх погодных. Двух пожизненных (Амвросия Луковкина и Дмитрия Мартынова) в правительство назначил Г.А. Потёмкин. Погодные старшины избирались большинством голосов на общем собрании войсковых старшин в конце апреля каждого года [6, с. 67], утверждались указом Сената и приводились к присяге 1 мая. По результатам первых выборов Войско доверило власть Ефиму Кутейникову, Ивану Янову, Дмитрию Иловайскому и Василию Манькову. Донским атаманом поставили Алексея Ивановича Иловайского, отличившегося тем, что лично схватил Пугачёва. “Наградою за этот поход Иловайскому был чин армейского полковника и назначение наказным атаманом (15 февраля 1775 г.)” [10, с. 64].

И Иловайскому, и правительству Потёмкин назначил жалование: атаману выплачивалось 5 тыс. рублей в год (1 тыс. жалования и 4 тыс. “столовых”), членам правительства меньше. Правительство отныне руководствовалось не донским обычаем, а российскими законами, при этом ранее полученные Войском привилегии сохранялись. Вынужденная необходимость соблюдения общероссийских законов, регулироваших жизнь зачастую вопреки донскому обычаю, во многом компенсировалась родственными связями и кумовством в верхах Войска. Донская старшина попрежнему оказывала большое влияние на войсковые дела.

Войсковой атаман назначал двух есаулов, войскового дьяка, двух дьяков и шестерых писарей. Правительству подчинялись войсковой толмач, войсковой базарный и войсковые смотрители, которые выбирались на Круге. Так же выбирались и комиссары, следившие за почтовой службой, расквартированием русских войск и продовольственным снабжением [6, с. 68].

Рассмотрим список 1776 г., состоящий из 93 имён, получивших старшинство с 1737 по 1775 г. [16, лл. 124–186]. Список выстроен строго по времени получения старшинства. У фигурантов указаны имя, отчество, фамилия, возраст, происхождение, время поступления на службу, производства в очередной чин. Из 93 человек 14 не указали свой возраст, 11 – время поступления на службу, 1 – происхождение. Таким образом, информацией, доступной в максимальной степени (наряду со временем производства в старшины), оказалось происхождение. Единственный, кто его не указал, это Пётр Ларионович Савостьянов (№ 14 в списке), произведённый в старшины в 1761 г. Кстати, в списке не упомянут ни его возраст, ни время поступления на службу. О ней сказано коротко: “От него за состоянием его в Польше о службе рапорта и аттестатов не отобрано”. Есть информация о пребывании “в штрафах”: “В 767 (так в тексте – *авт.*) году по указу государственной военной коллегии за взятки на четыре месяца написан был в рядовые казаки”. Указано место службы: “По командировании с 769 года в Первую армию ныне находится с полком в Польше” [16, л. 141]. Дальнейшие изыскания показали, что в “Списке именном о служилых Войска Донского старшинах” за 1777 г. под № 14 значится Пётр Ларионович Саврасов, произведённый в старшины в 1761 г. и в своё время разжалованный на 4 месяца, но в этом списке его фамилия зачёркнута и сверху присутствует пометка “в отставке” [16, л. 228 об.]. Последующие исследования показали, что Петр Ларионович Савостьянов и Петр Ларионович Саврасов – одно лицо. Просто в одном из вариантов Петр Ларионович записан не под своим родовым прозвищем (Саврасов), а “по деду” – Савостьяну.

Подобная ситуация отчасти повторяется с Матвеем Ивановичем Платовым[2] в послужных списках за 1776 г. Возраст и время поступления на службу не указаны, а о самой службе сказано: “На посланный к нему воинский приказ о подаче с прописанием его службы рапорта поданным рапортом представил, что он о том подал от себя рапорт его сиятельству господину генерал-аншефу и разных орденов кавалеру графу Григорию Александровичу Потёмкину”. Указано, что “в штрафах и пороках не бывал”, место службы – “с двусотной командой в Воронежской губернии” [16, л. 173].

Что касается происхождения донских старшин, то “из старшинских детей” в списке 59 человек, один (Алексей Данилович Краснощёков) “из генерал-майорских детей”, 28 “из казачьих детей”, по одному “из чеченцев”, “из польского шляхетства”, “из поповских детей”, а ещё один – “уроженец Пруссии в местечке Раинеге докторский сын”. Как видим, старшинские дети в этом списке (включая А. Краснощёкова) составляют

[2] Платов Матвей Иванович (1751–1818) – российский генерал от кавалерии (1809), граф (1812). Сподвижник А.В. Суворова. С 1801 г. войсковой атаман Донского казачьего войска. В Отечественную войну 1812 г. и в заграничном походе 1813–1814 гг. успешно командовал донским казачьим корпусом. (*Прим. ред.*)

65.2%, казачьи – 30.4%, “инородцы” – 3.2% и чуть более 1% приходится на поповских детей.

Выходцы из старшинских детей, согласно списку, получают старшинские чины, начиная с 1749 г., и без заметных перерывов до 1775-го. Выходцы из казачьих детей – в 1737, 1740, 1741, 1758, 1762, 1764, 1768 (по 1 производству в год), в 1770–1772 (по 4), 1773 (5), 1774 (3), 1775. Из списка 1776 г. следует, что 24 из 28 казачьих детей стали старшинами в годы войн с Турцией и Пруссией. Чеченец, польский шляхтич и поповский сын старшинство получили в мирное время – 1763, 1764 гг. Выходец из Пруссии – во время войны с турками, в 1772 г.

Средний возраст достижения старшинского чина для казачьих детей – 32.3 г. Казачий сын Иван Исаев стал старшиной в 23 года. Довольно критически настроенный к казакам (к тому же М.И. Платову) генерал А.Ф. Ланжерон тем не менее писал, что Исаев, будучи генералом, “принимал самые деятельные и разумные меры” и “выказал столько же предприимчивости, сколько ума во всех своих действиях и походах” [17, с. 208]. Чеченец и поповский сын стали старшинами в 36 лет, польский шляхтич в 37, докторский сын из Пруссии в 22 года.

Средний возраст достижения старшинского чина для старшинских детей – 30 лет, хотя старейший по возрасту старшина Михаил Барабанщиков, 1695 г. рождения, получил этот чин в 63 года [16, л. 131 об.]. Но в целом наблюдалась другая тенденция. Генерал-майорский сын Алексей Краснощёков получил старшинский чин в 11 лет, в день поступления на службу 16 октября 1765 г. [16, л. 151]. Далее мы видим целую группу донской молодёжи, получившей старшинские чины в молодом возрасте, в год и день поступления на службу. Именно в день поступления на службу в 1756 г. получил звание старшины двадцатилетний Михаил Себряков; Данила Краснощёков – в 23 года, 31 января 1760 г.; Григорий Денисов – в 17 лет, 15 декабря 1764 г.; Михаил Денисов – в 15 лет, 15 декабря 1764 г.; Аксён Денисов – в 17 лет, 28 марта 1773 г.; Осип Паздеев – в 21 год, в 1775 г.

Другая группа старшин действовала не так демонстративно. Детей записывали на службу в подростковом возрасте, а через несколько лет давали им старшинские чины: Алексей Пушкарёв на службу поступил в 17 лет (1768 г.), чин старшины получил в 18 (1769 г.); Григорий Паздеев на службе с 16 лет (1766 г.), чин старшины получил в 19 лет (1769 г.); Дмитрий Паздеев на службе с 15 лет (1767 г.), чин старшины – в 19 лет (1771 г.); Дмитрий Сарычев на службе с 17 лет (1767 г.), чин старшины – в 20 лет (1770 г.); Иван Меньшой Дячкин на службе с 16 лет (1769 г.), чин старшины – в 18 лет (1771 г.); Кондрат Денисов волонтёром в полку отца с 14 лет (1767 г.), официально на службе с 17 лет (1770 г.), чин старшины получил в 18 лет (1771 г.); Константин Сулин на службе с 17 лет (1767 г.), старшинский чин – в 21 год (1771 г.): Алексей Ребриков на службе с 16 лет (1767 г.), чин старшины – в 20 лет (1771 г.); Андрей Сулин на службе с 16 лет (1772 г.), чин старшины – в 18 лет (1774 г.); Иван Каршин на службе с 16 лет (1768 г.), а старшиной стал в 22 года (1774 г.). Возрастной рекорд побил Андрей Мартынов, поступивший на службу в 12 лет (1771 г.) и ставший донским старшиной в 15 лет (1774 г.). Матвей Платов поступил на службу в 16 лет (1769 г.), был направлен ординарцем к командующему 2-й армией князю В.М. Долгорукову, и тот произвёл Платова в донские старшины в 18-летнем возрасте (26 февраля 1772 г.).

Возраст поступления на службу в Войско чётко определён не был. По имеющимся данным, средний возраст казачьих детей, достигших старшинского чина, при поступлении на службу составлял 17.5 года. Из них Амвросий Луковкин и Иван Кумшацкий пошли служить в 13 лет, а Иван Бузин стал в строй лишь в 25 лет. Средний возраст поступления на службу старшинских детей – 16.3 года. Войско Донское применяет у себя сложившуюся в России практику зачисления на службу детей элиты в самом раннем возрасте (ситуация эта знакома нам со школьной скамьи по повести А.С. Пушкина “Капитанская дочка”).

Сравним рассмотренный нами список с другим документом под заглавием “Список именной о служилых Войска Донского старшинам на 1778 год” [16, лл. 356–416]. На первой странице отмечено “К его светлости князю Григорию Александровичу Потёмкину от Войсковой канцелярии рапорт... Во исполнение Вашей светлости приказания сочинённый на сей 1778 год Войска Донского служилым старшинам послужной список Вашей светлости Войсковой канцелярии при сём нижайше представляет. Генваря дня 1778 год. Черкасск” [16, л. 356].

С 1776 г. список немного изменился: количество старшин увеличилось до 102-х, из прежнего списка несколько человек убыли. Один из них, премьер-майор Михаил Денисов, 28 лет, умер, видимо, в дни составления списка, поскольку его фамилия вычеркнута и нумерация стоящих за ним старшин изменена. Алексей Краснощёков, записанный ранее “из генерал-майорских детей”, уравнивается с другими представителями донской “золотой молодёжи” и пишется “из старшинских детей” [16, л. 374]. Из записи о Матвее Платове следует, что рапорт о службе он подал самому Потёмкину, но числится “при Войске” [16, л. 400] и мог бы прислать в войсковую канцелярию хотя бы копию рапорта.

В 1776 и 1777 гг. в старшины записаны 13 человек. Из них 11 из старшинских детей и 2 из казачьих. Из старшинских детей Иван Барабанщиков получил этот чин в 44 года (его отец – в 63 года). Иван Дячкин Большой (1752 г. рождения) стал старшиной в 24 года, но на службу поступил, если верить документу, в 2 года, в 1754-м [16, л. 414 об.]. Павел Краснощёков (1757 г. рождения) "за службу не произведён, а произведён (неразборчиво – *авт.*) во уважение предков его служб" [15, л. 416]. Как видим, в Войске сложилась практика давать командные должности без предварительной службы – "по заслугам предков". Такого в те времена не позволяла себе даже высшая русская аристократия. Произведённые в старшины из казачьих детей Михаил Давыдов и Алексей Стрюков находятся с полками в Кизляре и в Саратове. Произведённые из старшинских детей стоят с полками в Воронежской губернии и в Санкт-Петербурге, пожилой Барабанщиков – в Кизляре, а Дячкин Большой занимает пост войскового "базарного" (контролирующего торговлю).

Чтобы оценить ситуацию в развитии просмотрим "Список именной господам Войска Донского служилым старшинам", доведённый до 1779 г. В списке 112 имён, записанных по мере производства в старшины, по годам. В этом списке нет Войскового атамана Алексея Иловайского, произведённого в старшины в 1764 г., поскольку он теперь имел более высокий статус. Отсутствуют Андрей Вуколов, Козьма Греков. А.В. Вуколов, как выясняется, без вести пропал за Кубанью в 1778 г. [18, с. 28]. За 1778–1779 гг. в старшины записаны 13 человек. Один из них, Фёдор Табунщиков, прямо в списке помечен "умре" [16, л. 298].

Налицо стремление власти увеличить количество старшин. В 1768 г., как упоминалось, в Войске 51 старшина. За 11 лет их количество более чем удваивается – доводится до 112. Из них 24 произведены в старшины в течение 30 лет (с 1737 по 1767 г.), до Первой русско-турецкой войны, 56 – во время войны, в 1768–1774 гг., и 33 после войны, в 1775–1779 гг. [16, л. 294–298]. Усиливая контроль над донской верхушкой, центральное правительство увеличивает количество причастных к ней лиц. (Так действовали ещё римские цезари: если хотели ослабить римский Сенат, удваивали количество сенаторов. Чем больше количество людей, облечённых властью, тем труднее им договориться.)

В списке присутствуют несколько династий, родов, имеющих среди старшин нескольких своих представителей. Больше всего Грековых – 11 (фактически 10% всех старшин), Денисовых – 8, Сулиных – 5, Паздеевых – 4, по 3 представителя от кланов Барабанщиковых, Краснощёковых, Яновых, Мартыновых, Дячкиных, Каршиных, Иловайских (если учесть и самого атамана Алексея Иловайского). В списке трое Поповых, но они не принадлежат к какому-либо клану. Это поповский и старшинский сыновья, польский шляхтич.

Судя по исследованной переписке, Г.А. Потёмкин привлёк к службе в Войсковом гражданском правительстве казаков, относящихся друг к другу неприязненно. Видно, что он стремился "разбавить" сложившуюся верхушку новыми людьми. Верхушка была связана родственными узами. Так, Иван Янов, войсковой дьяк, приходился двоюродным братом атаману Алексею Иловайскому. Но кланы нередко враждовали между собой, поэтому Иловайский в самых льстивых выражениях объяснял Потёмкину, что его, Иловайского, двоюродный брат Иван Янов Большой, "упражнявшись в должности войскового дьяка", имеет "пред многими яснейшее о законах понятие", однако на должность войскового непременного судьи уже назначен Дмитрий Мартынов, а Янов и Мартынов "дружелюбно жить и должность свою надлежащим образом без вражды править, по известности мне их нравов, совершенно не могут, да и привести их в согласие я не надеюсь". Вследствие сего Иловайский просил назначить в непременные судьи Амвросия Луковкина "по его добронравию и по сведению канцелярских обрядов и законного права", а Мартынову, который "человек не весьма спокойный", "милостиво подтвердить, чтоб прежде бывшие раздоры предать забвению и жить в дружелюбном согласии, наблюдая долг присяги и общенародную пользу" [15, с. 24, 25]. Но Потёмкин Мартынова не тронул, как потом злорадно объясняли потомки Мартынова, именно потому, что Мартыновы и Иловайские враждовали "11 колен".

Интересна роль во всём этом процессе М.И. Платова. Платов, как мы помним, не избран и не назначен Канцелярией, а "написан в донские старшины" князем В.М. Долгоруковым, командующим 2-й армией [19, с. 18]. До мая 1777 г. Платов во главе "двухсотной" команды искоренял остатки пугачёвцев в великорусских губерниях. "Будучи в отпуске, в феврале того же года, он женился на дочери опального атамана С. Ефремова. В этом браке просматривается всё та же кадровая политика. Детей опального атамана переженили на детях казаков и старшин, проявивших преданность престолу. Ефремова заставили породниться с Иловайскими, Платовыми, Карповыми. Все они были старшинами в первом поколении в отличие от Себряковых, Денисовых, Краснощёковых" [19, с. 18]. В 1783 г. жена Платова умерла, и спустя год он женился на вдове полковника П. Кирсанова, дочери войскового судьи Д. Мартынова. "Фактически Платов переходит из клана в клан, так как родной брат покойного мужа его новой жены Сидор Кирсанов был главным врагом опального атамана Ефремова" [19, с. 18].

Остаётся вопросом, насколько “тепло” он был принят в клане Кирсановых-Мартыновых, поскольку его обособленность и служба как бы лично Потёмкину были видны всем.

С 1780–1781 гг. структура старшинской верхушки резко меняется. Составленный в это время “Список именной Войска Донского войсковым старшинам, ныне налицо при Войске состоящим” [16, л. 299, 300] насчитывает 68 человек. В него внесены старшины, не находящиеся с полками и командами в походе. Построен он по старшинству российских воинских чинов. Первой стоит фамилия “от армии полковника” Михаила Себрякова, получившего армейский полковничий чин в 1762 г., в Семилетнюю войну. За ним – Илья Денисов, заслуживший такой же чин в 1775 г. Далее идут непременные судьи Дмитрий Мартынов и Амвросий Луковкин, получившие полковничьи чины в 1777 г. За ними записаны три подполковника (Василий Перфилов, Дмитрий Иловайский и Яков Сулин) и 11 премьер-майоров. Далее следуют просто старшины, их 50, причём начало списка построено по прежнему принципу – по времени производства в старшины. Однако это относится к первым пяти фамилиям, к престарелым ветеранам, одному из которых, Михаилу Барабанщикову, уже за 85. Остальная очерёдность старшин между собой нуждается в дальнейшем исследовании.

В происхождении старшин наблюдаются определённые изменения: из казачьих детей – 18 (26.4%), из старшинских детей – 48 (70.6%), один польский шляхтич и один из поповских детей. Как видим, количество “потомственных старшин” в этой подборке увеличилось.

Матвей Платов в списке старшин стоит 34-м, в общем списке – 52-м. Против его имени пометка “в Петербурге” [16, л. 300]. Впрочем, известно, что с полком он туда не посылался. Видимо, ездил с рапортом, как “смотрящий” к “куратору”.

Для полноты картины сравним предыдущие списки со списком, составленным в 1787 г. [16, л. 1–34], который выстроен не по времени производства, а “по значению”. Первым в нём упомянут атаман – генерал-поручик А.И. Иловайский, за ним следует генерал-майор Ф.П. Денисов, далее – бригадиры Д. Мартынов и А. Луковкин, 4 полковника (Д. Иловайский, Я. Сулин, В. Орлов, М. Платов), 12 подполковников (Ф. Кутейников, Аф. Попов, В. Маньков, К. Денисов, А. Ребриков, З. Сычёв, В. Янковский, И. Исаев, К. Устинов, И. Бузин, А. Мартынов, Д. Греков). Далее вперемежку идут старшины, не имеющие армейских чинов (их 25), и армейские премьер-майоры (9 человек).

Из казачьих детей 17 (32%), из старшинских 34 (64.1%), из поповских один (Афанасий Попов); из Пруссии также один (В. Янковский). Количество выходцев из казачьих детей в этой подборке подрастает. Вычеркнуты Осип Данилов (из чеченцев) и Пётр Попов (из польской шляхты). Видимо, разрастающаяся война на Кавказе и недавний раздел Польши ускорили отправку этих старшин в отставку.

И вновь Матвей Иванович Платов рапорта о своей службе в Войско не подаёт, а сообщает, что “подал об себе рапорт Его светлости господину генералу-фельдмаршалу и разных орденов кавалеру князю Григорию Александровичу Потёмкину, после того отбыл с полком на Кавказскую линию” [16, л. 9]. Впрочем, с 52-го места он, став армейским полковником, переместился на 8-е.

Проанализировав списки старшин и содержащуюся в них информацию, мы можем выделить некие “социальные лифты” в рассматриваемый период. Первый и главный – участие в подавлении пугачёвского восстания. Задействованы в этом были далеко не все, поскольку продолжалась война с Турцией. Как уже упоминалось, участием в подавлении бунта и поимкой самого Пугачёва была обеспечена карьера войскового атамана Иловайского. Против “изверга и самозванца” с полуторатысячной командой, набранной на Хопре, Медведице и Бузулуке, был послан походным атаманом А. Луковкин (в списке он бригадир и непременный судья) [16, л. 7]. Против Пугачёва и его сторонников воевали два полковника (Василий Орлов и Матвей Платов) из четырёх, упомянутых в списке, и четыре подполковника (Фёдор Кутейников, Афанасий Попов, Василий Маньков и Карп Денисов) из двенадцати. Причём Фёдор Кутейников попадал к пугачёвцам в плен и “претерпел тиранство” [16, л. 53, 54]. Из девяти премьер-майоров против Пугачёва и его сторонников воевали четверо (Григорий Поздеев, Михаил Денисов, Алексей Краснощёков и Петр Кубанов). Из многочисленных старшин против пугачёвцев дрались 13 (Иван Платов – отец будущего атамана, Илья Денисов, Аким Барабанщиков, Павел Кирсанов, Иван Харитонов, Максим Янов, Пётр Ребриков, Осип Лащилин, Аким Карпов, Афанасий Кутейников, Андрей Вуколов, Михаил и Григорий Денисовы). Потомственные старшины Себряковы, не проявившие себя с лучшей стороны во время пугачёвского восстания, теряют свои позиции и влияние.

Второй “лифт” – принадлежность к населению города Черкасска. Из 117 человек, произведённых в старшины с 1737 по 1779 г. и остававшихся в этом чине, мы видим 73 жителя Черкасска (из них 15 выходцы из казачьих детей). Преимущественно из уроженцев этого города атаманы Данила и Степан Ефремовы создали прообраз Атаманского полка – “сотную команду”. В 1759 г. Данила Ефремов вместе с чином тайного советника получил право иметь команду из 100 донских ка-

заков, “кого он сам выберет” [13, с. 109]. Сами они называли себя “тайными советниками”. В сотной команде некогда служили атаман Алексей Иловайский, полковник Дмитрий Иловайский, подполковник Фёдор Кутейников, подполковник Василий Маньков, премьер-майоры Степан Леонов и Иван Янов Меньшой, старшины Никита Мартынов, Павел Кирсанов, Афанасий Кутейников, Пётр Ребриков, Иван Селиванов, Аким Карпов, Василий Поздеев, Андрей Вуколов, Иван Горбиков, Иван Платов, Карп Киреев, Василий Агеев, Алексей Макаров (из них семеро последних из казачьих детей). Впрочем, гарантию карьерного роста даёт и принадлежность к “провинциальному” клану Денисовых из станиц Пятиизбянской и Нижне-Чирской.

Третий “лифт” – участие в Петергофском походе, когда бывший с посольством в Санкт-Петербурге Степан Ефремов и его ближайшее окружение присоединились к императрице Екатерине и свергали императора Петра III. В походе участвовали бригадир Дмитрий Мартынов, подполковник Карп Денисов, премьер-майор Иван Янов Меньшой, старшины Иван Янов Большой, Иван Горбиков, Семён Сулин, Михаил Поздеев.

Четвёртый “лифт” для выходцев из казачьих детей – грамотность. В Войсковой канцелярии начинали службу писарями выходцы из казачьих детей бригадир Амвросий Луковкин, подполковник Иван Исаев и старшина Гаврила Колпаков.

* * *

Таким образом, на Дону сложилась мощная верхушка потомственных старшин, но выходцы из рядовых казаков всё ещё составляли в составе старшин чуть ли не треть. Среди старшин предшествовавшего исследуемому периода встречаются выходцы из священников и “инородцы”. Потомственные старшины копируют нравы, царившие в Центральной России, и зачисляют своих потомков на службу в самом раннем возрасте, некоторые получают старшинские чины “по заслугам предков”. Центральная власть стремится разрушить систему войсковых старшин путём увеличения их числа, начинает выстраивать иерархию не по времени получения чина, а по старшинству русских армейских чинов, делает престижным получение русского армейского чина. Власть в Войске, военная, политическая и судебная, поручается людям, доказавшим на деле свою верность престолу. В рассматриваемый период таким критерием становится участие в подавлении восстания Пугачёва.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках темы научно-исследовательских работ по государственному заданию Южного научного центра РАН, грант № АААА-А20-120122990111-9 и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 21-09-43097.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мининков Н.А.* Донское казачество в эпоху позднего средневековья (до 1671 г.). Ростов-н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1998.
2. *Куц О.Ю.* Донское казачество в период от взятия Азова до выступления С. Разина (1637–1667). СПб.: Дмитрий Буланин, 2009.
3. *Куц О.Ю.* Донское казачество времени Азовской эпопеи и 40-х гг. XVII в.: политическая и военная история. М.: Старая Басманная, 2014.
4. *Рябов С.И.* Войско Донское и российское самодержавие (1613–1725 гг.). Волгоград: Перемена, ВГПУ, 1993.
5. *Пронштейн А.П.* Земля Донская в XVIII веке. Ростов-н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1961.
6. *Небратенко Г.Г.* Судебно-процессуальные отношения в традиционном обществе донских казаков. Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2009.
7. *Небратенко Г.Г.* Обычаи вольного казачества (XVI –начало XVIII вв.) Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2009.
8. *Безотосный В.М.* Донской генералитет и атаман Платов в 1812 году. Малоизвестные и неизвестные факты на фоне знаменитых событий. М.: РОССПЭН, 1999.
9. *Сапожников А.И.* Войско Донское в Отечественной войне 1812 года. М.; СПб.: Альянс-Архео, 2012.
10. *Савелов Л.М.* Донские дворянские роды. Выпуск первый. М.: Типо-литография Товарищества И.Н. Кушнарёва и К°, 1902.
11. *Мельников А.С.* Правовой статус дворянства в Области Войска Донского: историко-правовое исследование. Автореф. дис. канд. юрид. наук. Краснодар, 2011.
12. *Ригельман А.И.* История о донских казаках. Ростов-н/Д.: Кн. изд-во, 1992.
13. *Астапенко Е.М.* История города Черкасска – станицы Старочеркасской XVI – начала XXI вв. Ростов-н/Д.: ООО Мини Тайп, 2020.
14. Войсковой старшина // Военная энциклопедия. Т. 7. Воинская часть – Гимнастика военная. СПб.: Т-во И.Д. Сытина, 1912.
15. Бумаги князя Григория Александровича Потёмкина-Таврического / Воен. учён. ком. Главного штаба. Ред. Н.Ф. Дубровина. СПб., 1893–1895. 3 т. (Сб. воен.-ист. материалов; Вып. 6–8). Т. 1. 1774–1788. СПб., 1893.
16. Государственный архив Ростовской области (ГАРО). Ф. 46. Оп. 1. Д. 40.
17. *Ланжерон А.Ф.* Записки графа Ланжерона. Война с Турцией 1806–1812 гг. // Русская старина. Т. 135. 1908. С. 159–209.
18. *Корягин С.В., Логинов С.Д.* Филатовы и другие. Генеалогия и семейная история донского казачества. Выпуск 105. М.: Русаки, 2012.
19. *Венков А.В.* Атаман Платов и российская государственная верхушка // Краеведческие записки: Сб. науч. тр. / Музей истории донского казачества. Новочеркасск: Изд-во “НОК”, 2003. С. 17–20.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В “ВЕСТНИКЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК”, 2022, № 1–12

DOI: 10.31857/S086958732212009X

Научная сессия общего собрания членов РАН 14–15 декабря 2021 года “Роль науки в преодолении пандемий и посткризисном развитии общества”. № 7, 8.

Вступительное слово президента РАН академика РАН *А.М. Сергеева*

Приветственное слово заместителя председателя Совета Безопасности Российской Федерации *Д.А. Медведева*

Приветствие министра образования и науки Российской Федерации *В.Н. Фалькова*

Приветствие заместителя председателя Совета Федерации и Федерального собрания РФ *К.И. Косачёва*

Приветствие заместителя государственного секретаря Союзного государства России и Белоруссии *А.А. Кубрина*

Приветствие заместителя министра здравоохранения Российской Федерации *Т.В. Семёновой*

Приветствие заместителя министра иностранных дел Российской Федерации *С.А. Рябкова*

Приветствие председателя Комитета Государственной думы Федерального собрания Российской Федерации по науке и высшему образованию *С.В. Кабышева*

Доклад руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека *А.Ю. Поповой*

Доклад руководителя Федерального медико-биологического агентства *В.И. Скворцовой*

Доклад президента Российской академии образования *О.Ю. Васильевой*

Г.Г. Онищенко, Т.Е. Сизикова, В.Н. Лебедев, С.В. Борисевич. Вариант “омикрон” вируса SARS-COV-2 как доминантный агент нового подъёма заболевания в условиях пандемии COVID-19

В.Г. Акимкин. Эпидемиология и диагностика COVID-19. Мониторинг эволюционных изменений вируса SARS-COV-2

Е.Л. Насонов, М.Ю. Самсонов, А.М. Лила. Коронавирусная болезнь 2019 (COVID-19) и аутоиммунитет

С.Н. Авдеев. COVID-19: возможности улучшения прогноза

А.В. Аверьянов, О.В. Данилевская. Диффузные поражения лёгких после перенесённого COVID-19

С.С. Петриков, К.А. Попугаев, С.В. Журавель. Интенсивная терапия больных COVID-19

Е.В. Шляхто, А.О. Конради, Т.Л. Каронова, П.А. Федотов. Пандемия COVID-19 и сердечно-сосудистые заболевания. Уроки и перспективы

О.М. Драпкина, И.С. Явелов. Эволюция подходов к медикаментозной профилактике и лечению новой коронавирусной инфекции

Е.В. Крюков, Д.В. Тришкин, В.В. Салухов, Е.В. Ивченко. Опыт военной медицины в борьбе с новой коронавирусной инфекцией

М.А. Курцер. Коронавирусная инфекция COVID-19 и беременность

А.А. Ишмухаметов. Фундаметальные и прикладные науки, технология и иммунобиологический продукт

А.Д. Каприн, Н.С. Сергеева, П.В. Шегай, Б.Я. Алексеев. Онкология в период пандемии новой коронавирусной инфекции

О.В. Карпова, Н.А. Никитин. Вирусы растений: новые возможности в период пандемии

С.К. Ююкина, Д.О. Жарков. Механизмы обеспечения стабильности генома коронавирусов как потенциальные мишени для противовирусных средств

Г.Н. Рыкованов, С.Н. Лебедев, О.В. Зацепин, Г.Д. Каминский, Э.В. Карамов, А.А. Романюха, А.М. Фейгин, Б.Н. Четверушкин. Агентный подход к моделированию эпидемии COVID-19 в России

В.А. Макаров, В.О. Попов. PDSTP – первое в своём классе средство для лечения коронавирусной инфекции

И.М. Донник, И.А. Чвала, Л.К. Киш, А.М. Ермаков. Коронавирусные инфекции животных: риски прямых и обратных зоонозов

А.М. Шестопалов, А.Ю. Алексеев, В.В. Глупов, М.И. Воевода. Миграции диких животных как потенциальная угроза заноса новых вирусов на территорию России

В.Н. Чарушин, В.Л. Русинов, М.В. Вараксин, О.Н. Чупахин, О.П. Ковтун, А.А. Спасов. Разработка лекарственных средств прямого противовирусного действия на основе азагетероциклических систем

В.В. Грибова, Ю.Н. Кульчин, М.В. Петряева, Д.Б. Окунь, Р.И. Ковалёв, Е.А. Шалфеева. Интеллектуальная система поддержки принятия врачебных решений в дифференциальной диагностике и лечении COVID-19

В.А. Тишков, М.Л. Бутовская, В.В. Степанов. Общество и государство в России и мире в период эпидемии коронавируса

Т.Я. Хабриева, Н.Н. Черногор. Право и пандемия: уроки кризиса

А.А. Широв. Российская экономика под влиянием пандемического кризиса

Р.И. Нигматулин. Условия преодоления ковидного кризиса и социально-экономический рост

Общее собрание членов Российской академии наук. № 11.

Приветствие Президента Российской Федерации *В.В. Путина*

Приветствие министра науки и высшего образования Российской Федерации *В.Н. Фалькова*

Приветствие председателя комитета Совета Федерации Федерального собрания по науке, образованию и культуре *Л.С. Гумеровой*

Приветствие председателя комитета Государственной думы Федерального собрания Российской Федерации по международным делам *Л.Э. Слуцкого*

Приветствие председателя комитета Государственной думы Федерального собрания Российской Федерации по науке и высшему образованию *С.В. Кабышева*

Приветствие заместителя министра здравоохранения Российской Федерации *Т.В. Семёновой*

О приоритетных направлениях деятельности Российской Академии наук по реализации государственной научно-технической политики в Российской Федерации и о важнейших научных достижениях, полученных российскими учёными в 2021 году. *Доклад президента РАН академика РАН А.М. Сергеева*

О работе президиума РАН за отчётный период. *Доклад исполняющего обязанности главного учёного секретаря президиума РАН академика РАН Д.В. Бисикало*

О работе Дальневосточного отделения РАН в 2021 году. *Выступление председателя Дальневосточного отделения РАН академика РАН В.И. Сергиенко*

О работе Сибирского отделения РАН в 2021 году. *Выступление председателя Сибирского отделения РАН академика РАН В.Н. Пармона*

О работе Уральского отделения РАН в 2021 году. *Выступление председателя Уральского отделения РАН академика РАН В.Н. Чарушина*

Г.П. Георгиев. Исследования структурной организации и экспрессии генома животных. *Доклад лауреата Большой золотой медали имени М.В. Ломоносова РАН 2021 года*

Выступления участников общего собрания членов РАН

Об основных результатах работы Российской академии наук в 2021 году и о приоритетных направлениях её деятельности. *Постановление Общего собрания членов РАН*

Тематический выпуск журнала “Вестник Российской академии наук” по географии. № 6.

Вступительное слово

А.А. Тишков. География – наука будущего

О.В. Андреева, Г.С. Куст, В.А. Лобковский. Устойчивое землепользование и нейтральный баланс деградации земель

К.Н. Дьяконов, А.В. Хорошев. Ландшафтное планирование на пути к интеграции в региональную политику

А.А. Чибилёв. Географические аспекты развития заповедной системы России

Н.А. Соболев, Е.А. Белоновская, К.Н. Кобяков, А.Н. Кренке, С.В. Титова. Великий Евразийский природный массив как объект мирового значения

Т.Г. Нефёдова, В.Н. Стрелецкий, А.И. Трейвиш. Поляризация социально-экономического пространства современной России: причины, направления и последствия

С.В. Горячкин. География экстремальных почв и почвоподобных систем

Е.А. Константинов, А.Л. Захаров, Н.В. Сычёв, Е.А. Мазнева, Р.Н. Курбанов, П.А. Морозова. Лёссонакопление на юге Европейской России в конце четвертичного периода

Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, А.Г. Георгиади, С.В. Долгов, И.С. Зайцева, Е.А. Кашутина, И.П. Милюкова, Т.С. Фролова, С.И. Шапоренко. Географическое направление в гидрологических исследованиях института географии РАН

С.В. Шварев, В.Н. Голосов, Е.В. Лебедева, Э.А. Лихачёва, С.В. Харченко. Актуальная геоморфология: оценка природных рисков и системное природно-антропогенное взаимодействие

С.С. Кутузов, В.Н. Михаленко, М. Легран, А.Г. Хайрединова, М.А. Воробьёв, М.М. Виноградова. Перспективные направления исследований ледниковых кернов

Наука и общество

И.В. Башлаков-Николаев, В.П. Заварухин, А.Г. Лисицын-Светланов, С.В. Максимов. Правовые аспекты современной глобальной конкуренции в космосе. № 10.

Н.А. Горячев, М.И. Кузьмин, В.В. Ярмолюк, А.Н. Диденко, О.В. Петров, Д.П. Гладкочуб, А.Р. Оганов, А.Н. Кузнецова, В.А. Верниковский, В.С. Шацкий, А.Б. Котов, А.Б. Перепелов. Нужны ли геология и минеральные ресурсы Российской Федерации? № 9.

М.П. Егоров, А.Л. Максимов, А.М. Музафаров, Н.Э. Нифантьев, А.Ю. Цивадзе. Химия в XXI веке: вызовы и перспективы для России. № 2.

М.П. Кирпичников, А.М. Кудрявцев. Безопасное использование генетических технологий. № 5.

В.П. Мельников, В.И. Осипов, А.В. Брушков, С.В. Бадина, С.А. Великин, Д.С. Дроздов, В.А. Дубровин, О.В. Жданеев, М.Н. Железняк, М.Е. Кузнецов, А.Б. Осокин, Н.А. Остарков, М.Р. Садуртдинов, Д.О. Сергеев, Е.В. Устинова, Р.Ю. Фёдоров, К.Н. Фролов, Р.В. Чжан. Снижение устойчивости инфраструктуры ТЭК России в Арктике как следствие повышения среднегодовой температуры приповерхностного слоя криолитозоны. № 4.

В.А. Черешнев, А.В. Тодосийчук. Наука в России: состояние, проблемы, перспективы развития. № 3.

С кафедры президиума РАН

Выступление министра экономического развития РФ *М.Г. Решетникова*. № 5.

И.О. Абрамова, Л.Л. Фитуни. Пути повышения эффективности африканской стратегии России в условиях кризиса существующего миропорядка. № 9.

А.И. Аветисян. Кибербезопасность в контексте искусственного интеллекта. № 12.

И.В. Бычков, Е.С. Фереферов. Цифровые технологии мониторинга и прогнозирования экологической обстановки в Сибири. № 4.

Г.А. Заикина (составитель). Перспективы и трудности энергоперехода. *Обсуждение научного сообщения*. № 5.

А.Л. Максимов. Нефтепереработка и нефтегазохимия: импортозамещение и обеспечение технологической независимости. № 10.

И.И. Мохов. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. № 1.

А.С. Носков. Научно-технический уровень исследований и перспективы импортозамещения в области промышленных катализаторов. № 10.

С.С. Попов (составитель). Техника наивысших достижений. *Обсуждение научного сообщения*. № 3.

С.С. Попов (составитель). Экология Сибири нуждается в научной поддержке. *Обсуждение научного сообщения*. № 4.

Б.Н. Порфирьев, А.А. Широв. Стратегии социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов: сценарии и реалии для России. № 5.

Б.Ю. Шарков, И.Н. Мешков. Развитие физики ускорителей заряженных частиц для фундаментальной науки, высоких технологий и медицины. № 3.

Е.В. Шляхто. Научные основы персонализированной медицины: реалии и возможности. № 12.

К 300-летию Российской академии наук

А.Б. Куделин, Д.С. Московская, М.Л. Спивак. «“Литературное наследство” за все эти годы было таким большим делом...». *К 90-летию академической серии “Литературное наследство”*. № 2.

И.В. Тункина. Бенджамин Франклин и Императорская Санкт-Петербургская академия наук. № 4.

И.В. Тункина, Е.Ю. Басаргина. “Ad fonts. Материалы и исследования по истории науки”: итоги первого десятилетия (2011–2021). № 3.

Организация исследовательской деятельности

А.В. Гринёв. Наукометрический портрет учёного как инструмент оценки его достижений. № 4.

С.В. Соколовский. Публикационная политика и проблемы развития антропологических исследований в России. № 2.

Обозрение

А.Н. Богданов. Механика. 100 лет без Н.Е. Жуковского. № 1.

А.С. Дятлова, Н.С. Новикова, Б.Г. Юшков, Е.А. Корнева, В.А. Черешнев. Гематоэнцефалический барьер в нейроиммунных взаимодействиях и развитии патологических процессов. № 10.

Д.И. Кондратов. Мировой рынок газа: современные тенденции и перспективы развития. № 4.

А.В. Стародубова. Можно ли считать здоровое питание инструментом здоровьесбережения? № 2.

И.П. Цапенко, И.В. Гришин. Виртуализация трансграничной трудовой миграции. № 9.

А.А. Ярославов, М.С. Аржаков, А.Р. Хохлов. Жизненный цикл полимерного материала: проблемы и перспективы. № 1.

А.А. Ярославов, М.С. Аржаков, А.Р. Хохлов. Одноразовая полимерная упаковка: проблема без решения? № 10.

Точка зрения

А.А. Акаев, А.И. Рудской, В.В. Кораблёв, А.И. Сарыгулов. Технологические и экономические барьеры роста водородной энергетики. № 12.

А.С. Дьяков. Перспективы ограничения нестратегического ядерного оружия. № 3.

Б.Л. Лавровский, Е.А. Горюшкина, Е.А. Шильцин. Моделирование бюджетной обеспеченности регионов. № 1.

А.Г. Лисицын-Светланов, В.В. Романова. Правовые аспекты регулирования атомной энергетики как неотъемлемой части низкоуглеродной энергетической повестки. № 2.

В.А. Лось. В поисках перспективной стратегии развития цивилизации. К 50-летию выхода в свет доклада Римскому клубу "Пределы роста". № 4.

Л.В. Панкова, О.В. Гусарова. Мировая инновационно-цифровая экспансия: особенности момента. № 10.

В.М. Полтерович. Библиометрическое равновесие. № 5.

В.В. Сунцов. Филогенез микроба чумы *Yersinia pestis*: уникальность эволюционной модели. № 9.

А.А. Шабунова, Т.К. Ростовская. Демографическая политика в современной России: взгляд населения и экспертная оценка. № 12.

Дискуссионная трибуна

В.И. Данилов-Данильян. Цифровизация 2020-х и кибернетизация 1960-х: сопоставления и уроки. № 12.

Н.Н. Хромов-Борисов, Е.Б. Александров. Реализ-активность, супрамолекулярные матрицы, пространственный гомеостаз – новые фантомы и иллюзии в биомедицине. № 5.

С.Г. Инге-Вечтомов. Некоторые замечания к статье Н.Н. Хромова-Борисова и Е.Б. Александрова "Релиз-активность, супрамолекулярные матрицы, пространственный гомеостаз – новые фантомы и иллюзии в биомедицине". № 5.

За рубежом

Д.М. Бондаренко. Историко-культурные аспекты формирования наций в постколониальных государствах Африки. № 1.

Е.О. Заклязьминская. Научно-технический потенциал Китая в условиях технологических санкций США. № 9.

Е.Г. Комкова. Научная политика в Канаде. № 10.

В.С. Мирзеханов, Ф.О. Трунов. Особенности урегулирования вооружённых конфликтов в Азии и Африке в конце 2010-х – начале 2020-х годов. № 12.

В.В. Петушкова. Опыт и перспективы устойчивого развития Китая. № 4.

А.И. Салицкий, Е.А. Салицкая. Китай на пути к мировому технологическому лидерству. № 5.

Проблемы экологии

О.В. Бухарин, С.В. Андрющенко, Н.Б. Перунова, Е.В. Иванова. Экологическая детерминация индигенных бифидобактерий кишечника человека. № 9.

Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева. Оценка современного водопотребления в мире и на континентах, его влияние на годовой речной сток. № 3.

Из рабочей тетради исследователя

С.В. Авакян, Л.А. Баранова. Микроволновые излучения в проблеме современных вирусных заболеваний. № 4.

А.А. Акаев, В.А. Садовничий. Математическая модель для прогнозирования глобальной демографической динамики в эпоху использования интеллектуальных машин. № 9.

А.Л. Арефьев. Кириллица в геолингвистическом пространтсве. № 3.

В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Е.Д. Сушко, Г.Б. Сушко. Создание суперкомпьютерной имитации общества с активными агентами разных типов и её апробация. № 5.

С.В. Рязанцев, Е.М. Моисеева. Миграция в контексте демографического развития российского Дальнего Востока. № 2.

Р.Л. Смелянский. MC2E – метаоблачная вычислительная среда для междисциплинарных исследований. № 1.

И.Г. Ушачев, В.В. Маслова, Н.Ф. Зарук, М.В. Авдеев. Механизмы инвестиционного процесса в аграрном комплексе России. № 2.

А.С. Цветков. Основные статистическо-кинематические свойства каталога GAIA EDR3. № 1.

Организация исследовательской деятельности

А.И. Терехов. Позиционирование России в появляющихся высокотехнологичных направлениях. № 1.

Размышления над новой книгой

С.В. Пирожкова. Социогуманитарное знание и будущее науки. № 3.

Е.П. Тавокин. Учебная литература по теории управления: чему она учит? № 5.

История академических учреждений

Р.В. Горбунов, Ю.М. Корнийчук, Н.В. Поспелова. От берегов к глубинам океанов. *К 150-летию основания Севастопольской биологической станции – Института биологии южных морей*. № 2.

Т.И. Юсупова. Российско-монгольское научное сотрудничество в 1920–1960-е годы: особенности, контексты, персоналии. *К 100-летию Учёного комитета Монголии.* № 3.

Былое

В.Г. Ананьев, М.Д. Бухарин. Российская наука и государство в конце 1920-х – начале 1930-х годов. № 9.

А.В. Венков, Г.Г. Матишов. Трансформация донской казачьей верхушки в 1770–1780-е годы. № 12.

В.К. Воронов. Ядерный магнитный резонанс в Иркутском институте химии СО РАН. № 9.

Е.Г. Застрожнова (Панкратова). К истории государственного учёта архивных материалов "врагов народа". 1938–1939 годы. № 5.

А.Л. Рижинашвили. Юбилейные даты российской экологии в 2021 году – на пути к экосистемному подходу. № 2.

А.Б. Санников, С.П. Глянцев. К биографии академика АМН СССР С.С. Юдина: за что был арестован всемирно известный хирург? № 4.

Этюды об учёных

Б.Г. Андрюков, Т.А. Кузнецова, Н.Н. Беседнова. Нестабильность генома и её роль в эволюции, адаптации и персистенции патогенных бактерий. *К 120-летию со дня рождения лауреата Нобелевской премии по физиологии и медицине 1983 г. Барбары Макклинток*. № 12.

А.А. Гусейнов. "Твоим я буду навсегда, меня родившая эпоха". *К 100-летию со дня рождения логика, философа, социолога А.А. Зиновьева*. № 10.

И.Н. Компанец. Пионер лазерной эры. *К 100-летию со дня рождения академика Н.Г. Басова*. № 12.

Е.В. Минина. Основатель инструментальной сейсмологии. *К 160-летию со дня рождения академика Б.Б. Голицына*. № 3.

О.Т. Русинек, В.Н. Моложников. Для меня жизнь, мой дом, моя судьба. *К 100-летию со дня рождения академика Г.И. Галазия*. № 5.

А.А. Свистунов, М.А. Осадчук, Е.Д. Миронова. Патологоанатом, философ, клиницист. *К 135-летию со дня рождения академика АМН СССР И.В. Давыдовского.* № 10.

В мире книг

Р.С. Гиляревский. М.А. Акоев, В.А. Маркусова, О.В. Москалёва, В.В. Писляков. Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии. № 9.

Рецензируется: Д.О. Иванов, А.И. Мелуа, А.Д. Ноздрачев. Академики Победы. № 1.

Награды и премии

Большая золотая медаль имени Н.И. Пирогова Российской академии наук 2021 года. В.И. Сергиенко и Антонио Лломбарт-Бош (Испания). № 5.

Золотая медаль имени В.Л. Гинзбурга 2021 года – Л.М. Зелёному. № 5.

Золотая медаль имени П.П. Лукьяненко 2021 года – П.Н. Мальчикову. № 5.

Золотая медаль имени М.Ф. Иванова 2021 года – В.И. Трухачёву. № 5.

О присуждении медалей Российской академии наук с премиями для молодых учёных России и для студентов высших учебных заведений России по итогам конкурса 2020 года. № 3.

Премия имени А.Н. Колмогорова 2021 года – А.В. Булинскому. № 2.

Премия имени А.А. Шахматова 2021 года – Т.В. Гимону. № 5.

Премия имени С.С. Смирнова 2021 года – Н.А. Горячеву. № 5.

Премия имени А.Н. Несмеянова 2021 года – У.М. Джемилёву, В.А. Дьяконову, И.Р. Рамазанову. № 5.

Премия имени Е.В. Тарле 2021 года – И.Д. Звягельской, И.А. Свистуновой, Н.Ю. Суркову. № 5.

Премия имени Ю.А. Овчинникова 2021 года – М.П. Кирпичникову и Д.А. Долгих. № 9.

Премия имени Е.С. Варги 2021 года – З.А. Мамедьярову. № 5.

Премия имени А.А. Макарова 2021 года – Ю.Г. Прохорову. № 5.

Премия имени И.Е. Забелина 2021 года – Д.Г. Савинову. № 5.

Премия имени С.Ф. Ольденбурга 2021 года – Н.П. Свистуновой. № 5.

Премия имени С.А. Лебедева 2021 года – В.Г. Сиренко. № 5.

Премия имени А.А. Расплетина 2021 года – П.А. Созинову. № 5.

Премия имени М.И. Хаджинова 2021 года – Ю.В. Сотченко, Н.А. Орлянскому, Е.Ф. Сотченко. № 5.

Премия имени Д.С. Лихачёва 2021 года – Л.В. Титовой. № 5.

Премия имени Н.К. Кольцова 2021 года – В.А. Трифонову, С.А. Демакову, Г.В. Похолковой. № 5.

Премия имени Н.В. Рудницкого 2021 года – М.Ф. Фадеевой, Л.В. Воробьёвой, А.А. Фадееву. № 2.

Премия имени Н.С. Шатского 2021 года – Н.П. Чамову. № 9.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Абрамова И.О.	9	837
Авакян С.В.	4	372
Авдеев М.В.	2	140
Авдеев С.Н.	7	661
Аверьянов А.В.	7	671
Аветисян А.И.	12	1119
Акаев А.А.	9	877
	12	1133
Акимкин В.Г.	7	647
Александров Е.Б.	5	440
Алексеев А.Ю.	8	766
Алексеев Б.Я.	8	722
Ананьев В.Г.	9	900
Андреева О.В.	6	509
Андрюков Б.Г.	12	1178
Андрющенко С.В.	10	869
Арефьев А.Л.	3	238
Аржаков М.С.	1	15
	10	961
Бадина С.В.	4	303
Барабанова Е.А.	3	256
	6	583
Баранова Л.А.	4	372
Басаргина Е.Ю.	3	228
Бахтизин А.Р.	5	458
Башлаков-Николаев И.В.	10	919
Белоновская Е.А.	6	540
Беседнова Н.Н.	12	1178
Богданов А.Н.	1	23
Бондаренко Д.М.	1	86
Борисевич С.В.	7	636
Брушков А.В.	4	303
Бутовская М.Л.	8	790
Бухарин М.Д.	9	900
Бухарин О.В.	9	869
Бычков И.В.	4	315
Вараксин М.В.	8	775
Васильева О.Ю.	7	633
Великин С.А.	4	303
Венков А.В.	12	1189
Верниковский В.А.	9	825
Виноградова М.М.	6	602
Воевода М.И.	8	766
Воробьёв М.А.	6	602
Воронов В.К.	9	893
Георгиади А.Г.	6	583
Георгиев Г.П.	11	1076
Гиляревский Р.С.	9	911
Гладкочуб Д.П.	9	825
Глупов В.В.	8	766
Глянцев С.П.	4	394
Голосов В.Н.	6	593
Горбунов Р.В.	2	181
Горюшкина Е.А.	1	35
Горячев Н.А.	9	825
Горячкин С.В.	6	564
Грибова В.В.	8	781
Гринёв А.В	4	339
Гришин И.В.	9	849
Гусарова О.В.	10	971
Гусейнов А.А.	10	994
Данилевская О.В.	7	671
Данилов-Данильян В.И.	12	1124
Диденко А.Н.	9	825
Долгов С.В.	6	583
Донник И.М.	8	760
Драпкина О.М.	7	691
Дроздов Д.С.	4	303
Дубровин В.А.	4	303
Дятлова А.С.	10	950
Дьяков А.С.	3	246
Дьяконов К.Н.	6	522
Егоров М.П.	2	103
Ермаков А.М.	8	760
Жарков Д.О.	8	737
Жданеев О.В.	4	303
Железняк М.Н.	4	303
Журавель С.В.	7	678
Заварухин В.П.	10	919
Заикина Г.А.	5	424
Зайцева И.С.	3	256
	6	583
Заклязьминская Е.О.	9	885
Зарук Н.Ф.	2	140
Застрожнова (Панкратова) Е.Г.	5	474
Захаров А.Л.	6	572

Зацепин О.В.	8	747
Иванова Е.В.	9	869
Ивченко Е.В.	7	699
Инге-Вечтомов С.Г.	5	449
Ишмухаметов А.А.	8	717
Кабышев С.В.	7	625
Каминский Г.Д.	8	747
Каприн А.Д.	8	722
Карамов Э.В.	8	747
Каронова Т.Л.	7	686
Карпова О.В.	8	731
Кашутина Е.А.	6	583
Кирпичников М.П.	5	407
Киш Л.К.	8	760
Кобяков К.Н.	6	540
Ковалёв Р.И.	8	781
Ковтун О.П.	8	775
Комкова Е.Г.	10	984
Компанец И.Н.	12	1167
Кондари А.О.	7	686
Кондратов Д.И.	4	360
Константинов Е.А.	6	572
Коронкевич Н.И.	3	256
	6	583
Корнева Е.А.	10	950
Корнийчук Ю.М.	2	181
Кораблёв В.В.	12	1133
Косачёв К.И.	7	620
Котов А.Б.	9	825
Кренке А.Н.	6	540
Крюков Е.В.	7	699
Кубрин А.А.	7	621
Куделин А.Б.	2	118
Кудрявцев А.М.	5	407
Кузнецов М.Е.	4	303
Кузнецова А.Н.	9	825
Кузнецова Т.А.	12	1178
Кузьмин М.И.	9	825
Кульчин Ю.Н.	8	781
Курбанов Р.Н.	6	572
Курцер М.А.	8	709
Куст Г.С.	6	509
Кутузов С.С.	6	602
Лавровский Б.Л.	1	35
Лебедев В.Н.	7	636
Лебедев С.Н.	8	747
Лебедева Е.В.	6	593
Легран М.	6	602
Лила А.М.	7	654
Лисицын-Светланов А.Г.	2	125
	10	919
Лихачёва Э.А.	6	593
Лобковский В.А.	6	509
Лось В.А.	4	350
Мазнева Е.А.	6	572
Маслова В.В.	2	140
Макаров В.А.	8	756
Макаров В.Л.	5	458
Максимов А.Л.	2	103
	10	930
Максимов С.В.	10	919
Матишов Г.Г.	12	1189
Медведев Д.А.	7	617
Мельников В.П.	4	303
Мешков И.Н.	3	213
Мизерханов В.С.	12	1157
Милюкова И.П.	6	583
Минина Е.В.	3	287
Миронова Е.Д.	10	1008
Михаленко В.Н.	6	602
Моисеева Е.М.	2	150
Моложников В.Н.	5	479
Морозова П.А.	6	572
Московская Д.С.	2	118
Мохов И.И.	1	3
Музафаров А.М.	2	103
Насонов Е.Л.	7	654
Нефёдова Т.Г.	6	551
Нигматулин Р.И.	8	817
Никитин Н.А.	8	731
Нифантьев Н.Э.	2	103
Новикова Н.С.	10	950
Носков А.С.	10	940
Оганов А.Р.	9	825
Онищенко Г.Г.	7	636
Окунь Д.Б.	8	781
Осадчук М.А.	10	1008
Осокин А.Б.	4	303

Осипов В.И. 4 303
Остарков Н.А. 4 303

Панкова Л.В. 10 971
Перепелов А.Б. 9 825
Перунова Н.Б. 9 869
Петриков С.С. 7 678
Петров О.В. 9 825
Петряева М.В. 8 781
Петушкова В.В. 4 384
Пирожкова С.В. 3 265
Полтерович В.М. 5 431
Попов В.О. 8 756
Попов С.С. 3 220
4 324
Попова А.Ю. 7 626
Попугаев К.А. 7 678
Порфирьев Б.Н. 5 415
Поспелова Н.В. 2 181

Решетников М.Г. 5 413
Рижинашвили А.Л. 2 171
Романова В.В. 2 125
Романюха А.А. 8 747
Ростовская Т.К. 12 1145
Рудской А.И. 12 1133
Русинек О.Т. 5 479
Русинов В.Л. 8 775
Рыкованов Г.Н. 8 747
Рябков С.А. 7 624
Рязанцев С.В. 2 150

Садовничий В.А. 9 877
Садуртдинов М.Р. 4 303
Салицкая Е.А. 5 451
Салицкий А.И. 5 451
Салухов В.В. 7 699
Самсонов М.Ю. 7 654
Санников А.Б. 4 394
Сарыгулов А.И. 12 1133
Свистунов А.А. 10 1008
Семёнова Т.В. 7 622
Сергеев А.М. 7 615
Сергеев Д.О. 4 303
Сергеева Н.С. 8 722
Сизикова Т.Е. 7 636
Скворцова В.И. 7 629
Смелянский Р.Л. 1 46
Соболев Н.А. 6 540
Соколовский С.В. 2 131
Спасов А.А. 8 775
Спивак М.Л. 2 118
Стародубова А.В. 2 162
Степанов В.В. 8 790
Стрелецкий В.Н. 6 551
Сунцов В.В. 9 860
Сушко Е.Д. 5 458
Сушко Г.Б. 5 458
Сычёв Н.В. 6 572

Тавокин Е.П. 5 467
Терехов А.И. 1 74
Титова С.В. 6 540
Тишков А.А. 6 500
Тишков В.А. 8 790
Тодосийчук А.В. 3 201
Трейвиш А.И. 6 551
Тришкин Д.В. 7 699
Трунов Ф.О. 12 1157
Тункина И.В. 3 228
4 332

Устинова Е.В. 4 303
Ушачев И.Г. 2 140

Фальков В.Н. 7 618
Федотов П.А. 7 686
Фереферов Е.С. 4 315
Фёдоров Р.Ю. 4 303
Фитуни Л.Л. 9 837
Фролов К.Н. 4 303
Фролова Т.С. 6 583

Хабриева Т.Я. 8 803
Хайрединова А.Г. 6 602
Харченко С.В. 6 593
Храмов-Борисов Н.Н. 5 440
Хорошев А.В. 6 522
Хохлов А.Р. 1 15
10 961

Цапенко И.П. 9 849
Цветков А.С. 1 57
Цивадзе А.Ю. 2 103

Чарушин В.Н.	8	775
Чвала И.А.	8	760
Черешнев В.А.	3	201
	10	950
Черногор Н.Н.	8	803
Четверушкин Б.Н.	8	747
Чжан Р.В.	4	303
Чибилёв А.А.	6	532
Чупахин О.Н.	8	775
Шабунова А.А.	12	1145
Шалфеева Е.А.	8	781
Шапоренко С.И.	6	583
Шарков Б.Ю.	3	213
Шацкий В.С.	9	825
Шварев С.В.	6	593
Шегай П.В.	8	722
Шестопалов А.М.	8	766
Шильцин Е.А.	1	35
Широв А.А.	5	415
	8	809
Шляхто Е.В.	7	686
	12	1105
Фейгин А.М.	8	747
Юсупова Т.И.	3	275
Юшков Б.Г.	10	950
Юкина С.К.	8	737
Явелов И.С.	7	691
Ярмолюк В.В.	9	825
Ярославов А.А.	1	15
	10	961