

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ – РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ»
(ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ)**

ИННОВАТИКА И ЭКСПЕРТИЗА

Выпуск 1 (29)

МОСКВА 2020

Editor-in-chief

G.I. Bakhturin, General Director of SRI FRCEC, Doctor of Engineering

Deputy Chief Editor

P.B. Melnik, Deputy General Director of SRI FRCEC for R&D, Doctor of Engineering

Members of Board

I.I. Kurochka, Scientific Secretary, Doctor of Physics and Mathematics;

N.A. Mironov, Director of Centre, Doctor of Engineering;

Yu.P. Rybakov, Director of Centre, Doctor of Engineering, Ph.D.;

T.I. Turko, Director of Centre, Doctor of Biology;

A.B. Logunov, Director of Centre, Doctor of Military Sciences;

A.M. Mironov, Head of Main Department, Ministry of Defence of Russian Federation;

A.M. Tishin, Professor of Lomonosov Moscow State University

Members of Technical Edition

A.A. Tugarinov, Executive Technical Editor for the collection;

G.G. Rodionova, Responsible for work with reviewers;

V.V. Tsukanova, Technical Editor;

A.V. Sokolova, Corrector;

V.E. Geluta, Translator

Extended information about members of the Editorial Board is presented at the website: www.inno-exp.ru.

Главный редактор

Г.И. Бахтурин, генеральный директор ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук

Зам. гл. редактора

П.Б. Мельник, зам. ген. директора ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по научной работе, канд. техн. наук

Члены редколлегии

И.И. Курочка, ученый секретарь, канд. физ.-мат. наук;

Н.А. Миронов, директор центра, канд. техн. наук;

Ю.Л. Рыбаков, директор государственного центра, канд. техн. наук, д-р биол. наук;

Т.И. Турко, директор центра, канд. биолог. наук;

А.Б. Логунов, директор центра, канд. воен. наук;

А.М. Миронов, начальник Главного управления Минобороны России, канд. техн. наук;

А.М. Тишин, проф. физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р физ.-мат. наук

Члены технической редакции

А.А. Тугаринов, отв. техн. редактор;

Г.Г. Родионова, отв. за работу с рецензентами;

В.В. Цуканова, техн. редактор;

А.В. Соколова, корректор;

В.Е. Гелюта, переводчик

Расширенная информация о членах редколлегии представлена на сайте: www.inno-exp.ru.

Innovatics and Expert Examination. The scientific works of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services» (SRI FRCEC). Moscow. SRI FRCEC, 2020. Vol. 1 (29). 185 p.

The collection publishes scientific works of employees of the FSBI SRI FRCEC, experts of the Federal Roster of Experts in scientific and technological fields, as well as representatives of other scientific, educational and industrial organizations on topical issues for Russia in the field of innovation, scientific, scientific&technological and special expert examination, organization of scientific and economic activity, engineering and technology as well as national security.

In this issue, the authors have presented the results of studies related to the legal regulation of expert activities, the methodology for monitoring scientific achievements, staffing the economy in the context of the transition to innovative development, problems of the development of environmental entrepreneurship, issues of organizing networking in the field of science, etc.

Published materials may be of interest to managers of various ranks, researchers and teachers, applicants for scientific degrees and university students.

ISSN 1996-2274

© SRI FRCEC, 2020

DOI 10.35264/1996-2274

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1

EAN-13: 9771996227771

This collection was registered on 12 April 2007 in ROSOHRANKULTURA Agency PINº FS77-27730.

Editorial Address: 123317, Moscow, Antonov-Ovseenko St., 13, Bldg. 1

Tel.: (499) 259-69-92, **Fax:** (499) 256-45-41

E-mail: info@extech.ru

http: <http://www.extech.ru>

Инноватика и экспертиза. Научные труды Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» (ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ). М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2020. Вып. 1 (29). 185 с.

В сборнике публикуются научные труды сотрудников ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, экспертов Федерального реестра экспертов научно-технической сферы, а также представителей других научных, образовательных и производственных организаций по актуальным для России проблемам в области инноватики, научной, научно-технической и специальной экспертизы, организации научной и хозяйственной деятельности, техники и технологий, национальной безопасности.

В данном выпуске авторы представили результаты исследований, связанных с правовым регулированием экспертной деятельности, методологией мониторинга научных достижений, кадровым обеспечением экономики в условиях перехода к инновационному развитию, проблемами развития экологического предпринимательства, вопросами организации сетевого взаимодействия в сфере науки и др.

Публикуемые материалы могут представлять интерес для руководящих работников различного ранга, научных работников и преподавателей, соискателей научных степеней и студентов вузов.

ISSN 1996-2274

© ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2020

DOI 10.35264/1996-2274

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1

EAN-13: 9771996227771

Сборник зарегистрирован 12 апреля 2007 г. в Росохранкультуре, ПИ № ФС77-27730.

Адрес редакции: 123317, г. Москва, ул. Антонова-Овсеенко, д. 13, стр. 1

Тел.: (499) 259-69-92, **факс:** (499) 256-45-41

E-mail: info@extech.ru

http: <http://www.extech.ru>

CONTENTS

INNOVATION: THEORY AND PRACTICE

T.I. Turko, V.F. Fedorkov, N.N. Odintsova, G.G. Rodionova, O.V. Fakhurdinov, A.A. Timokhin. Methodological support for state registration of small innovative enterprises established at universities and research organizations	10
S.G. Lebedev. Nano graphite film-controlled electrical switch	18
I.I. Ryabtsev, S.P. Yurkevichyus, A.E. Gritsenko. Problems and prospects of creation of quantum communication systems	27
T.I. Turko, V.F. Fedorkov, N.N. Odintsova, G.G. Rodionova, O.V. Fakhurdinov, A.A. Timokhin. Methodological support for monitoring the activities of small innovative enterprises created in the field of education and science of Russia	34

EXPERT EXAMINATION AND ANALYTICAL ACTIVITY

R.R. Ilyushchenko, P.B. Melnik. The reliability of expert assessments during examination of scientific, technological and innovative projects in the information system of the Federal roster of experts	46
N.A. Mironov, E.A. Maryshev, N.A. Divueva. New approaches to the organizational and technical support of the examination of competitive applications for state support in the form of grants of the President of the Russian Federation to young Russian scientists – doctors of sciences and philosophy doctors (Doctors and Ph. D.) and leading scientific schools	59
B.V. Ivanov, S.V. Kristalinskaya, E.A. Gladysheva, I.S. Kirilovskaya, O.V. Shekhanova, D.A. Dobrynin. Comparative analysis of the results of the 2019 and 2020 competitions for the right to receive grants from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – doctors of sciences and philosophy doctors (Ph.D.)	68
R.M. Rasulov, V.M. Gukasov, L.L. Myakinkova, T.A. Snisarenko, S.A. Golovanov, M.M. Rasulov. Modern views on the possibilities of using adaptogens	77
D.S. Zhukov, S.K. Lyamin, N.S. Barabash. System and dynamic model of reproduction of the regional elites in the USSR and Russia	90

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Т.И. Турко, В.Ф. Федорков, Н.Н. Одинцова, Г.Г. Родионова, О.В. Фахурдинов, А.А. Тимохин. Методологическое сопровождение мероприятий по государственному учету малых инновационных предприятий, созданных при вузах и научных организациях	10
С.Г. Лебедев. Управляемый электрическим током переключатель на основе нанографитовой пленки	18
И.И. Рябцев, С.П. Юркевичюс, А.Е. Гриценко. Проблемы и перспективы создания квантовых систем связи	27
Т.И. Турко, В.Ф. Федорков, Н.Н. Одинцова, Г.Г. Родионова, О.В. Фахурдинов, А.А. Тимохин. Методологическое сопровождение мероприятий по мониторингу деятельности малых инновационных предприятий, созданных в сфере образования и науки России	34

ЭКСПЕРТИЗА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Р.Р. Илющенко, П.Б. Мельник. Достоверность экспертных оценок при проведении экспертизы научно-технических и инновационных проектов в информационной системе федерального реестра экспертов	46
Н.А. Миронов, Е.А. Марышев, Н.А. Дивуева. Новые подходы к организационно-техническому обеспечению экспертизы конкурсных заявок на получение государственной поддержки в виде грантов Президента Российской Федерации молодым российским ученым — кандидатам и докторам наук и ведущим научным школам	59
Б.В. Иванов, С.В. Кристаллинская, Е.А. Гладышева, И.С. Кириловская, О.В. Шеханова, Д.А. Добрынин. Сравнительный анализ результатов конкурсов 2019 и 2020 гг. на право получения грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук и докторов наук	68
Р.М. Расулов, В.М. Гукасов, Л.Л. Мякинкова, Т.А. Снисаренко, С.А. Голованов, М.М. Расулов. Современные представления о возможностях применения адаптогенов ..	77
Д.С. Жуков, Д.Г. Сельцер, Н.С. Барабаш. Системно-динамическая модель воспроизводства региональных элит в СССР и России	90

ECONOMY AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

- G.S. Evtushenko, A.V. Klimkin, M.E. Levitsky, V.F. Tarasenko, M.V. Trigub.** AMPL international conference (1992–2019) and its role in the development of physics and technology of pulsed lasers, as well as their applications 103
- A.V. Lysenko, I.O. Lysenko, T.V. Osipova.** Substantiation of the need for organization of a specially protected natural territory in the Neftecum city district of Stavropol region 111
- A.P. Zubarev, A.K. Skuratov.** Reachability of the indicators of the «Development of national intellectual capital» subprogram of the state program «Scientific and technological development of the Russian Federation» taking into account the mathematical modeling of demographic processes 118

ENGINEERING AND TECHNOLOGY

- L.N. Olshanskaya, R.Sh. Valiev, T.V. Osipova.** A method for accelerating electrochemical phytoremediation of wastewater from heavy metal ions when exposed to phytosorbent plants by physical fields 132
- L.N. Olshanskaya, I.A. Tiltigin, T.V. Osipova.** Efficiency of cleaning of chrome-containing waste water in galvanic production 144
- O.A. Belov, A.O. Shuvaeva, S.A. Klementyev, A.V. Fedin.** Operational control of the state of anti-corrosion protection as a factor in the safety of technical operation of marine vessels 152
- A.V. Titova, E.G. Mirlin, E.V. Khotchenkov, G.I. Titov.** Assistance of the state geological museum of RAS named after V.I. Vernadsky to the teaching community based on digital technology 160

NATIONAL SECURITY

- D.B. Izyumov, E.L. Kondratyuk.** Scientific and technological problems of the development of cybersecurity technologies abroad 169
- D.B. Izyumov, E.L. Kondratyuk.** Security threats in the aerospace environment abroad and methods for countering them 178

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Г.С. Евтушенко, А.В. Климкин, М.Е. Левицкий, В.Ф. Тарасенко, М.В. Тригуб. Международная конференция AMPL (1992–2019 гг.) и ее роль в развитии физики и техники импульсных лазеров, а также их применения	103
А.В. Лысенко, И.О. Лысенко, Т.В. Осипова. Обоснование необходимости организации особо охраняемой природной территории в Нефтекумском городском округе Ставропольского края	111
А.П. Зубарев, А.К. Скуратов. Достижимость индикаторов подпрограммы «Развитие национального интеллектуального капитала» Госпрограммы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» с учетом математического моделирования демографических процессов	118

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Л.Н. Ольшанская, Р.Ш. Валиев, Т.В. Осипова. Метод ускорения электрохимической фиторемедиации сточных вод от ионов тяжелых металлов при воздействии на растения-фитосорбенты физическими полями	132
Л.Н. Ольшанская, И.А. Тильтигин, Т.В. Осипова. Повышение эффективности очистки хромсодержащих сточных вод гальванопроизводств	144
О.А. Белов, А.О. Шуваева, С.А. Клементьев, А.В. Федин. Оперативный контроль состояния антикоррозионной защиты как фактор безопасности технической эксплуатации морских судов	152
А.В. Титова, Е.Г. Мирлин, Е.В. Хотченков, Г.И. Титов. Содействие государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН преподавательскому сообществу на основе цифровых технологий	160

НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Д.Б. Изюмов, Е.Л. Кондратюк. Научно-технические проблемы развития технологий кибербезопасности за рубежом	169
Д.Б. Изюмов, Е.Л. Кондратюк. Угрозы безопасности в воздушно-космической среде за рубежом и методы их парирования	178

ИННОВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-10-17

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ГОСУДАРСТВЕННОМУ УЧЕТУ МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, СОЗДАНЫХ ПРИ ВУЗАХ И НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Т.И. Турко, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. биол. наук, *ttamara16@extech.ru*

В.Ф. Федорков, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *fedorkov@extech.ru*

Н.Н. Одинцова, вед. инж. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *nno.ru@mail.ru*

Г.Г. Родионова, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. эконом. наук,
rodionova@extech.ru

О.В. Фахурдинов, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *olegator@extech.ru*

А.А. Тимохин, ст. инж.-прогр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *timohinaa@extech.ru*

Рецензент: **Ю.Н. Андреев**

В статье изложены результаты работ, связанные со статистикой учета уведомлений, формированием реестра учета уведомлений о создании малых инновационных предприятий.

Ключевые слова: малое инновационное предприятие, хозяйственное общество, хозяйственное партнерство, результаты интеллектуальной деятельности, учет уведомлений о создании малых инновационных предприятий, реестр учета уведомлений о создании малых инновационных предприятий, интерактивная информационная система.

METHODOLOGICAL SUPPORT FOR STATE REGISTRATION OF SMALL INNOVATIVE ENTERPRISES ESTABLISHED AT UNIVERSITIES AND RESEARCH ORGANIZATIONS

T.I. Turko, Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Biology, *ttamara16@extech.ru*

V.F. Fedorkov, Head of Department, SRI FRCEC, *fedorkov@extech.ru*

N.N. Odintsova, Leading Engineer, SRI FRCEC, *nno.ru@mail.ru*

G.G. Rodionova, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Economics,
rodionova@extech.ru

O.V. Fakhurdinov, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, *olegator@extech.ru*

A.A. Timokhin, Senior Software Engineer, SRI FRCEC, *timohinaa@extech.ru*

The article presents the results of work related to statistics of notifications' registration and formation of Registration Roster of notifications for creation of small innovative enterprises.

Keywords: small innovative enterprise, business society, economic partnership, results of intellectual activity, registration of notifications for creation of small innovative enterprises, registration roster of notifications for creation of small innovative enterprises, interactive information system.

Малые инновационные предприятия (МИП) — хозяйственные общества (ХО) и хозяйственные партнерства (ХП), — созданные в научно-образовательной сфере для практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности (РИД) [1, 2], вносят

положительный вклад в инновационную экономику, отличаясь высокой способностью быстро реагировать на изменения рынка.

Федеральными законами от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» и от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [3, 4] на Минобрнауки России возложено ведение учета уведомлений о создании малых инновационных предприятий в научно-образовательной сфере для практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности.

Приказами Минобрнауки России [5, 6] обеспечение этих функций и полномочий передано ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ: учет уведомлений о создании МИП, размещение сведений о создании МИП в сети Интернет и ежеквартальное формирование Реестра учета уведомлений о создании МИП для дальнейшего предоставления в налоговые органы.

По состоянию на 01.11.2019 в базу данных включено 2498 уведомлений о создании МИП: 2245 МИП создано в 303 высших учебных заведениях, в 141 НИИ создано 274 МИП, совместно научными учреждениями и высшими учебными заведениями созданы 21 МИП.

Наибольшее число ХО (ХП) создано в системе Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 329 вузов и научных учреждений (74,1% от числа всех учреждений) создали 2087 МИП (83,1% от общего числа созданных).

В уставные капиталы МИП учредителями внесено право использования более 2904 РИД.

Деятельность МИП научно-образовательной сферы находится в центре постоянного внимания со стороны Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, которое проводит ежегодный мониторинг их эффективности и совершенствует законодательство в данной сфере.

Анализ учета уведомлений о создании малых инновационных предприятий

ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ ведет учет уведомлений о создании МИП с использованием интерактивной информационной системы «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы», размещенной на сайте: <https://mip.extech.ru>.

База данных учета уведомлений о создании МИП в согласованном с Минобрнауки России формате размещается на главной странице сайта на вкладке «База данных МИП» и актуализируется в режиме онлайн.

На диаграммах (рис. 1–5) показана статистика создания ХО (ХП) в различных разрезах по состоянию на 01.11.2019.

В системе постоянно актуализируется в режиме реального времени и формируется информация в формате, которая содержится на диаграммах рис. 1–5.

Статистика учета уведомлений о создании ХО (ХП) подтверждает тенденцию к существенному снижению темпов создания новых ХО (ХП). Высокие темпы количественного роста ХО (ХП) сменились стабилизацией. Наиболее активно создание ХО (ХП) происходило в период 2010–2011 гг. и стало относительно слабым к 2019 г. В 2010 г. было создано 427 ХО (ХП), в 2011 г. – 461 ХО (ХП), в 2018 г. – 95 ХО (ХП), в 2019 г. – всего 40 ХО (ХП). Этот процесс связан не только с экономическими причинами, но и с недостаточностью в вузах кадрового потенциала, готового заниматься предпринимательской деятельностью.

Анализ факторов, ведущих к ликвидации МИП

Проведен также анализ факторов, ведущих к ликвидации МИП. Он состоял в выявлении общих причин для ликвидации МИП. Всего за годы действия Федерального закона от 02.08.2009 № 217-ФЗ [1] (2009–2019 гг.) было ликвидировано 894 МИП.

Все ликвидированные МИП были экономически неудачными. В составе действующих МИП после проведения ликвидации остается, как правило, еще несколько предприятий, не имеющих доходов и с неясной перспективой их получения в дальнейшем.

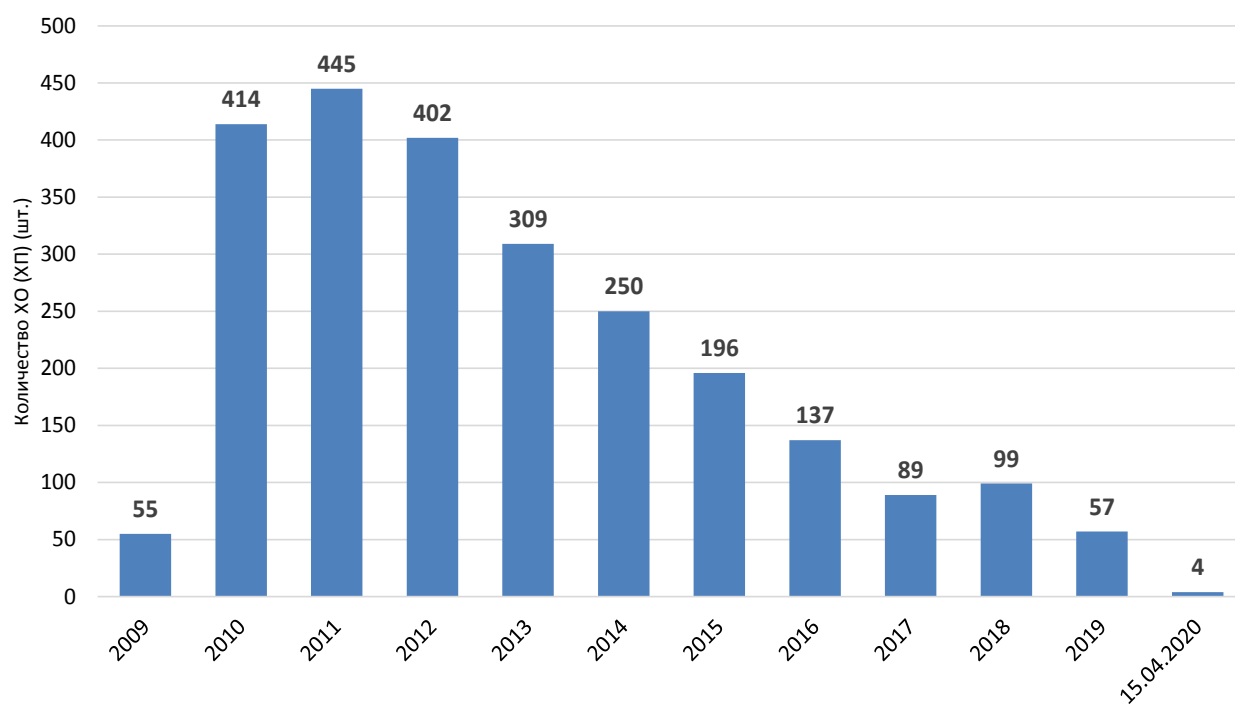


Рис. 1. Динамика создания хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств по годам

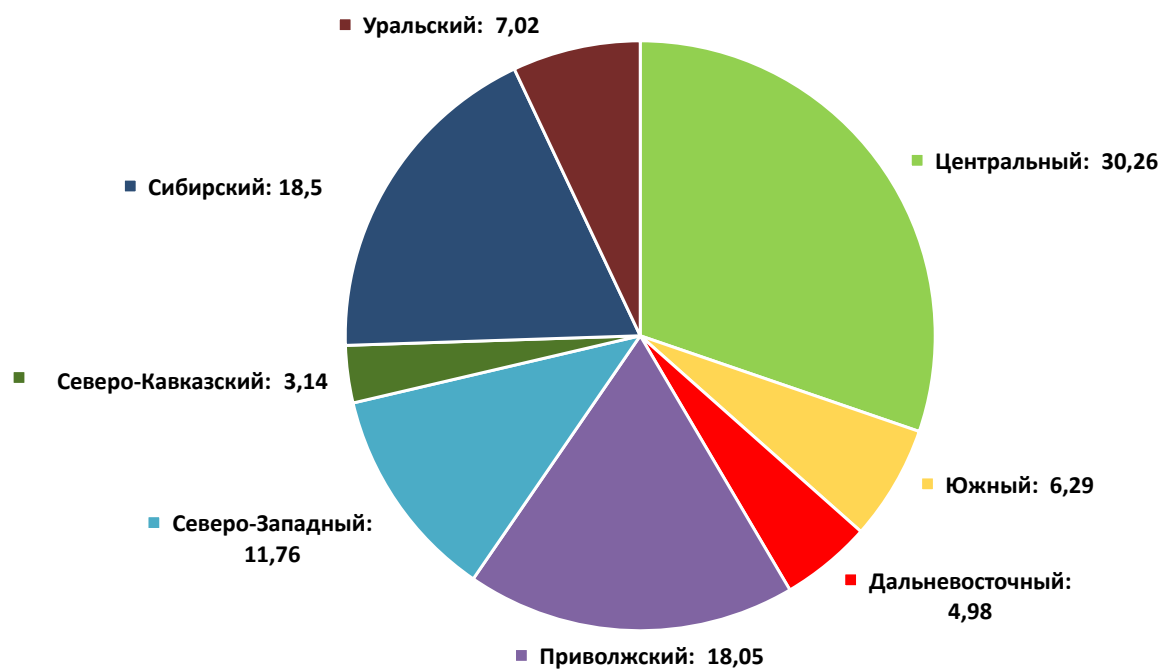


Рис. 2. Распределение хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств по федеральным округам, %

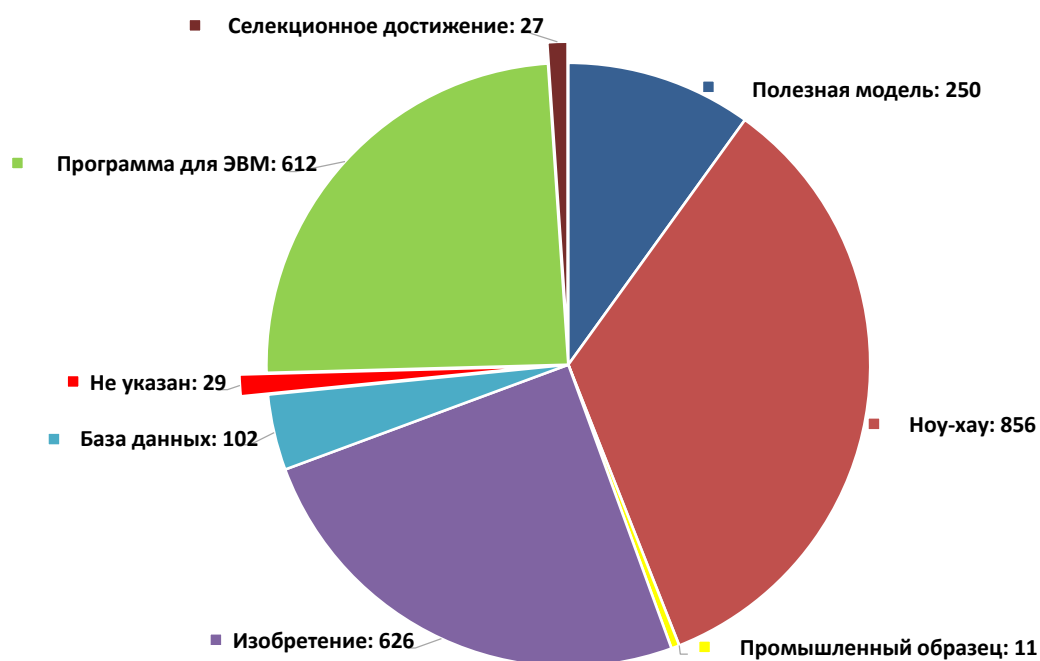


Рис. 3. Количество хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств по видам РИД

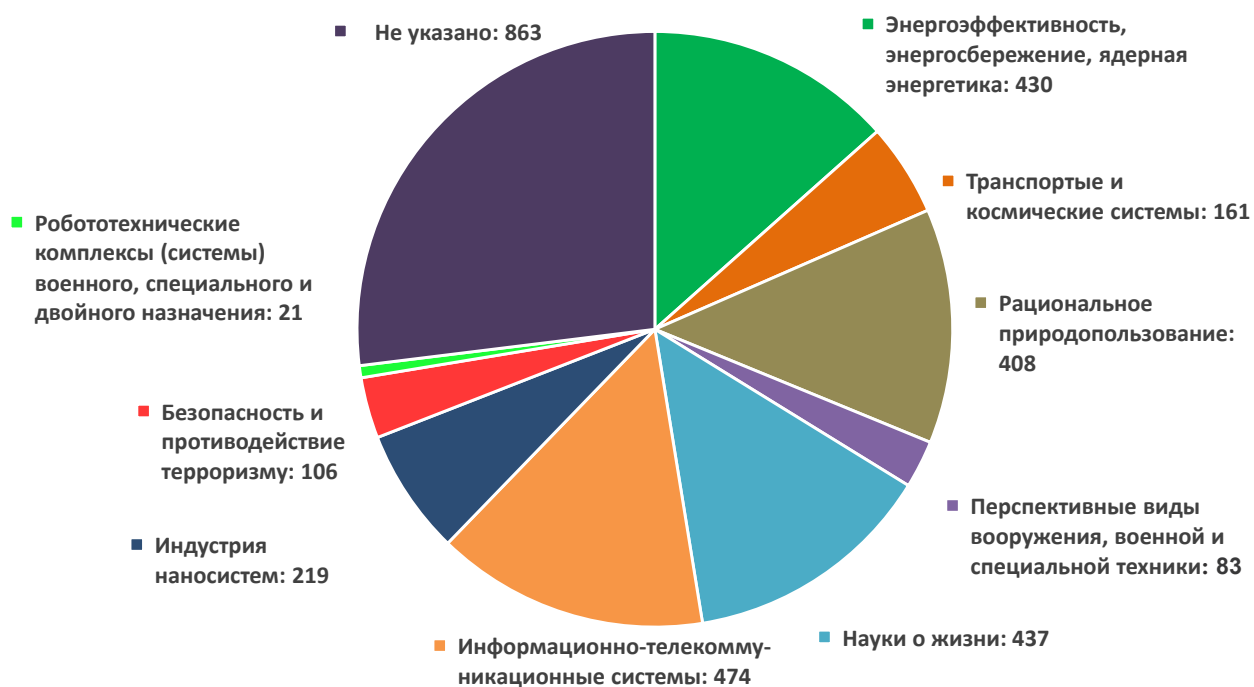


Рис. 4. Количество хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники

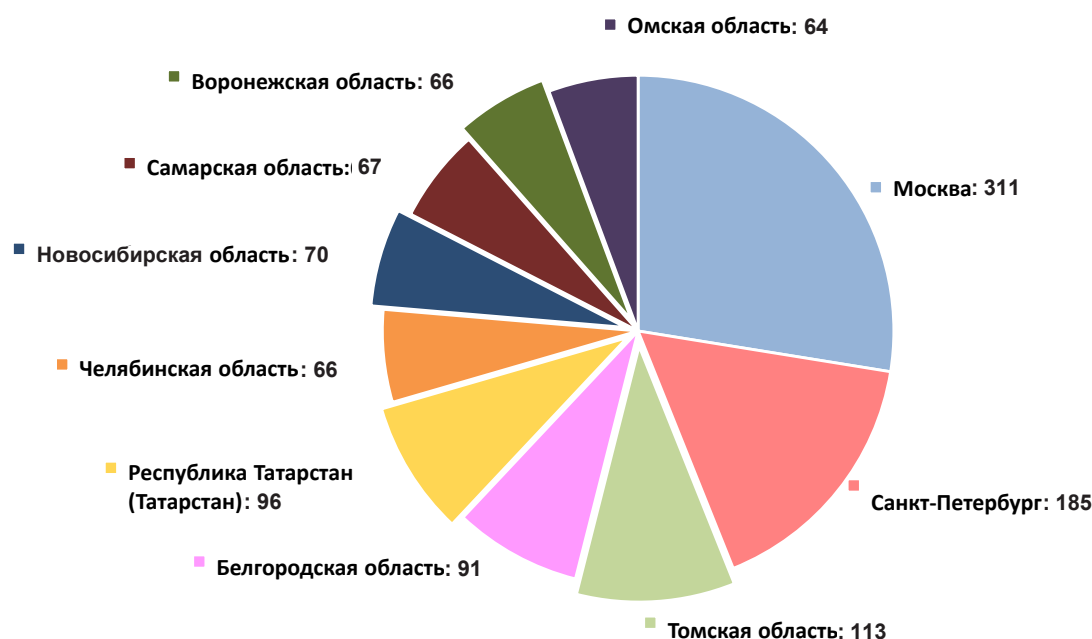


Рис. 5. Десять субъектов Российской Федерации, в которых создано наибольшее количество ХО и ХП

Созданные МИП, за редким исключением, не выходили на внешние рынки и не стали самостоятельными в финансовом отношении. В то же время они продолжают сохранять связи с учредителем и участвуют в выполнении работ учредителя. В этих условиях учредитель не ощущает неудобств от наличия МИП, не получающих доходы, так как рассматривает их как часть собственной структуры. Инициативу по ликвидации МИП, не получающих доходы, проявляет налоговая служба.

Учредители не проявляют инициативы в полной зачистке несостоявшихся МИП. Причины терпимого отношения учредителей:

- отсутствие дополнительных расходов, связанных с содержанием слабых предприятий, имеющих незначительные штаты (1–2 человека);
- слабые предприятия независимо от экономических результатов деятельности улучшают отчетность учредителей;
- среди слабых в экономическом отношении предприятий имеется значительная доля таких, которые реально получили РИД высокого технологического уровня с хорошей перспективой развития, но по каким-либо причинам этот потенциал пока не удалось реализовать.

Объективно факторы, препятствующие реализации планов развития МИП, осознают и учредители, выделяя из них два главных: недостаточную подготовку рынка, недостаточное внимание к подготовке продукта (качество, цена).

К вышесказанному следует добавить необходимость планирования и подготовки рынка. Предприятия, ориентированные на здравоохранение и экологию, следует согласовывать с региональными программами по развитию здравоохранения, медицины, условий жизни. Предприятия технического профиля могут быть самостоятельными и успешными, если они ориентированы на оказание услуг для открытого рынка, но в случае реализации новых высоких технологий необходимо с помощью учредителей встраиваться в кластеры.

Формирование Реестра учета уведомлений о создании ХО (ХП) в целях последующей его передачи в налоговые органы

Федеральным законом от 24.07.2007 № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» [7] на Минобрнауки России возложено предоставление сведений в Единый (годовой, электронный) реестр субъектов малого и среднего предпринимательства по состоянию на 1 июля текущего календарного года о создании ХО (ХП) в формате, определенном Федеральной налоговой службой.

В 2019 г. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ сформирован перечень ХО (ХП) по состоянию на 01.07.2019 в соответствии с форматом, утвержденным Приказом Федеральной налоговой службы от 08.05.2018 № ММВ-7-6/252@ «Об утверждении Рекомендуемого формата предоставления сведений поставщиками для целей ведения Единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства в электронной форме». Перечень представлен в Минобрнауки России 01.07.2019 (исх. № 350) и далее включен в Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства в электронной форме Федеральной налоговой службы (ФНС).

Кроме того, ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ в 2019 г. в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 04.03.2011 № 146 [8] ежеквартально формировался Реестр с использованием соответствующих средств информационной системы и направлялся в Минобрнауки России для дальнейшей его передачи в ФНС. Реестр за очередной квартал, подписанный заместителем Министра образования и науки Российской Федерации, размещается в информационной системе (<https://mip.extech.ru>) на вкладке «Реестр ХО (ХП)».

За I квартал 2019 г. Реестр содержал сведения о 2913 ХО (ХП) (письмо, исх. Минобрнауки России в ФНС от 08.04.2019 № МН-793/ГТ).

За II квартал 2019 г. Реестр содержал сведения о 2928 ХО (ХП) (письмо, исх. Минобрнауки России от 15.07.2019 № МН-1560/ГТ).

За III квартал 2019 г. Реестр содержал сведения о 2955 ХО (ХП) (письмо, исх. Минобрнауки России от 08.10.2019 № МН-2174/ГТ).

За IV квартал 2019 г. Реестр содержал сведения о 2960 ХО (ХП) (письмо, исх. Минобрнауки России от 13.01.2020 № МН-23/1-ГТ).

Налоговым кодексом Российской Федерации (ч. 2, раздел VIII, гл. 34, ст. 427) [9] установлены пониженные тарифы страховых взносов для ХО (ХП), созданных в научно-образовательной сфере и включенных в Реестр, в том числе на обязательное пенсионное страхование в 2017 г. — 8,0%, в 2018 г. — 13,0%, 2019 г. — 20,0%.

На начало 2020 г. льгот по уплате МИП страховых платежей не было предусмотрено.

Выводы и предложения

В настоящее время высокие темпы количественного роста МИП сменились стабилизацией. Этот процесс связан не только с экономическими причинами, но и с недостаточностью кадрового потенциала в вузах, готового заниматься предпринимательской деятельностью. Одновременно идет процесс ликвидации неэффективных МИП. За годы действия Федерального закона от 02.08.2009 № 217-ФЗ [1] (2009–2019 гг.) было ликвидировано 894 МИП.

В составе РИД, право использования которых вносилось в уставные капиталы, высока доля изобретений, а в формулировках названий РИД преобладает термин «способ», т.е. речь идет о высокой степени готовности новых технологий.

Учитывая, что на начало 2020 г. льгот по уплате МИП страховых платежей не было предусмотрено, необходимо рекомендовать Министерству науки и высшего образования Российской Федерации выступить с инициативой о продлении действия указанных в Налоговом кодексе Российской Федерации льгот для ХО (ХП) на 2020 г. и последующие годы, для чего включить в план законопроектной деятельности Минобрнауки России подготовку соответствующего законопроекта.

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания 2020 г. № 075-01394-20-02.

Список литературы

1. Федеральный закон от 02.08.2009 № 217-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности» // URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 23.03.2020).
2. Федорков В.Ф., Турко Т.И., Одинцова Н.Н., Родионова Г.Г. Результаты государственного учета малых инновационных предприятий, созданных в сфере образования и науки России // *Инноватика и экспертиза*. 2019. Вып. 1 (26). С. 34–41.
3. Федеральный закон от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» // URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 23.03.2020).
4. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» // URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 23.03.2020).
5. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 24.01.2014 № 43 «Об организации в Министерстве образования и науки Российской Федерации работы по учету уведомлений о создании хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств» // URL: <http://минобрнауки.рф> (дата обращения: 23.03.2020).
6. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 14.02.2014 № 117 «Об утверждении формы реестра учета уведомлений о создании хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств, созданных бюджетными научными и автономными научными учреждениями либо образовательными организациями высшего образования, являющимися бюджетными или автономными учреждениями» // URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 23.03.2020).
7. Федеральный закон от 24.07.2007 № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» // URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 23.03.2020).
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 04.03.2011 № 146 «О ведении Реестра учета уведомлений о создании хозяйственных обществ, созданных бюджетными научными и образовательными учреждениями высшего профессионального образования, и порядке его передачи в органы контроля за уплатой страховых взносов» // URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 23.03.2020).
9. Федеральный закон от 05.08.2000 № 117-ФЗ «Налоговый кодекс Российской Федерации, часть вторая» // URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 23.03.2020).

References

1. *Federal'nyy zakon ot 02.08.2009 No. 217-FZ «O vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii po voprosam sozdaniya byudzhetnymi nauchnymi i obrazovatel'nymi uchrezhdeniyami khozyaystvennykh obshchestv v tselyakh prakticheskogo primeneniya (vnedreniya) rezul'tatov intellektual'noy deyatel'nosti»* [Federal Law dated 02.08.2009 No. 217-FZ «On Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation on the Creation of Business Societies by Budget Scientific and Educational Institutions for the Practical Application (Implementation) of Results of Intellectual Activity»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (accessed: 23.03.2020).
2. Fedorkov V.F., Turko T.I., Odintsova N.N., Rodionova G.G. (2019) *Rezul'taty gosudarstvennogo ucheta malykh innovatsionnykh predpriyatiy, sozdannykh v sfere obrazovaniya i nauki Rossii* [The results of state registration of small innovative enterprises created in the field of education and science of Russia] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. Is. 1 (26). P. 34–41.
3. *Federal'nyy zakon ot 23.08.1996 No. 127-FZ «O nauke i gosudarstvennoy nauchno-tekhnicheskoy politike»* [Federal Law of 23.08.1996 No. 127-FZ «On Science and State Scientific and Technological Policy»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (accessed: 23.03.2020).
4. *Federal'nyy zakon ot 29.12.2012 No. 273-FZ «Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law of December 29, 2012 No. 273-FZ «On Education in the Russian Federation»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (accessed: 23.03.2020).
5. *Prikaz Ministerstva obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii ot 24.01.2014 No. 43 «Ob organizatsii v Ministerstve obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii raboty po uchetu uvedomleniy o sozdanii khozyay-*

stvennykh obshchestv i khozyaystvennykh partnerstv» [Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 24.01.2014 No. 43 «On the organization in the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of work on the registration of notifications on the establishment of business companies and business partnerships»]. Available at: <http://minobrnauki.rf> (accessed: 23.03.2020).

6. *Prikaz Ministerstva obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii ot 14.02.2014 No. 117 «Ob utverzhdenii formy reestra ucheta uvedomleniy o sozdanii khozyaystvennykh obshchestv i khozyaystvennykh partnerstv, sozdannykh byudzhетnymi nauchnymi i avtonomnymi nauchnymi uchrezhdeniyami libo obrazovatel'nyimi organizatsiyami vysshego obrazovaniya, yavlyayushchimisya byudzhетnymi ili avtonomnymi uchrezhdeniyami»* [Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 14.02.2014 No. 117 «On approval of the register form for notifications on the establishment of business companies and business partnerships created by budgetary scientific and autonomous scientific institutions or educational institutions of higher education»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (accessed: 23.03.2020).

7. *Federal'nyy zakon ot 24.07.2007 No. 209-FZ «O razvitii malogo i srednego predprinimatel'stva v Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law of July 24, 2007 No. 209-FZ «On the Development of Small and Medium-Sized Enterprises in the Russian Federation»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (accessed: 23.03.2020).

8. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 04.03.2011 No. 146 «O vedenii Reestra ucheta uvedomleniy o sozdanii khozyaystvennykh obshchestv, sozdannykh byudzhетnymi nauchnymi I obrazovatel'nyimi uchrezhdeniyami vysshego professional'nogo obrazovaniya, i poryadke ego peredachi v organy kontrolya za uplatoy strakhovykh vzosov»* [Decree of the Government of the Russian Federation dated 04.03.2011 No. 146 «On maintaining the Register of notifications on the establishment of business entities created by budgetary scientific and educational institutions of higher professional education, and the procedure for its transfer to the control bodies for the payment of insurance premiums»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 23.03.2020).

9. *Federal'nyy zakon ot 05.08.2000 No. 117-FZ «Nalogovyy kodeks Rossiyskoy Federatsii, chast' vtoraya»* [Federal Law of 05.08.2000 No. 117-FZ «Tax Code of the Russian Federation, Part Two»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (accessed: 23.03.2020).

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-18-26

УПРАВЛЯЕМЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ НАНОГРАФИТОВОЙ ПЛЕНКИ

С.Г. Лебедев, ст. научн. сотр. Института ядерных исследований РАН, канд. тех. наук,
lebedev@inr.ru

Рецензент: А.Л. Шимкевич

Описан эффект переключения удельного электрического сопротивления в нанографитовых пленках. В отличие от случаев, опубликованных ранее, переключение в нанографитовых пленках происходит из стабильного состояния с высокой проводимостью в метастабильное состояние с низкой проводимостью. Критический ток переключения изменяется в диапазоне 10–500 мА и может быть увеличен до значений 100 А и более, подходящих для использования нанографитовых переключателей в интеллектуальных электрических сетях в качестве бесконтактных ограничителей тока и автоматических выключателей. Обсуждаются возможные механизмы явления переключения в нанографитовых пленках.

Ключевые слова: нанографит, пленки, переключение сопротивления, smart grids.

NANO GRAPHITE FILM-CONTROLLED ELECTRICAL SWITCH

S.G. Lebedev, Senior Researcher, Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, lebedev@inr.ru

The effect of switching electrical resistivity in nanographite films is described. In contrast to the cases published earlier, switching in nanographite films occurs from a stable state with high conductivity to a metastable state with low conductivity. The critical switching current varies in the range of 10–500 mA and can be increased to values of 100 A or more, suitable for using nanographite switches in intelligent electric networks as contactless current limiters and circuit breakers. Possible mechanisms of the switching phenomenon in nanographite films are discussed.

Keywords: nanographite, films, resistance switching, smart grids.

Введение

Физические и электромагнитные свойства углерода и его производных являются предметом постоянного интереса и обширных исследований в течение многих лет. Внимание было уделено переключению в углеродных графитоподобных материалах. К. Антонович более 30 лет назад исследовал проводящие свойства стеклогуглерода [1] и его испаренных осадков [2] и обнаружил эффект скачка проводимости до трех порядков величины. Изменение проводимости было обратимым, а время релаксации составляло несколько дней.

В.З. Jang и L. Zhao изучали переключающие свойства карбонизованных материалов [3]. Они изучали частично карбонизированные полиакрилонитридные волокна, которые, как было обнаружено, претерпевают изменения удельного сопротивления от 2 до 4 порядков величины в интервале температур от 98 до 200 °С. Вольт-амперные характеристики изучаемых волокон показали начальное увеличение, подобное сверхпроводящему току, с последующим быстрым падением до состояния с высоким сопротивлением и затем снова повышением тока на более поздней стадии.

Н.А. Goldberg и др. получили патент США на углеродный переключатель [4]. Это устройство было изготовлено на основе частично пиролизированного полимерного материала

при нагревании его до температуры от 500 до 800 °С. Электроды были соединены с поверхностью материала в двух разных местах, чтобы создать электрически активный элемент между ними. Устройства, изготовленные в соответствии с принципами раскрытия, демонстрируют отрицательное сопротивление в части их вольт-амперной характеристики и работают как двунаправленные электронные переключатели.

Автор этой статьи потратил более двадцати лет на изучение тонких углеродных пленок, имея в виду их применение в первую очередь в качестве мишеней для пучков заряженных частиц. Позже внимание было уделено электромагнитным свойствам тонких углеродных пленок. Были обнаружены некоторые аномалии в электромагнетизме нанографитовых (НГ) пленок, образованных путем распыления спектрально чистого графита в электродуговом разряде, а также методами химического осаждения из газовой фазы (CVD) [5–8]. Ниже будет показано, что НГ-пленки представляют собой графитовые нанокластеры, инкорпорированные в матрицу аморфного углерода. В качестве аномалий можно отметить скачок удельного электрического сопротивления, который может использоваться для ограничения тока в электрических цепях smart grids и интеллектуальных микросхемах, преобразование радиочастот в постоянный ток и генерацию инфракрасного излучения в момент переключения, которое может использоваться в различных оптоэлектронных устройствах.

В данной статье сообщается об исследовании переключения, наблюдаемого в НГ-пленках, которые могут потенциально использоваться в качестве ограничителей тока в интеллектуальных сетях smart grids.

Экспериментальная часть

НГ-пленки, использованные в этих экспериментах, были получены методом CVD на кварцевой подложке. CVD-процесс проходил в термически активированном изобутаноле с давлением около 0,1 атм при температуре 900 °С. В результате в течение 3–15 минут получалась НГ-пленка толщиной 0,1–1,0 мкм. На рис. 1 представлено типичное изображение сканирующей электронной микроскопии (SEM) НГ-пленки. Как можно видеть, при максимальном увеличении (20 000х) поверхность осажденной пленки выглядит как бесструктурная — это означает, что пленка является аморфной. Данный результат согласуется с представлением [9] об НГ-пленках как о композите из небольших графитоподобных гранул с sp^2 -связями, внедренных в матрицу аморфного углерода. Этот вывод подтверждается рамановским спектром НГ-пленки.

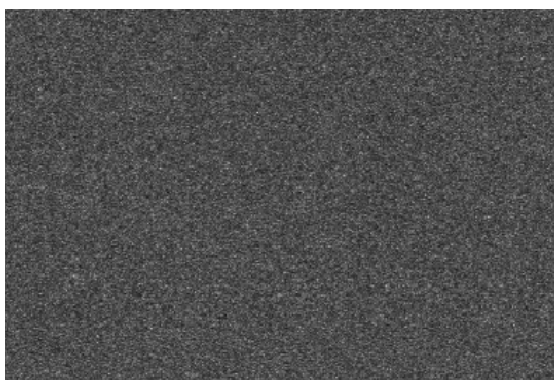


Рис. 1. SEM-изображение НГ-пленки с увеличением 20000х

Типичный спектр комбинационного рассеяния НГ-пленки показан на рис. 2. В этом спектре рамановские пики D при 1360 см^{-1} и G в окрестности 1600 см^{-1} являются специфици-

ческими для различных форм неупорядоченного графита. Равенство высот пиков *D* и *G* соответствует размеру кристаллов графита порядка 20–30 Å [10].

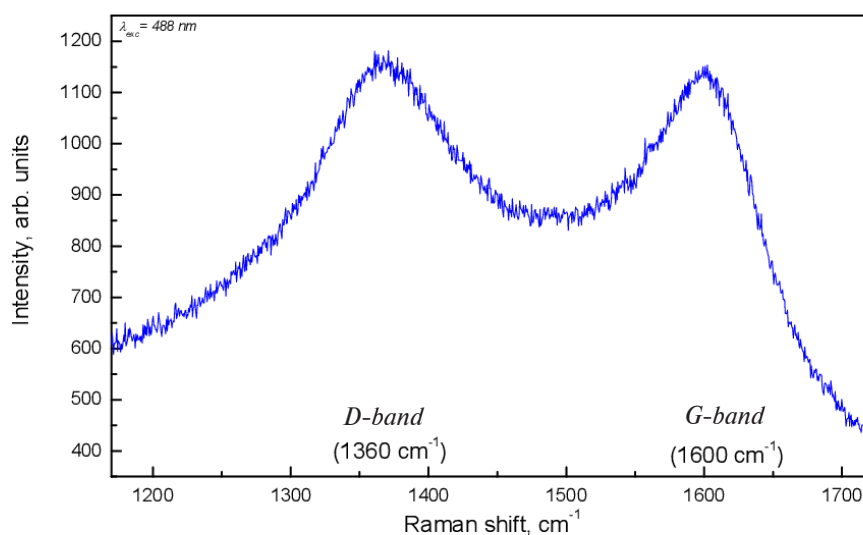


Рис. 2. Спектр комбинационного рассеяния НГ-пленки. Хорошо видны пики *G* и *D*, относящиеся к разным формам неупорядоченного графита

Наличие *D*-пики является индикатором кластеризации sp^2 . Пик *D* возникает благодаря дыхательным модам атомов sp^2 в ароматических кольцах. Его интенсивность строго связана с наличием графитовых шестигранников. Tuinstra и Koenig [11] отметили, что отношение его интенсивности к интенсивности пика *G* изменяется обратно пропорционально L_a – диаметру кластера или корреляционной длине в плоскости:

$$I(D)/I(G) = C(\lambda)/L_a, \quad (1)$$

где $C(515,5 \text{ нм}) \sim 44 \text{ Å}$. Таким образом, размер кластера однозначно определяется приведенным выше соотношением. Более того, положение пика *G* при 1600 см^{-1} также свидетельствует о нанокристаллическом графите [12].

Для измерения проводимости использовались образцы площадью $1\text{--}2 \text{ см}^2$ с медными токовводами, расположенными в плоской геометрии и соединенными с поверхностью пленки с помощью серебряной пасты. Вольт-амперные и коммутационные характеристики этих образцов были изучены с использованием LabVIEW и ручного управления источником тока.

Вольт-амперные и электрические характеристики переключения образцов НГ-пленки при комнатной температуре показаны на рис. 3. В состоянии «ВКЛ» при увеличении напряжения ток через образец первоначально линейно возрастает. Вблизи критического тока образцы демонстрируют нелинейность. При критическом токе образцы демонстрировали переход в состояние «ВЫКЛ» с удельным сопротивлением на четыре-пять порядков выше, чем в состоянии «ВКЛ». Такой скачок удельного сопротивления выглядит как переход «металл – изолятор». Значение критического тока изменяется в диапазоне 0,01–0,5 А. Эта величина ограничена разницей в тепловом расширении НГ-пленки и подложки, а также пространением электрического разряда по поверхности пленки в момент переключения. Минимизировать последний эффект возможно с помощью защитного лакокрасочного

покрытия межконтактной поверхности НГ-пленки. Эффект теплового расширения можно снизить при надлежащем охлаждении образца во время работы. Предполагается, что указанные меры позволят значительно увеличить переключающие токи. Считается, что при увеличении критического тока НГ-пленок до коммерческого значения 100 А их можно будет использовать в качестве бесконтактных ограничителей тока и автоматических выключателей для электрических сетей smart grids.

Когда подаваемое напряжение уменьшается до нуля, образец возвращается в состояние «ВКЛ», и переключатель можно использовать многократно. Как видно из рис. 3, в результате переключения произошло изменение удельного электросопротивления на четыре-пять порядков величины.

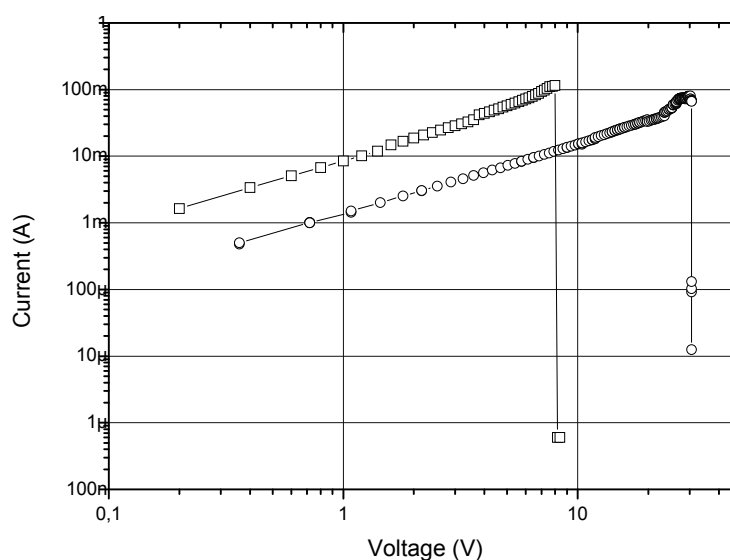


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики НГ-пленки толщиной 1 мкм на кварцевой подложке при комнатной температуре. Квадраты и кружки изображают ручное и компьютерное управление током соответственно. Заметны скачки удельного сопротивления на четыре-пять порядков величины при критическом токе 100 мА

Измерение скорости переключения производилось осциллографом на сопротивлении нагрузки. Процесс переключения показан на рис. 4. Как видно, длительность процесса переключения составляет около 200 мс. Это значение варьируется до 50 % от образца к образцу.

Обсуждение

Такое поведение переключения резко отличается от поведения иных переключателей, описанных в другом месте [13–15]. Существенным для всех этих устройств является переключение из состояния с низкой проводимостью (LC) в состояние с высокой проводимостью (HC). Для объяснения такого типа переключения были предложены различные гипотезы: тепловой механизм и механизм двойной инжекции [16], экситонный механизм [13] и нестабильность, вызванная перегревом электронов [17–20].

Тепловой механизм не подходит для объяснения наших результатов из-за слишком быстрого переключения за «электронное» время 100–200 мс (см. рис. 4). Против теплового механизма переключения свидетельствует и тот факт, что наблюдалось оптическое излучение, испускаемое через несколько миллисекунд после выключения [7]. Предполагается, что этот процесс связан с охлаждением образца после переключения.

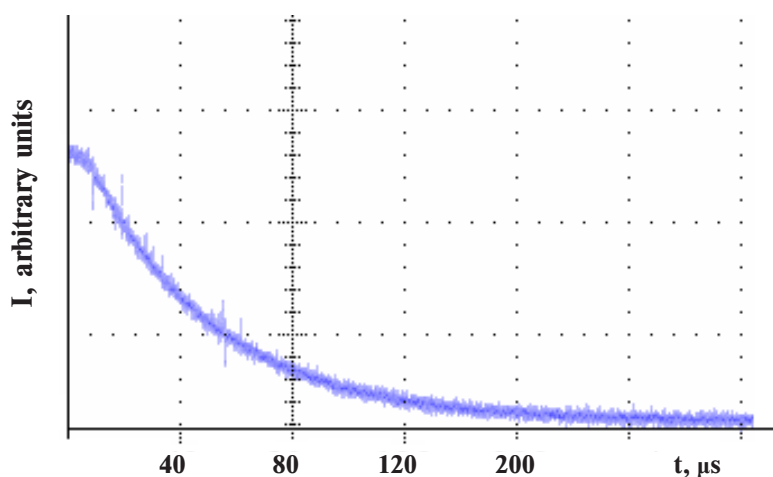


Рис. 4. Скорость переключения образца НГ-пленки. Измерение затухания тока проводилось на балластном сопротивлении в окрестности момента переключения, изображенного на рис. 3

Двойной инжекционный механизм предполагает наличие в структуре центров-ловушек для носителей тока. Насыщение этих центров инжектированными носителями вызывает скачок в состояние LC. Однако невозможно обратить этот процесс, чтобы получить переход от LC к НС.

Что касается гипотезы о горячих электронах, то скачкообразное изменение удельного сопротивления на несколько порядков величины должно происходить в непосредственной близости от рабочей температуры. В случае, описанном в [17–18], это переход «сверхпроводник — изолятор» вблизи критической температуры. В работе [3] представлены доказательства крутого перехода «металл — полупроводник» между НС и LC при температуре 425 К. Как будет показано ниже, этот механизм может быть ключевым объяснением поведения НГ-пленок при переключении.

Иногда наблюдаемый эффект может быть объясним развалом волновой функции горячих электронов, которая дает начало локализации носителей. Длины свободного пробега носителей очень чувствительны к температуре. Как было показано [17–18], в неупорядоченных пленках происходят гигантские скачки тока при конечных напряжениях из-за перегрева электронной подсистемы. Такой феномен происходит из-за того, что электронная подсистема термически отделена от фоновой бани. Это означает, что электрическое сопротивление $R_{\square}$ пленки чувствительно к электронной температуре T_e . В нашем случае такое развитие событий может порождать температурный коллапс электронной волновой функции и длины свободного пробега носителей. При уменьшении длины свободного пробега носителей наступает такой момент, когда она становится меньше, чем размер графитовой гранулы, тогда сопротивление пленки резко повышается за счет квантования энергетических уровней носителей и происходит их локализация. Поверхностное сопротивление двумерных пленок в условиях локализации может быть представлено следующим образом [21]:

$$R_{\square} = R_Q / (k_F l), \quad (2)$$

где $R_Q = 6,45$ кОм — квантовое сопротивление; k_F — волновой вектор Ферми. При $k_F < 1$ все электронные состояния должны быть локализованы.

Для анализа влияния горячих носителей на сопротивление НГ-пленки можно использовать уравнение теплового баланса энергии [17–18]:

$$P \approx \frac{\varepsilon(T_e)}{\tau_{ep}}, \quad (3)$$

$$\tau_{ep} = \frac{6k_B n_{el} k_F l T_e^4}{\pi^2 \hbar^4 \rho v_F \rho(E_F) c_s^5}, \quad (4)$$

где P – мощность электрического тока, приложенная к образцу; $\varepsilon(T) = \pi 2\rho(E_F)VT^2$; $\rho(E_F)$ – плотность электронных состояний на уровне Ферми; E_F – энергия Ферми; V – объем пленочного образца; τ_{ep} – время релаксации электрон-фононного взаимодействия; $C_S = 2 \cdot 10^4$ м/с – скорость звука в плоскости ab графита [22]; $\rho = 2000$ кг/м³ – плотность НГ-пленки; $v_F = 10^6$ м/с и $n_{el} \sim 10^{18}$ м⁻³ – общепринятые значения скорости Ферми и плотность носителей для пирографита соответственно. Последние значения достаточно малы, чтобы объяснить [22] большие длины свободного пробега и незначительное магнетосопротивление в небольших зернах пирографита.

Рассматриваемый процесс происходит в течение короткого промежутка времени ($\tau_{ep} \sim 10^{-13}$ с) когда взаимодействие носителей с фононами отсутствует. Энергия Ферми составляет около 0,3 эВ, когда рождение электронно-дырочных пар невозможно. Тогда можно считать, что плотность носителей n_{el} не зависит от температуры. Поскольку сопротивление чувствительно к электронной температуре, мы можем предположить, что $k_F l$ – это единственная величина, которая зависит от температуры. Легко получить функциональную зависимость $k_F l$ от T_e . Из уравнения (3) мы имеем: $\tau_{ep} \sim T_e^2$. Тогда уравнение (4) приводит к зависимости $k_F l \sim 1/T_e^6$. При расчете температуры T_e горячих носителей было использовано значение $l = 10^{-9}$ м. Это определяется условием $l < La = 30\text{--}50$ А – размер графитового кластера, полученного при измерениях комбинационного рассеяния. Подход (3) – (4) применим в чистом пределе $k_B T_e l / \hbar v < 1$. Последнее условие выполняется до значений T_e около 1000 К, что позволяет объяснить возрастание электросопротивления образца до трех порядков величины. Если уравнения (3) – (4) выполняются вплоть до 2000 К ($k_B T_e l / \hbar v \sim 1$), что может вызвать рост сопротивления при переключении примерно до 10^5 , это согласуется с данными, приведенными на рис. 3. В предельном случае $k_B T_e l / \hbar v \gg 1$ решение для T_e не зависит от величины $k_F l$. Описанная зависимость похожа на восходящую ветвь с последующим выполаживанием сопротивления. Поскольку имеется резкое изменение сопротивления, которое нужно каким-либо образом объяснить, то в качестве причины можно вернуться к гипотезе сверхпроводимости. В данной постановке необходимо предположить существование диэлектрического состояния при высоких температурах. Такое состояние углеродных материалов было обнаружено Guo-meng Zhao и Pieder Beeli [23–24].

Гипотеза сверхпроводимости [25] может объяснить результаты, полученные в [1–3], а также эффект переключения в НГ-пленках и другие наши результаты [5–8]. Прежде всего, сверхпроводимость характеризуется крутым переходом в состояние с нулевым электросопротивлением. Хотя переходы «металл – диэлектрик» в графите [26–27] и в неупорядоченном углероде [28–29] хорошо известны, однако до сих пор перехода в состояние диэлектрика в НГ-пленках выше комнатной температуры не обнаружено. Более подробное обсуждение гипотезы сверхпроводимости в НГ-пленках можно найти в работе [30].

Заключение

В статье описан вероятный механизм переключения электросопротивления в НГ-пленках. Можно было бы ожидать, что благодаря высоким критическим токам при комнатной температуре НГ-пленки представляют собой вид материала с потенциальными приложениями в интеллектуальных электросетях smart grids в качестве ограничителей тока и выключателей.

Список литературы

1. Antonowicz K., Cacha L., Turlo J. Switching phenomena in glassy carbon // Carbon. 1973. Vol. 11. P. 1–5.
2. Antonowicz K., Jesmansowicz A., Wiczorek J. Switching phenomena in amorphous carbon // Carbon. 1972. Vol. 10. P. 81–86.
3. Jang B.Z., Zhao L.R. Anomalous electrical behavior of partially carbonized polyacrylonitrile fibers // Journal of Material Research. 1995. Vol. 10. P. 2449–2453.
4. Goldberg H.A., Kalnin I.L., Williams C.C. Electrical device made of partially pyrolyzed polymer // US Patent. 1987. № 4,642,664.
5. Лебедев С.Г., Топалов С.В. Наблюдение слабой сверхпроводимости в углеродных пленках // Краткие сообщения по физике ФИАН. 1994. Vol. 11–12. P. 57–64.
6. Lebedev S.G. Particle irradiation for verification of superconducting-like behavior in carbon arc films // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2004. Vol. A521. P. 22–29.
7. Lebedev S.G., Yants V.E., Lebedev A.S. Correlations between switching of conductivity and optical radiation observed in thin graphite-like films // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2008. Vol. A590. P. 227–233.
8. Lebedev S.G. Evidence of Josephson-like behavior of thin granular carbon films // International Review of Physics. 2008. Vol. 2. P. 312–320.
9. Lopinski G.P., Merkulov V.I., Lannin J.S. Semimetal to semiconductor transition in carbon nanoparticles // Physical Review Letters. 1998. Vol. 80. P. 4241–4245.
10. Chu P.K., Li L. Characterization of amorphous and nanocrystalline carbon films // Materials Chemistry and Physics. 2006. Vol. 96. P. 253–277.
11. Tuinstra F., Koenig J.L. Raman spectrum of graphite // J. Chem. Phys. 1970. Vol. 53. P. 1126–1130.
12. Ferrari A.C., Robertson J. Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon // Phys. Rev. 2000. Vol. B61. P. 14095–14107.
13. Zhao L.R., Jang B.Z. Switching behaviours in semiconducting carbon fibres // Journal of Material Sciences Letters. 1996. Vol. 15. P. 99–101.
14. Ovshinsky S.R. Reversible electrical switching phenomena in disordered structures // Physical Review Letters. 1968. Vol. 21. P. 1450–1457.
15. Titus S.S.K., Chatterjee R., Asokan S., Kumar A. Electrical switching and short-range order in As-Te glasses // Physical Review. 1993. Vol. B48. P. 14650–14655.
16. Mott N.F. Conduction in non-crystalline systems: VII. Non-ohmic behaviour and switching // Philosophical Magazine. 1971. Vol. 24. P. 911–934.
17. Altshuler B.L., Kravtsov V.E., Lerner I.V., Aleiner I.L. Jumps in current-voltage characteristics in disordered films // Physical Review Letters. 2009. Vol. 102. P. 176803–1768105.
18. Ovadia M., Sacepe B., Shahar D. Electron-phonon decoupling in disordered insulators // Physical Review Letters. 2009. Vol. 102. P. 176802–176803.
19. Ladieu F., Sanquer M., Bouchaud J.P. Depinning transition in Mott-Anderson insulators // Physical Review. 1996. Vol. B53. P. 973–976.
20. Zharebov A., Lachinov A., Genoe J., Tameev A. Polyheteroarylene films with intrinsic switching mechanism for nonvolatile memory applications // Applied Physics Letters. 2008. Vol. 92. P. 168–172.
21. Белевцев Б.И. Сверхпроводимость и локализация электронов в неупорядоченных двумерных металлических системах // Успехи физических наук. 1990. Том 160. С. 65–98.

22. Du X., Tsai S.W., Maslov D.L., Hebard A.F. Metal-insulator-like behavior in semi-métallique bismuth and graphite // Physical review letters. 2005. Vol. 94. P. 166601–16609.
23. Zhao G. Is Room Temperature Superconductivity in Carbon Nanotubes Too Wonderful to Believe? // ArXiv preprint cond-mat. 2003. P. 0307770.
24. Zhao G., Beeli P. Magnetic evidence for hot superconductivity in multi-walled carbon nano-tubes // ArXiv preprint cond-mat. 2005. P. 0509037.
25. Antonowicz K. Possible superconductivity at room temperature // Nature. 1974. Vol. 247. №. 5440. P. 358–360.
26. Timp G., Dresselhaus P.D., Chieu T.C., Dresselhaus G., Iye Y. Anomalous magnetoresistance of graphite at high magnetic fields // Physical Review. 1983. Vol. B28(12). P. 7393–7399.
27. Wang Z.M., Xu Q.Y., Ni G., Du Y.W. Huge magnetoresistance and Shubnikov–de Hass effect in graphite // Physics Letters. 2003. Vol. A314(4). P. 328–331.
28. Kuriyama K., Dresselhaus M.S. Metal-insulator transition in highly disordered carbon fibers // Journal of materials research. 1992. Vol. 7. №. 4. P. 940–945.
29. Fung A.W.P., Wang Z.H., Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., Pekala R.W., Endo M. Coulomb-gap magnetotransport in granular and porous carbon structures // Physical Review. 1994. Vol. B49(24). P. 17325–17334.
30. Lebedev S.G. Field-effect switching in nano-graphite films // Journal of Physics and Chemistry of Solids. 2014. Vol. 75. P. 1029–1032.

References

1. Antonowicz K., Cacha L., Turlo J. (1973) Switching phenomena in glassy carbon. Carbon. Vol. 11. P. 1–5.
2. Antonowicz K., Jesmansowicz A., Wiczorek J. (1972) Switching phenomena in amorphous carbon. Carbon. Vol. 10. P. 81–86.
3. Jang B.Z., Zhao L.R. (1995) Anomalous electrical behavior of partially carbonized polyacrylo-nitrile fibers. Journal of Material Research. Vol. 10. P. 2449–2453.
4. Goldberg H.A., Kalnin I.L., Williams C.C. (1987) Electrical device made of partially pyrolyzed polyme. US Patent. No. 4,642,664.
5. Lebedev S.G., Topalov S.V. (1994) *Nablyudenie slaboy sverkhprovodimosti v uglerodnykh plenkakh* [Observation of weak superconductivity in carbon films] *Kratkie soobshcheniya po fizike FIAN* [Brief Messages on Physics LPI]. Vol. 11–12. P. 57–64.
6. Lebedev S.G. (2004) Particle irradiation for verification of superconducting-like behavior in carbon arc films. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Vol. A521. P. 22–29.
7. Lebedev S.G., Yants V.E., Lebedev A.S. (2008) Correlations between switching of conductivity and optical radiation observed in thin graphite-like films. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Vol. A590. P. 227–233.
8. Lebedev S.G. (2008) Evidence of Josephson-like behavior of thin granular carbon films. International Review of Physics. Vol. 2. P. 312–320.
9. Lopinski G.P., Merkulov V.I., Lannin J.S. (1998) Semimetal to semiconductor transition in carbon nanoparticles. Physical Review Letters. Vol. 80. P. 4241–4245.
10. Chu P.K., Li L. (2006) Characterization of amorphous and nanocrystalline carbon films. Materials Chemistry and Physics. Vol. 96. P. 253–277.
11. Tuinstra F., Koenig J.L. (1970) Raman spectrum of graphite. J. Chem. Phys. Vol. 53. P. 1126–1130.
12. Ferrari A.C., Robertson J. (2000) Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon. Phys. Rev. Vol. B61. P. 14095–14107.
13. Zhao L.R., Jang B.Z. (1996) Switching behaviours in semiconducting carbon fibres. Journal of Material Sciences Letters. Vol. 15. P. 99–101.

14. Ovshinsky S.R. (1968) Reversible electrical switching phenomena in disordered structures. *Physical Review Letters*. Vol. 21. P. 1450–1457.
15. Titus S.S.K., Chatterjee R., Asokan S., Kumar A. (1993) Electrical switching and short-range order in As-Te glasses. *Physical Review*. Vol. B48. P. 14650–14655.
16. Mott N.F. (1971) Conduction in non-crystalline systems: VII. Non-ohmic behaviour and switching. *Philosophical Magazine*. Vol. 24. P. 911–934.
17. Altshuler B.L., Kravtsov V.E., Lerner I.V., Aleiner I.L. (2009) Jumps in current-voltage characteristics in disordered films. *Physical Review Letters*. Vol. 102. P. 176803–1768105.
18. Ovadia M., Sacepe B., Shahar D. (2009) Electron-phonon decoupling in disordered insulators. *Physical Review Letters*. Vol. 102. P. 176802–176803.
19. Ladieu F., Sanquer M., Bouchaud J.P. (1996) Depinning transition in Mott-Anderson insulators. *Physical Review*. Vol. B53. P. 973–976.
20. Zharebov A., Lachinov A., Genoe J., Tameev A. (2008) Polyheteroarylene films with intrinsic switching mechanism for nonvolatile memory applications. *Applied Physics Letters*. Vol. 92. P. 168–172.
21. Belevtsev B.I. (1990) *Sverkhprovodimost' i lokalizatsiya elektronov v neuporyadochennykh dvumernykh metallicheskiykh sistemakh* [Superconductivity and electron localization in disordered two-dimensional metallic systems] *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Success of Physical Sciences]. Vol. 160. P. 65–98.
22. Du X., Tsai S.W., Maslov D.L., Hebard A.F. (2005) Metal-insulator-like behavior in semi-métallique bismuth and graphite. *Physical review letters*. Vol. 94. P. 166601–16609.
23. Zhao G. (2003) Is Room Temperature Superconductivity in Carbon Nanotubes Too Wonderful to Believe? *ArXiv preprint cond-mat*. P. 0307770.
24. Zhao G., Beeli P. (2005) Magnetic evidence for hot superconductivity in multi-walled carbon nanotubes. *ArXiv preprint cond-mat*. P. 0509037.
25. Antonowicz K. (1974) Possible superconductivity at room temperature. *Nature*. Vol. 247. No. 5440. P. 358–360.
26. Timp G., Dresselhaus P.D., Chieu T.C., Dresselhaus G., Iye Y. (1983) Anomalous magneto-resistance of graphite at high magnetic fields. *Physical Review*. Vol. B28(12). P. 7393–7399.
27. Wang Z.M., Xu Q.Y., Ni G., Du Y.W. (2003) Huge magnetoresistance and Shubnikov–de Hass effect in graphite. *Physics Letters*. Vol. A314(4). P. 328–331.
28. Kuriyama K., Dresselhaus M.S. (1992) Metal-insulator transition in highly disordered carbon fibers. *Journal of materials research*. Vol. 7. №. 4. P. 940–945.
29. Fung A.W.P., Wang Z.H., Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., Pekala R.W., Endo M. (1994) Coulomb-gap magnetotransport in granular and porous carbon structures. *Physical Review*. Vol. B49(24). P. 17325–17334.
30. Lebedev S.G. (2014) Field-effect switching in nano-graphite films. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. Vol. 75. P. 1029–1032.

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-27-33

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

И.И. Рябцев, зав. лаб., Институт физики полупроводников СО РАН, д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН, ryabtsev@isp.nsc.ru

С.П. Юркевичюс, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, доц., jurkst@yandex.ru

А.Е. Гриценко, зам. нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, gritsae@mail.ru
Рецензент: В.А. Жмудь

Изложены научно-технические проблемы и перспективы создания квантовых систем связи. Проведен краткий анализ состояния научных исследований в этой области за рубежом. Отражены сильные и слабые стороны реализации технологии квантовой обработки информации.

Ключевые слова: квантовые системы связи, фотон, квантовые коммуникации, технологии квантовой обработки информации.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF CREATION OF QUANTUM COMMUNICATION SYSTEMS

I.I. Ryabtsev, Head of Laboratory, Institute of Semiconductor Physics SB RAS, Ph.D., Correspondent Member of RAS, ryabtsev@isp.nsc.ru

S.P. Yurkevichyus, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, Associate Professor, jurkst@yandex.ru

A.E. Gritsenko, Deputy Head of Department, Federal State Budgetary Scientific Institution Scientific Research Institute FRCEC, Doctor of Engineering, gritsae@mail.ru

Scientific and technological problems and prospects for creating quantum communication systems are herein outlined. A brief analysis of the state of scientific research in this area abroad is carried out. The strengths and weaknesses of the implementation of quantum information processing technology are reflected.

Keywords: quantum communication systems, photon, quantum communications, technologies of quantum information processing.

Введение

Основными задачами квантовых коммуникаций являются поиск эффективных алгоритмов и разработка схем практической реализации защищенной передачи секретной информации с использованием квантовых объектов — одиночных фотонов [1]. Современная система кодирования данных в телекоммуникациях (классическая криптография) основана на использовании шифров (ключей), для расшифровки которых необходимо уметь факторизовать (раскладывать на простые множители) большие числа. Так как быстрые алгоритмы факторизации больших чисел для современных компьютеров отсутствуют (хотя уже разработаны для квантовых компьютеров), это позволяет обеспечивать секретность. Однако можно ожидать, что в недалеком будущем такие алгоритмы будут найдены, и вся система безопасности может быть разрушена.

Для полной защищенности передаваемых данных в качестве ключей нужно использовать абсолютно случайные последовательности чисел (используемые только один раз, для

передачи одного сообщения от отправителя Алисы к получателю Бобу, которые при этом не могут быть достоверно определены шпионом Евой). В соответствии с математически доказанным утверждением Шеннона [2] передача данных не поддается расшифровке, если сообщение зашифровано одноразовым случайным ключом, длина ключа равна длине сообщения и этот ключ известен только легитимным пользователям. Основная задача при реализации такого метода состоит в передаче секретного ключа между пространственно удаленными пользователями. Для этого квантовая криптография предлагает использовать статистические свойства одиночных квантовых объектов, а именно — одиночных фотонов.

Один из основных постулатов квантовой механики состоит в том, что всякое измерение приводит к изменению состояния квантового объекта [3]. Это означает, что всякая попытка со стороны Евы получить ключ, который передается с помощью одиночных фотонов по квантовому каналу (например, волоконному световоду) от Алисы к Бобу, приведет к тому, что Боб получит ключ измененным и не сможет прочесть послание от Алисы, которое нужно расшифровать с помощью этого ключа. Отсюда он сделает вывод, что канал подслушивают, и передача данных будет прекращена.

Если к квантовому каналу подключилась шпион Ева, желающая перехватить ключ, ей придется регистрировать квантовое состояние каждого фотона, а затем воспроизвести такой же фотон и послать его Бобу (осуществить так называемое клонирование фотона). Однако согласно теореме о невозможности идеального клонирования квантового состояния [4] такой процесс будет содержать большой процент ошибок. Поэтому Боб получит неработоспособный ключ, о чем он сообщит Алисе. Далее они могут решить прекратить передачу ключа или повторить ее заново. Поскольку квантовые базисы для передачи и приема фотонов выбираются случайным образом, у Евы нет возможности подобрать алгоритм для расшифровки ключа.

Одиночный фотон как квантовый объект характеризуется рядом параметров: частотой колебаний электромагнитного поля, направлением распространения (волновым вектором), фазой и поляризацией. В квантовой криптографии для оптоволоконных квантовых каналов наиболее широко применяют фазовое кодирование фотонов с помощью фазовых модуляторов, а декодирование осуществляют с помощью управляемых оптических интерферометров. Для атмосферного канала применяются поляризационное кодирование и декодирование с помощью поляризационно-чувствительных элементов.

Развитие направления совершенствования квантовых систем связи в мире

За рубежом имеется множество научных групп и компаний, занимающихся созданием и совершенствованием систем квантовых коммуникаций. В настоящее время наиболее активные исследования ведут следующие группы (табл. 1):

— Gisin N., Zbinden H., компания id Quantique, Geneva University, Switzerland, коммерческие оптоволоконные системы квантовой связи (статусы С4, С5, С6, С7);

— MagiQ, USA, коммерческие оптоволоконные системы квантовой связи (статусы Д4, Д5, Д6, Д7);

— Toshiba Cambridge Research Laboratory, UK, коммерческие оптоволоконные системы квантовой связи (статусы С4, С5, С6, С7);

— Tokyo QKD network, Japan, японская оптоволоконная сеть на основе квантовой связи (статусы Д4, Д5, Д6, Д7);

— Boyd R.W., University of Rochester, USA, многомерная квантовая криптография с закрученным светом (статус Л1);

— Tittel W., Calgary University, Canada, разработка оптоволоконных систем квантовой связи, не зависящих от метода регистрации фотонов (статус Д1);

— University of Science and Technology of China, Hefei, China, разработка оптоволоконных систем квантовой связи, не зависящих от метода регистрации фотонов (статус Д1);

— von der Weid J.P., Brasil, Pontifical Catholic University, Rio de Janeiro, Brazil, разработка оптоволоконных систем квантовой связи, не зависящих от метода регистрации фотонов (статус С1).

Таблица 1

Статусы создания квантовых систем связи

№ п/п	Стадия развития	Дистанции			
		Лабораторные (менее 200 м)	Короткие (менее 2 км)	Средние (менее 70 км)	Дальние (более 70 км)
Код		Л	К	С	Д
1	Реализация физических принципов	Л1	К1	С1	Д1
2	Реализация полной процедуры связи	Л2	К2	С2	Д2
3	Надежность компонент и устойчивость работы	Л3	К3	С3	Д3
4	Практическая реализация защищенной связи	Л4	К4	С4	Д4
5	Возможность передачи ключей шифрования ¹	Л5	К5	С5	Д5
6	Возможность организации сетевой архитектуры	Л6	К6	С6	Д6
7	Использование для шифрования данных ²	Л7	К7	С7	Д7

¹ Практическая демонстрация скорости обмена — более 100 бит/с.

² Практическая демонстрация скорости обмена — более 1 Мбит/с.

Перечень достижений по стадиям развития квантовых систем связи

В 1984 г. был предложен первый протокол BB84 [5], а в 1992 г. осуществлена экспериментальная демонстрация генерации квантового ключа с помощью передачи поляризованных в двух неортогональных базисах одиночных фотонов по открытой линии связи [6]. В дальнейшем фундаментальные научные исследования в этой области постепенно перешли к проблеме создания практических квантовых систем связи и появлению первых коммерческих устройств. Как и в классических видах связи, представляет интерес развитие методов передачи квантового ключа по открытому пространству и оптоволокну.

При распространении излучения через атмосферу поляризация излучения подвергается незначительным изменениям, поэтому для организации квантовых каналов через открытое пространство используется поляризационный метод кодирования [7], причем в перспективе рассматривается возможность связи с орбитальными спутниками [8]. В спектре пропускания атмосферы имеются окна прозрачности в диапазоне длин волн 0,8–0,9 мкм. Считается, что вертикальная оптическая плотность атмосферы эквивалентна расстоянию около 8 км при нормальных условиях, поэтому потери фотонов на поглощение при связи со спутниками довольно малы. Генерация квантового ключа между наземными источниками и приемниками также представляет значительный интерес.

Если в первой атмосферной экспериментальной установке [9] расстояние между передатчиком и приемником (длина квантового канала) было 30 см, то в дальнейшем наблюдался быстрый прогресс в сторону увеличения дальности связи. Так, в 2001 г. был поставлен эксперимент по организации передачи на 1,9 км [10]. Передача ключа на расстояния свыше эффективной толщины атмосферы была продемонстрирована в [11] — на 10 км, [12] — на 23 км

на основе протокола BB84, [13] — с использованием перепутанных состояний, на 13 км. Рекорд на данный момент принадлежит работе [14] (144 км). В 2008 г. был проведен эксперимент со спутником и зарегистрирован отраженный однофотонный сигнал от лазерного импульса, посланного с Земли [15]. Для подавления фоновых засветок от солнечного или лунного света необходимо применять спектральные, пространственные и временные фильтры.

Первая работа по генерации квантового ключа в оптоволоконном квантовом канале появилась уже в 1993 г. [16]. Для квантовой криптографии используется стандартное одномодовое оптоволокно. Передача данных ведется обычно на телекоммуникационной длине волны 1550 нм, которая соответствует наименьшему затуханию (0,2 дБ/км) и малой дисперсии в волокне.

Для оптоволоконных линий связи применяются различные способы кодирования квантовых состояний фотонов. Например, одни из первых криптосистем работали на основе поляризационного кодирования [17]. В последующих работах была продемонстрирована дальность связи свыше 100 км [18]. Частотно-фазовое кодирование использовалось в [19], а временной способ был предложен и реализован авторами [20]. Наиболее широкое применение нашло фазовое кодирование с использованием интерферометров Маха — Цендера. Демонстрирована генерация квантового ключа на расстояния свыше 100 км с полупроводниковыми детекторами одиночных фотонов [21] и свыше 200 км со сверхпроводниковыми детекторами [22].

Отдельно стоит отметить появление двухпроходной автокомпенсационной оптической схемы для фазового кодирования [23], которая отличается устойчивой работоспособностью при изменяющихся внешних условиях и на основе которой построены коммерческие квантовые оптоволоконные криптосистемы.

Преимущества и недостатки квантовой коммуникации

Обычные оптические линии связи не могут обеспечить полную секретность передачи данных, поскольку в них применяются лазерные импульсы, содержащие большое число фотонов, а часть этих фотонов может быть перехвачена несанкционированным пользователем. В квантовой криптографии для передачи информации используются одиночные фотоны, которые не могут быть перехвачены и измерены с абсолютной достоверностью, что является основой для создания абсолютно защищенных линий связи. Наибольшая потребность в квантово-криптографических системах связи ожидается в секторе специальных применений, для которых абсолютная секретность передачи информации обладает большим приоритетом, чем скорость передачи данных.

Абсолютная секретность квантовой криптографии основана на использовании одиночных фотонов, которые в квантовой теории соответствуют так называемым состояниям Фока для одной моды электромагнитного поля. Чистые однофотонные фокские состояния очень сложно реализовать. Для их практической реализации, как правило, используют либо очень слабые лазерные импульсы, либо пары фотонов в перепутанном квантовом состоянии, которые в обоих случаях описываются статистикой Пуассона. Однако для таких источников фотонов всегда есть ненулевая вероятность испустить не один, а два и более фотона, что представляет потенциальную угрозу с точки зрения подслушивания. Поэтому для полной реализации идей квантовой криптографии необходимо разработать и создать детерминированные генераторы одиночных фотонов. В идеале источником одиночного фотона может служить любая одиночная квантовая частица — атом, молекула, ион, квантовая точка и т.д., способная поглощать и излучать фотоны в узкой полосе оптических частот. Основной проблемой на этом пути является повышение эффективности сбора однофотонного излучения, поскольку оно равновероятно распределено по всем направлениям, а также разработка простых методов электрического управления испусканием одиночного фотона.

Необходимо также создать более эффективные детекторы одиночных фотонов. В настоящее время в системах квантовой криптографии применяются Si и InGaAs/InP — лавинные

фотодиоды. Если Si-фотодиоды, работающие в атмосферных системах, обеспечивают квантовую эффективность до 90 % при уровне темновых шумов менее 1 кГц, то фотодиоды InGaAs/InP, предназначенные для оптоволоконных систем, имеют квантовую эффективность не более 20 % при уровне шумов более 10 кГц. Низкая квантовая эффективность и большой уровень шумов ограничивают максимальную дальность и скорость генерации квантового ключа в оптоволоконных системах связи.

Наконец, скорость генерации квантового ключа ограничена также максимальной частотной полосой работы элементов квантово-криптографических систем. Несмотря на то что в современных системах тактовая частота может достигать 1 ГГц, предельное быстродействие генераторов и детекторов одиночных фотонов, а также физических генераторов случайных чисел остается на более низком уровне. Поэтому необходимо совершенствовать генераторы и детекторы одиночных фотонов и генераторы случайных чисел на предмет увеличения рабочей полосы частот до 1 ГГц, а в перспективе – и до 10–100 ГГц.

Перспективы развития квантовых систем связи

Наибольшая потребность в квантово-криптографических системах связи ожидается в секторе специальных применений, для которых абсолютная секретность передачи информации обладает большим приоритетом, чем скорость передачи данных (в современных системах квантовой криптографии скорость ограничена значениями порядка 0,01–1,0 Мбит/с в зависимости от длины оптической линии). Такие системы должны обеспечивать полную защищенность от несанкционированного прослушивания с помощью современных и будущих технических средств. Создание квантовых систем связи имеет критическое значение для обеспечения безопасности страны, так как средства прослушивания непрерывно совершенствуются. Предполагаемые потребители – ведомства, организации и предприятия, в работе которых необходимо использовать атмосферные или оптоволоконные каналы связи повышенной защищенности: министерство обороны, космическая связь, МВД, агентства правительственной связи, службы безопасности, телекоммуникационные компании и т. д.

В ближайшие пять лет необходимо создать российские коммерческие квантовые системы связи, предназначенные для внедрения как в секторе специальных применений, так и в других организациях, заинтересованных в передаче конфиденциальной информации. Должны быть созданы как оптоволоконные системы, совместимые со стандартными оптоволоконными линиями связи, так и атмосферные системы, предназначенные для оптической связи в пределах видимости и космической связи со спутниками.

Разработанные системы должны обеспечивать для оптоволоконных и атмосферных систем связи максимальную дальность генерации квантового ключа до 100 км при скорости генерации до 10–100 Мбит/с. Системы должны быть полностью сертифицированы соответствующими службами и ведомствами, пройти аккредитацию в Минсвязи России и доказать свою совместимость с современными системами телекоммуникаций. После этого должно быть проведено масштабное внедрение разработанных российских систем квантовой связи.

В ближайшие десять лет должны быть выполнены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), направленные на увеличение дальности и скорости генерации квантового ключа в квантовых системах связи. Для этого необходимо разработать и создать быстродействующие, высокоэффективные, электрически управляемые генераторы одиночных фотонов на заданные длины волн и внедрить их в квантовые системы связи. Должны быть рассмотрены и изучены новые варианты кодирования одиночных фотонов, например в многобазисных закрученных состояниях света [24]. Должны быть разработаны детекторы одиночных фотонов с увеличенной квантовой эффективностью и быстродействием. Также следует выполнить поисковые исследования по проверке идей увеличения секретности квантовой криптографии за счет применения недавно предложенной квантовой связи, не зависящей от метода регистрации фотонов, когда передатчик и приемник посылают

одиночные фотоны в интерферометр с однофотонными детекторами, установленными посередине квантового канала [25].

Поскольку для развития квантовых систем связи в России необходимо разработать и создать отечественную элементную базу, требуется развитие всех сопутствующих технологий. Для разработки генераторов одиночных фотонов необходимо выполнить исследования квантовых точек в полупроводниках и создать полупроводниковые структуры, обеспечивающие токовую накачку и направленность однофотонного излучения. Для разработки полупроводниковых детекторов одиночных фотонов необходимо создать полупроводниковые структуры, обеспечивающие как эффективную регистрацию фотона, так и внутреннее усиление за счет лавинного размножения электронов. Для разработки оптоэлектронных компонентов необходимо развить производство и изготовление элементов интегральной оптики и фотоники. Наконец, теоретические исследования в области квантовой криптографии могут предложить новые протоколы генерации квантового ключа, способные увеличить скорость и дальность генерации ключа.

Создание элементной базы квантовой криптографии в России может послужить толчком к развитию и других квантовых технологий, например квантовых компьютеров и сенсоров. В этих технологиях зачастую требуется эффективно регистрировать одиночные фотоны или управлять их параметрами с помощью оптоэлектронных устройств. Быстродействующие электрически управляемые модули систем квантовой криптографии могут быть напрямую использованы как в квантовых компьютерах, так и в квантовых сенсорах.

Примерный временной план работ по созданию российских квантовых систем связи можно представить следующим образом:

- создание российской элементной базы для квантовых систем связи (однофотонные детекторы и оптоэлектронные компоненты) – 2 года;
- создание прототипов коммерческой оптоволоконной и атмосферной систем квантовой связи – 2 года;
- проведение испытаний, доводка и сертификация прототипов квантовых систем связи – 2 года;
- внедрение наземных квантовых систем связи – 3 года;
- внедрение спутниковых квантовых систем связи – 5 лет.

Заключение

Дальнейшее развитие квантовых систем связи требует увеличения дальности и скорости генерации квантового ключа, а также степени их защищенности. Для этого необходимо выполнять новые теоретические исследования для разработки новых идей по методам и протоколам генерации квантового ключа, организации наземных и космических сетей связи. Например, недавно теоретиками была выдвинута идея увеличения секретности за счет применения квантовой связи, не зависящей от метода регистрации фотонов, когда передатчик и приемник посылают одиночные фотоны в интерферометр с однофотонными детекторами, установленными посередине квантового канала. Также можно рассматривать предложенные теоретиками многобазисные протоколы генерации квантового ключа, обеспечивающие повышенный уровень секретности, и состояния света высокой размерности, обеспечивающие увеличение скорости генерации ключа.

Список литературы (References)

1. Gisin N., Ribordy G., Tittel W. et al. (2002) Reviews of Modern Physics. Issue 74. P. 145.
2. Shannon C.E. (1949) Bell System Technical Journal. Issue 28. P. 658.
3. Bennet C.H. (1992) Physical Review Letters. Issue 68. P. 3121.
4. Wootters W.K. Zurek W.H. (1982) Nature. Vol. 299. P. 802.
5. Bennet C.H. Brassard G. (1984) Proc. of IEEE Int. Conf. on Comput. Sys. and Sign. Proces. P. 175.

6. Bennet C.H. et al. (1992) Cryptology. Vol. 5.
7. Kurtsiefer C. et al. (2002) Nature. Vol. 419. P. 450.
8. Rarity J.G. et al. (2002) New Journal of Physics. Issue 82.
9. Bennet C.H.et.al. (1992) Cryptology. Vol. 5.
10. Rarity J.G. et al. (2001) Journal of Modern Optics. 48. Issue 1887.
11. Hugheset R.J. et al. (2002) New Journal of Physics. Issue 43.
12. Kurtsiefer C. et al. (2002) Nature. Vol. 419. P. 450.
13. Peng C. et al. (2005) Physical Review Letters. Issue 94.
14. Ursin R. et al. (2007) Nature Physics. Issue 3. P. 481.
15. Villoresi P. et al. (2008) New Journal of Physics. Issue 10.
16. Muller A. et al. (1993) Europhysics Letters. Issue 23, P. 383.
17. Muller A. et al. (1996) Europhysics Letters. Issue 233. P. 335.
18. Peng C. et al. (2007) Physical Review Letters. Issue 98.
19. Merolla J.-M. et al. (1999) Physical Review Letters. Issue 82. P. 1656.
20. Boucher W., Debuisschert T. (2005) Physical Review A. Issue 72.
21. Kosaka H. et.al. (2003) Electron. Lett. Issue 39. P. 1119.
22. Takesue H. et al. (2007) Nature Photonics. Issue 1. P. 343.
23. Stucki D. et al. (2002) New Journal of Physics. Issue 4. P. 41.
24. Mirhosseini M. et al. (2015) New Journal of Physics. Issue 17. P. 330.
25. Valivarthi R. et al. (2015) ArXiv:1501.07307v1.

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-34-45

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО МОНИТОРИНГУ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, СОЗДАННЫХ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ

Т.И. Турко, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. биол. наук, ttamara16@extech.ru

В.Ф. Федорков, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, fedorkov@extech.ru

Н.Н. Одинцова, вед. инж. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, nno.ru@mail.ru

Г.Г. Родионова, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. эконом. наук, rodionova@extech.ru

О.В. Фахурдинов, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, olegator@extech.ru

А.А. Тимохин, ст. инж. - прогн. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, timohinaa@extech.ru

Рецензент: Ю.Н. Андреев

В статье изложен анализ результатов мониторинга деятельности малых инновационных предприятий, а также имеющих у учредителей научно-технических заделов под общим названием «технологии», которые они считают возможным реализовать с использованием малых инновационных предприятий.

Ключевые слова: малое инновационное предприятие, хозяйственное общество, хозяйственное партнерство, результаты интеллектуальной деятельности, мониторинг деятельности малого инновационного предприятия, эффективность деятельности малого инновационного предприятия, интерактивная информационная система.

METHODOLOGICAL SUPPORT FOR MONITORING THE ACTIVITIES OF SMALL INNOVATIVE ENTERPRISES CREATED IN THE FIELD OF EDUCATION AND SCIENCE OF RUSSIA

T.I. Turko, Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Biology, ttamara16@extech.ru

V.F. Fedorkov, Head of Department, SRI FRCEC, fedorkov@extech.ru

N.N. Odintsova, Leading Engineer, SRI FRCEC, nno.ru@mail.ru

G.G. Rodionova, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Economics, rodionova@extech.ru

O.V. Fakhurdinov, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, olegator@extech.ru

A.A. Timokhin, Senior Software Engineer, SRI FRCEC, timohinaa@extech.ru

The article presents analysis of results of activities monitoring of small innovative enterprises, as well as the founders of scientific and technological background under the general name «technology», which they consider possible to implement using small innovative enterprises.

Keywords: small innovative enterprise, business society, economic partnership, results of intellectual activity, monitoring the activity of a small innovative enterprise, the effectiveness of the small innovative enterprise, an interactive information system.

Введение

Мониторинг деятельности хозяйственных обществ (ХО) (хозяйственных партнерств (ХП)), созданных в сфере образования и науки России [1–4], в 2019 г. проведен в соответствии с Письмом Минобрнауки России от 12.07.2019 № МН-1549/ГТ в период с 06.08.2019

по 15.09.2019 с использованием интерактивной информационной системы «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы» [<http://mir.extech.ru>] (дата обращения: 09.04.2020)].

Разработана актуализированная анкета мониторинга деятельности ХО (ХП), состоящая из двух частей.

В ч. I анкеты запрашивается информация учреждений науки и образования (учредителей) о подготовке ими технологий и научно-технических заделов для создания новых ХО (ХП), о развитии инновационной инфраструктуры, обеспечивающей деятельность ХО (ХП). Анализ этой информации направлен на улучшение механизма практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности (РИД) через создание ХО (ХП).

В ч. II анкеты, отражающую экономическую деятельность ХО (ХП), включены вопросы, позволяющие исследовать экономическую деятельность ХО (ХП).

Анализ результатов мониторинга деятельности МИП

По разделам ч. I анкеты мониторинга предложения представили 255 учредителей (50 % от общего числа учредителей, принявших участие в анкетировании).

По разделу I ч. I анкеты «Научно-технические заделы, перспективные для создания и деятельности малых инновационных предприятий (хозяйственных обществ (ХО) и хозяйственных партнерств (ХП))» учредителям было предложено дать описание имеющихся у них научно-технических заделов под общим названием «технологии», которые они считают возможным реализовать через создание ХО (ХП).

Дополнительно к стандартным вопросам запрошена информация, необходимая для анализа общей ситуации с подготовкой научно-технических заделов и для оценки потенциала развития сети хозяйственных обществ. Это вопросы, касающиеся:

- подразделения-разработчика;
- экономических преимуществ;
- сопутствующих полезных эффектов (влияние на другие отрасли, социальные эффекты и др.).

Дополнительные вопросы сформулированы в целях предварительной оценки полного эффекта создаваемых заделов.

Учредителями, принявшими участие в анкетировании, представлены описания 773 технологий. У некоторых учредителей вопросы ч. I анкеты вызвали затруднения. Так, в отношении сопутствующих полезных эффектов затруднились с ответом в 361 случаях, экономических преимуществ — в 258 случаях, технологических преимуществ — в 21 случаях.

В анкете был сформулирован вопрос о подразделении-разработчике новой технологии, что обычно не указывают в описании научно-технических разработок. Цель этого вопроса состоит в проверке возможности создания комплексной информационной системы для организации взаимодействия научных организаций с промышленностью.

Одним из обязательных вопросов для анализа научных заделов является новизна предлагаемых к разработке технологий, их отличие от аналогов. Наряду с усовершенствованием существующих технологий, методов, материалов и т.д. у учредителей имеется целый ряд уникальных заделов, являющихся разработками университетов.

Представленные учредителями технологии обладают высокой степенью готовности к разработке инновационных проектов. Около одной трети общего числа приведенных технологий готовы к внедрению в производство. В пяти случаях имеются опытно-промышленные образцы, в двух — проводится подготовка к опытно-промышленной апробации технологии.

Раздел полезных эффектов предполагает получение информации в виде перечня достигаемых полезных эффектов от применения новых технологий. Однако в ряде случаев отмечается смешение дополнительных полезных эффектов с обычными экономическими эффектами.

Экономические преимущества новых технологий при анкетировании были определены, главным образом, как снижение эксплуатационных затрат при использовании новой технологии или нового продукта или же снижение стоимости самого продукта по сравнению с аналогами; повышение эксплуатационных характеристик, например снижение затрат на оплату энергопотребления; использование более дешевого сырья, использование дешевого компонента.

Вторым по значимости в разделе экономических преимуществ является импортозамещение. При анкетировании также были выявлены такие преимущества, как отсутствие аналогов, расширение возможностей применений продукта, оптимизация управления за счет повышения информативности.

Характеристики представленных научно-технических заделов отличаются от типичных результатов интеллектуальной деятельности глубиной и масштабом, по всей видимости, обусловленными длительным периодом исследований с получением многих промежуточных результатов. По этой причине заделы способны обеспечить высокий потенциал создаваемых хозяйственных обществ. Многообразие полезных экономических и социальных эффектов позволяет сделать вывод о целесообразности поддержки инновационных проектов полного цикла с участием одновременно учредителей и хозяйственных обществ.

Анализ представленных вузами технологий и научных заделов показывает, что они не содержат результатов фундаментальных исследований, носят сугубо прикладной характер, содержат значительную научную и инновационную составляющую, направлены на импортозамещение и удовлетворение потребности отраслей реальной экономики своих регионов. Однако вузы и научные учреждения не могут в полной мере заменить отраслевую науку и обеспечить промышленность необходимыми инновационными результатами из-за слабой оснащенности передовой технологической и производственной базами и слабым знанием потребности промышленности в новых технологиях. К тому же вузы в лучшем случае имеют связи с промышленностью своего региона и не ощущают в полной мере потребности в своих разработках в масштабе страны. Участие вузов и научных организаций в выполнении проектов на конкурсной основе (госзаказ) при реализации федеральных целевых программ, Национальной технологической инициативы носит фрагментарный, неустойчивый, зачастую одноразовый характер, не обеспечивает в долгосрочной перспективе создание научных школ и необходимой технологической базы.

Указанные учредителями технологии в основном запатентованы, что обеспечивает возможность их включения в экономический и гражданско-правовой оборот.

В анкетировании по разделу 2 ч. I анкеты «Инновационная инфраструктура вуза или научного учреждения, обеспечивающая деятельность ХО (ХП)» приняли участие 255 учредителей (50 % от общего числа учредителей, принявших участие в анкетировании). В этом разделе анкеты предлагалось указать подразделения вузов и научных учреждений, совмещающие научно-техническую и инновационную деятельность.

Наличие подразделений, совмещающих виды деятельности, выявлено у 226 (88 %) учредителей. При этом не учитывались случаи, когда вместо подразделений учредители показывали малые инновационные предприятия (МИП), имеющие статус юридических лиц и не входящие в состав организации-учредителя. Информация о подразделениях, совмещающих научную и инновационную деятельность, позволяет одновременно судить о наличии инфраструктуры инновационной деятельности у многих учредителей.

Одним из наиболее распространенных элементов инновационной инфраструктуры вузов, совмещающих научно-техническую и инновационную деятельность, остаются традиционные научные подразделения (центры, управления, отделы, кафедры и т. д.), в процессе анкетирования их отметили 46 учредителей. Выявлено также, что совместную деятельность активно осуществляли и другие ключевые элементы инновационной инфраструктуры: подразделения трансфера технологии и коммерциализации; центры (управления, отделы) науки

и инноваций; инжиниринговые центры; центры коллективного пользования; технопарки; бизнес-инкубаторы.

В заключение анализа данных учредителей, касающегося инфраструктуры и инновационного блока организаций — учредителей ХО (ХП), следует отметить, что активные организации продолжают развивать инновационную инфраструктуру, меняют ее состав, так как в настоящее время более актуально не создание новых предприятий, а активизация действующих; все больше подразделений вузов специализируется на совмещении научной, образовательной и инновационной деятельности.

По разделу 3 ч. 1 анкеты «Условия деятельности ХО (ХП)».

На вопрос 1: «Участвуют ли выпускники вуза в работе ХО?» — положительно ответили 188 учредителей (74%), 56 учредителей не привлекали выпускников.

В некоторых случаях были получены расширенные ответы.

Ставропольский государственный аграрный университет: «Коллектив хозяйственных обществ укомплектован из числа выпускников ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ, производственные площади этих предприятий являются местом практик для старшекурсников, на сегодняшний день предоставлено 23 рабочих места».

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук: «ИППИ РАН не является вузом, однако на базе ИППИ РАН функционируют базовые кафедры МФТИ, выпускники которых участвуют в работе ХО».

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники: «Участвуют в основном директора ХО — это выпускники или сотрудники ТУСУР».

Из представленных ответов можно сделать вывод, что для большинства учредителей такой механизм внедрения РИД, как создание МИП, является по-прежнему актуальным, служит хорошей базой для получения студентами и аспирантами практических навыков инновационной деятельности, обеспечивает создание рабочих мест для выпускников.

Относительно вопроса 2: «Испытывают ли ХО недостаток специалистов технического профиля (конструкторы, программисты, другие)?» — затруднились с ответом 18 учредителей (7% опрошенных). Положительно на данный вопрос ответили 97 (38%) учредителей, при этом указав на нехватку программистов и на недостаток конструкторов и технологов.

На вопрос 3: «Участвуют ли ХО совместно с учредителями в выполнении контрактов?» — 136 (53%) учредителей ответили положительно, 104 (41%) — не участвуют в выполнении контрактов, 15 — затруднились с ответом.

На вопрос 4: «Считаете ли вы целесообразным включать в отчетность учредителя объем НИОКР, выполненных ХО по заказам учредителя или совместно с ним?» — положительно ответили 148 учредителей (58%), 16 вузов затруднились с ответом, 97 (38%) учредителей высказались против включения этого показателя в отчетность.

На вопрос 5: «Может ли отрицательно повлиять на работу ХО отмена налоговых или иных льгот?» — подавляющее число учредителей — 214 (84%) ответили, что налоговые льготы для ХО необходимы; 26 учредителей ответили отрицательно на этот вопрос, 16 — затруднились с ответами.

Наибольшие прямые льготы для ХО (ХП) определены Налоговым кодексом Российской Федерации по уплате страховых платежей (в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования и Фонд обязательного медицинского страхования) для ХО (ХП), включенных в Реестр учета уведомлений. Но эти льготы установлены по 2019 г. включительно. С 2020 г. ХО (ХП) будут осуществлять страховые отчисления на общих основаниях. С учетом того, что в последние годы активно идет процесс ликвидации созданных ХО (ХП), а количество неэффективных ХО (ХП) (показавших нулевую выручку) составляет 62,8% от ХО (ХП), по которым учредители предоставили сведения, представляется, что в отсутствие льгот процесс ликвидации ХО (ХП) значительно возрастет.

Анализ сведений о численности персонала МИП

В ч. II анкеты в 2019 г. 306 учредителей из 507 (60,3 %) предоставили сведения об экономической деятельности за 2018 г. по 2068 из 2508 находящихся в базе учета ХО (ХП) (82,5 % ХО (ХП) были охвачены мониторингом). В части персонала ХО (ХП) обследование проводилось по учету общей численности и численности обучающихся (студентов, аспирантов) за 2018 г. и на 01.07.2019.

Согласно полученным данным общая численность работников ХО (ХП), включая внешних совместителей, лиц, выполнявших работу по договорам гражданско-правового характера, работников, получавших заработную плату в организации, на 01.01.2018 составила 8115 чел. На 01.01.2019 общая численность персонала в опрошенных ХО (ХП) составила 6801 чел., средняя численность персонала за 2018 г. составила 3,3 чел. на одно ХО (ХП). На 01.07.2019 общая численность составила 7473 чел., т.е. на 9,9 % больше, чем в начале года.

Общая численность персонала в разбивке по периодам, в том числе в категории «Обучающиеся», представлена на рис. 1.

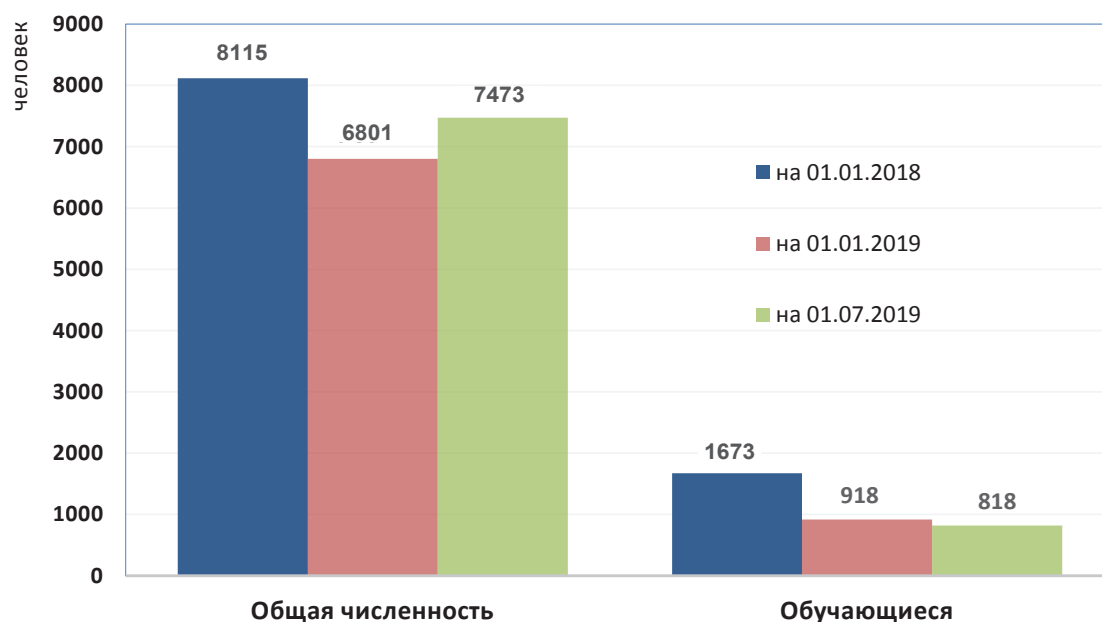


Рис. 1. Динамика численности персонала хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств

Анализ сведений о выручке хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств

Информация о выручке ХО (ХП) дает представление об объеме производимых и реализуемых ими продукции, работ и услуг. В анкете запрашивалось значение выручки в соответствии с отчетом о финансовых результатах за 2018 г. в тыс. руб.

По данным мониторинга, 37,2 % ХО (ХП), по которым была предоставлена информация, работали с выручкой; по 62,8 % ХО (ХП), по которым была предоставлена информация, была показана нулевая выручка.

Средняя выручка в расчете на одно ХО (ХП) из тех, по которым была предоставлена информация, в 2018 г. составила 3557,8 тыс.руб. (с показанной нулевой выручкой), средняя выручка на одно ХО (ХП) из показавших ненулевую выручку составила 45 073 тыс.руб. При этом 79,9 % ХО (ХП) имеют выручку до 1000 тыс.руб.

Более подробные сведения о распределении выручки ХО (ХП) представлены на графике (рис. 2). На нем для каждого интервала выручки в тыс. руб. отражены количество ХО (ХП) и накопленный (интегральный) процент общего количества ХО (ХП).

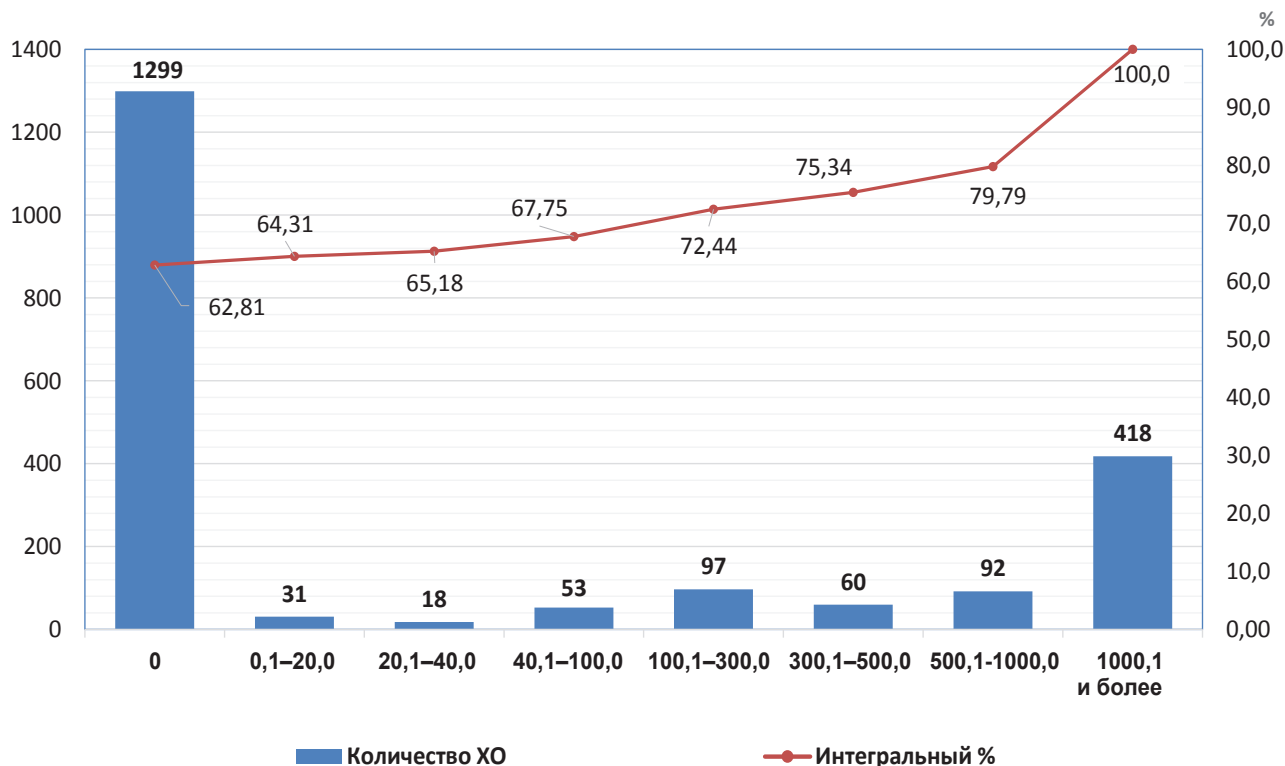


Рис. 2. Распределение выручки ХО (ХП), тыс. руб.

Распределение объема средней выручки в зависимости от направления деятельности ХО (ХП) и в соответствии с классификацией продукции (товары, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), работы (кроме НИОКР), услуги) представлено на рис. 3. На диаграмме показаны значения средней выручки на одно ХО (ХП) по направлениям их деятельности и интегральный процент количества ХО (ХП). Отмечается, что в 2018 г. преобладает показатель средней выручки на одно ХО (ХП) по направлению деятельности «Работы (кроме НИОКР)» (19 280 тыс.руб.), по направлению деятельности «Товары» средняя выручка на одно ХО (ХП) увеличилась до 11 945 тыс.руб. — с 10 067 тыс.руб. в 2017 г. Эта здоровая тенденция свидетельствует о том, что ХО (ХП) увеличивают производство товаров на основе внедрения РИД, с которыми выходят на рынок.

Структура выручки ХО (ХП), показавших ненулевое значение по источникам, представлена на рис. 4. Анализ указанной выручки ХО (ХП) показал, что в основном эти ХО (ХП) ориентированы на работу с предприятиями и организациями. В целом выручка, полученная в рыночном секторе в 2018 г. (на потребительском рынке, по заказу предприятий), составляет в среднем 88,9% от общей выручки, при этом 16,4% ХО (ХП) работают на потребительский рынок, 2,5% ХО (ХП) работают по государственному заказу, по заказу учредителя — 6,2%.

Усредненная структура выручки ХО (ХП) по видам деятельности показана на рис. 5. Из диаграммы видно, что по направлению деятельности ХО (ХП) «Товары» в 2018 г. выруч-

ка на потребительском рынке выросла и составила 50 %, в 2017 г. этот показатель был равен 44,6 %. «Работы (кроме НИОКР)» – выручка по заказу предприятий выросла и составила в 2018 г. 91,0 % вместо 82,9 % в 2017 г. «Услуги» по заказу предприятий – выручка выросла и составила в 2018 г. 68,3 %, в 2017 г. она составила 40,3 %. Эти факты свидетельствуют об ориентации деятельности ХО (ХП) на интересы региона и региональные рынки.

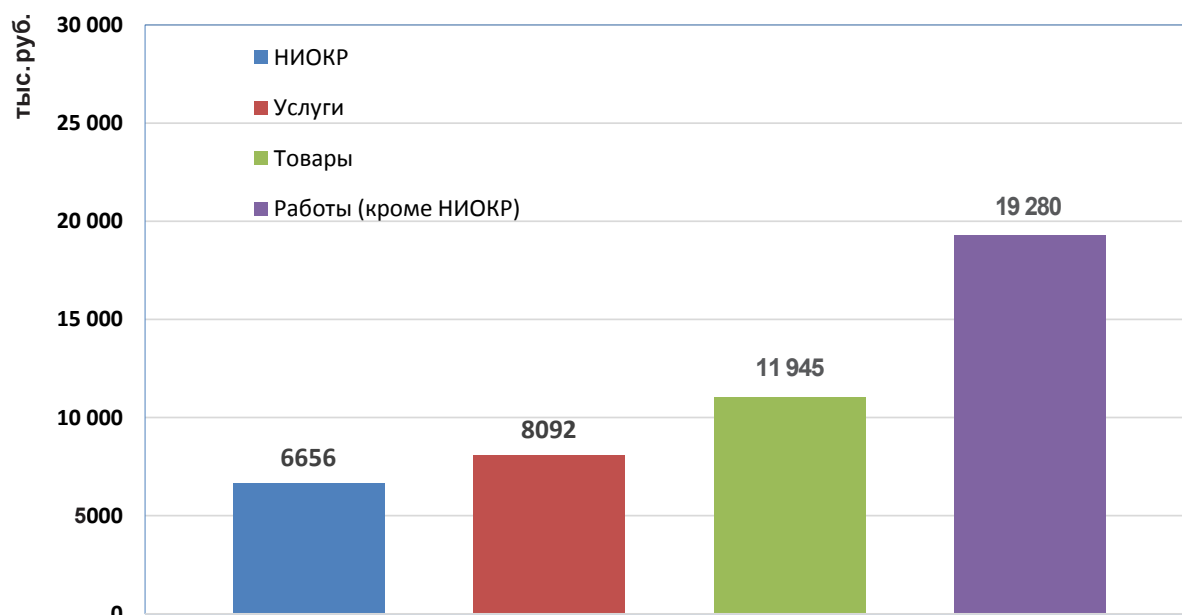


Рис. 3. Средняя выручка ХО (ХП) по видам деятельности



Рис. 4. Усредненная структура выручки ХО (ХП) по источникам

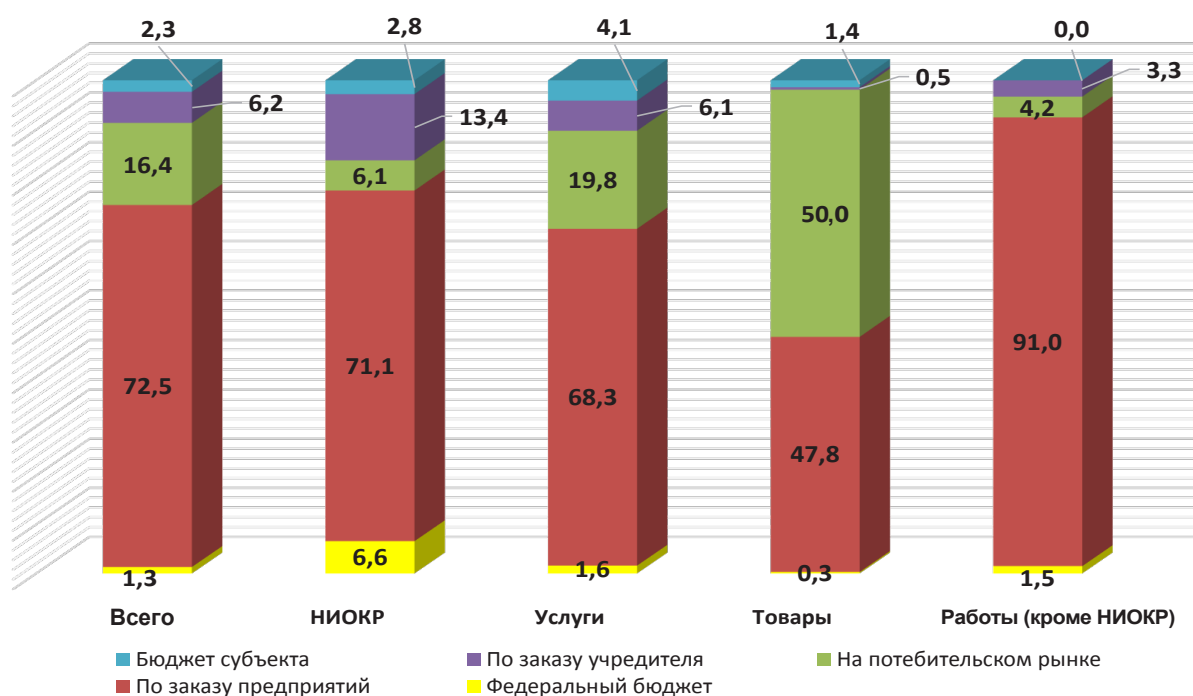


Рис. 5. Усредненная структура выручки ХО (ХП) по видам деятельности, %

Анализ сведений о привлечении средств хозяйственными обществами и хозяйственными партнерствами

Информация о ненулевом объеме привлеченных средств была предоставлена учредителями по 10 % (207 из 2068) ХО (ХП). Средний объем привлеченных средств на одно ХО (ХП) (от общего числа ХО (ХП), по которым представлялась информация) составляет 2207,1 тыс. руб.

Структура привлеченных средств по источникам финансирования представлена на рис. 6.

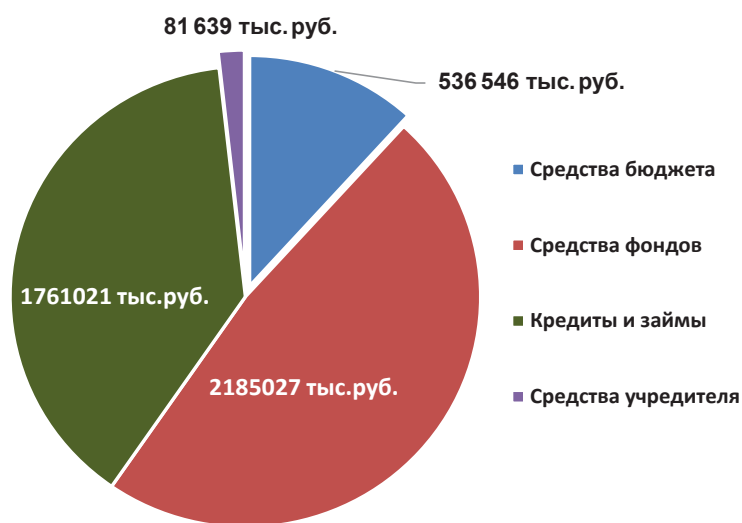


Рис. 6. Усредненная структура привлеченных малыми инновационными предприятиями средств по источникам

По данным, предоставленным учредителями по ХО (ХП), основным источником средств, привлеченных на развитие ХО (ХП), являются фонды, такие как Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и др. Суммарный объем привлеченных средств фондов по 62 ХО (ХП) составляет 2 185 027,0 тыс. руб. (в среднем 35 242,4 тыс. руб. на одно ХО (ХП) из 62).

Что касается средств бюджета — запрашивалась информация о привлечении средств бюджета в форме субсидий (бюджетные средства, предоставляемые на условиях долевого финансирования целевых расходов). Его суммарный объем составил 536 546,0 тыс. руб. по 31 ХО (ХП) (в среднем 17 307,9 тыс. руб. на одно ХО (ХП) из 31).

Кредиты и займы в 2018 г. получили 74 из 2068 ХО (ХП), суммарный объем привлеченных средств по данному источнику составил 1 761 021,0 тыс. руб. При этом данным источником воспользовались в 2018 г. лишь 3,6 % из числа всех ХО (ХП), по которым была предоставлена информация. Это означает, что степень привлечения кредитов ХО (ХП) крайне мала.

Средства в объеме 81 639,16 тыс. руб. от учредителей в 2018 г. получили 40 (1,9%) из 2068 ХО (ХП). Средний объем средств, полученных от учредителей в качестве финансовых вливаний, составил 2041,0 тыс. руб. на одно ХО (ХП) из 40.

Анализ сведений о прибыли хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств

Из числа ХО (ХП), по которым были предоставлены данные за 2018 г., 22,3 % (462) из 2068 ХО (ХП) получили прибыль. Общий объем прибыли из числа ее показавших ХО (ХП) составил 1 542 173,75 тыс. руб., при этом 114 ХО (ХП) показали убыток, общий объем которого составил 172 586,7 тыс. руб. Структура прибыли в распределении по видам деятельности в соответствии с данными анкетирования представлена на рис. 7.

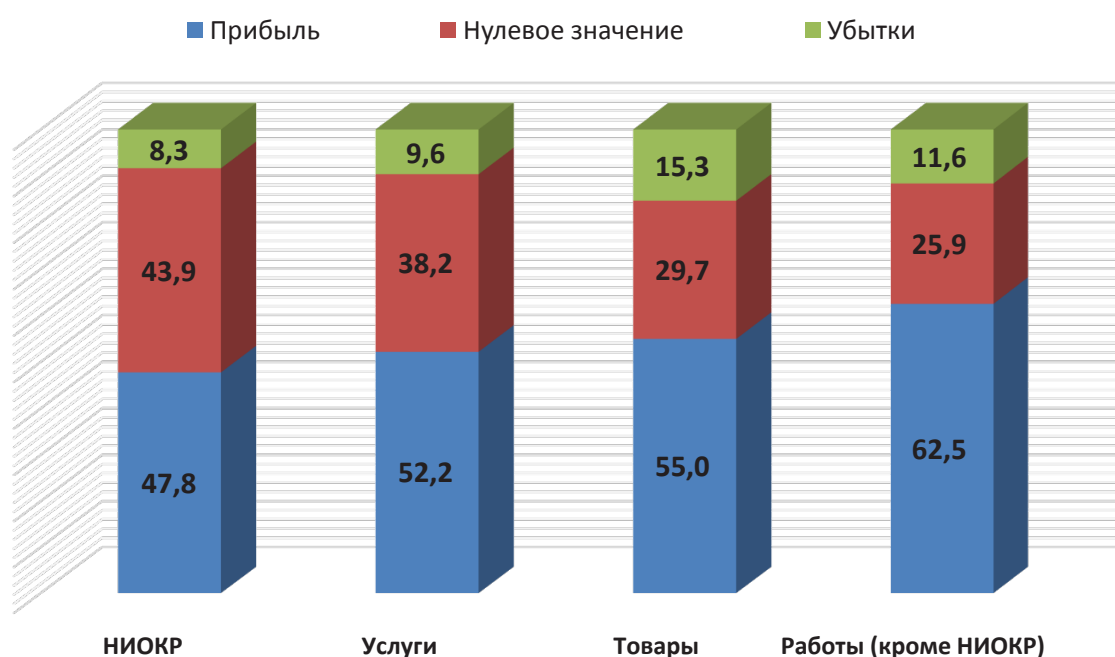


Рис. 7. Структура чистой прибыли в распределении видов деятельности ХО (ХП), %

На рис. 8 представлены процент прибыльных ХО (ХП) из числа предоставивших сведения по данному вопросу (правая ось) и средний размер чистой прибыли в тыс. руб., рассчитанный по прибыльным ХО (ХП) (левая ось). Наибольший размер чистой прибыли наблюдает-

ся в сфере реализации НИОКР (47,8%). Высокий процент прибыльных предприятий (62,5%), основным видом деятельности которых являются работы (кроме НИОКР). Среднее значение прибыли рассчитывалось с учетом нулевых значений, показанных ХО (ХП), и составляет 788,4 тыс. руб. на одно ХО (ХП).

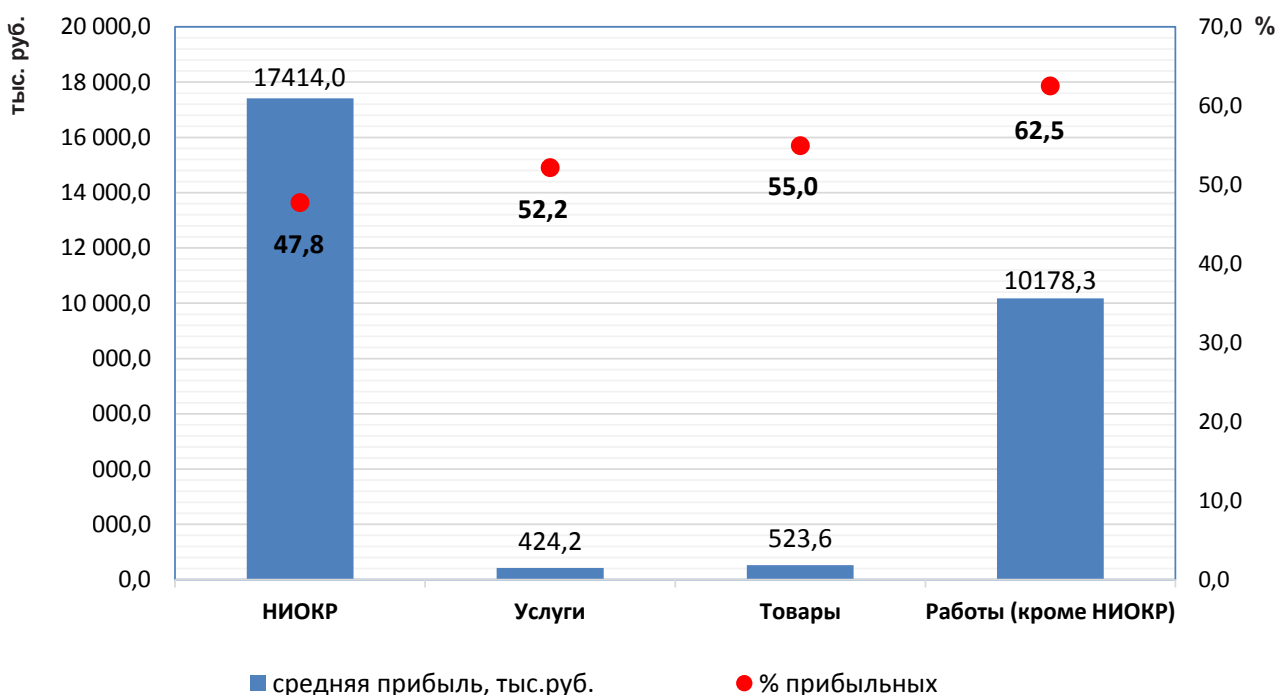


Рис. 8. Сведения о средней чистой прибыли хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств

Анализ использования хозяйственными обществами и хозяйственными партнерствами инфраструктуры учредителя

Из 2068 ХО (ХП), по которым учредители предоставили информацию о мониторинге за 2018 г., лишь 240 (11,6%) ХО (ХП) арендуют площади для своей деятельности. Из числа ХО (ХП), арендующих площади, средняя площадь аренды составила 128 м² на одно арендующее площади ХО (ХП), без учета сведений по аренде ЗАО «Селекционно-семеноводческая компания «Уральский картофель», показавшего площадь аренды 1 470 000 м². Однако около трех четвертей из них (65,4%) арендуют площадь менее 50 м² (рис. 9).

Кроме того, анализ данных мониторинга показал, что из 2068 ХО (ХП), по которым внесены сведения, только 276 (13,3%) ХО (ХП) используют в своей деятельности оборудование учредителя, а остальные ХО (ХП) его не используют.

Из данных мониторинга следует, что 430 из 2068 ХО (ХП) в той или иной степени используют инновационную инфраструктуру или иную форму поддержки со стороны региона, в том числе:

- предоставление льгот по уплате налогов;
- льготную аренду помещений, оборудования;
- предоставление информационной поддержки;
- предоставление консультационной поддержки (юридические, бухгалтерские консультации сотрудников), содействие в формировании проектной документации;

- формирование спроса на инновационную продукцию (организация участия в выставках);
- финансовое обеспечение (субсидии, гранты, кредиты, займы, гарантии, взносы в условный капитал);
- бизнес-миссии, образовательные семинары;
- поддержку экспорта.

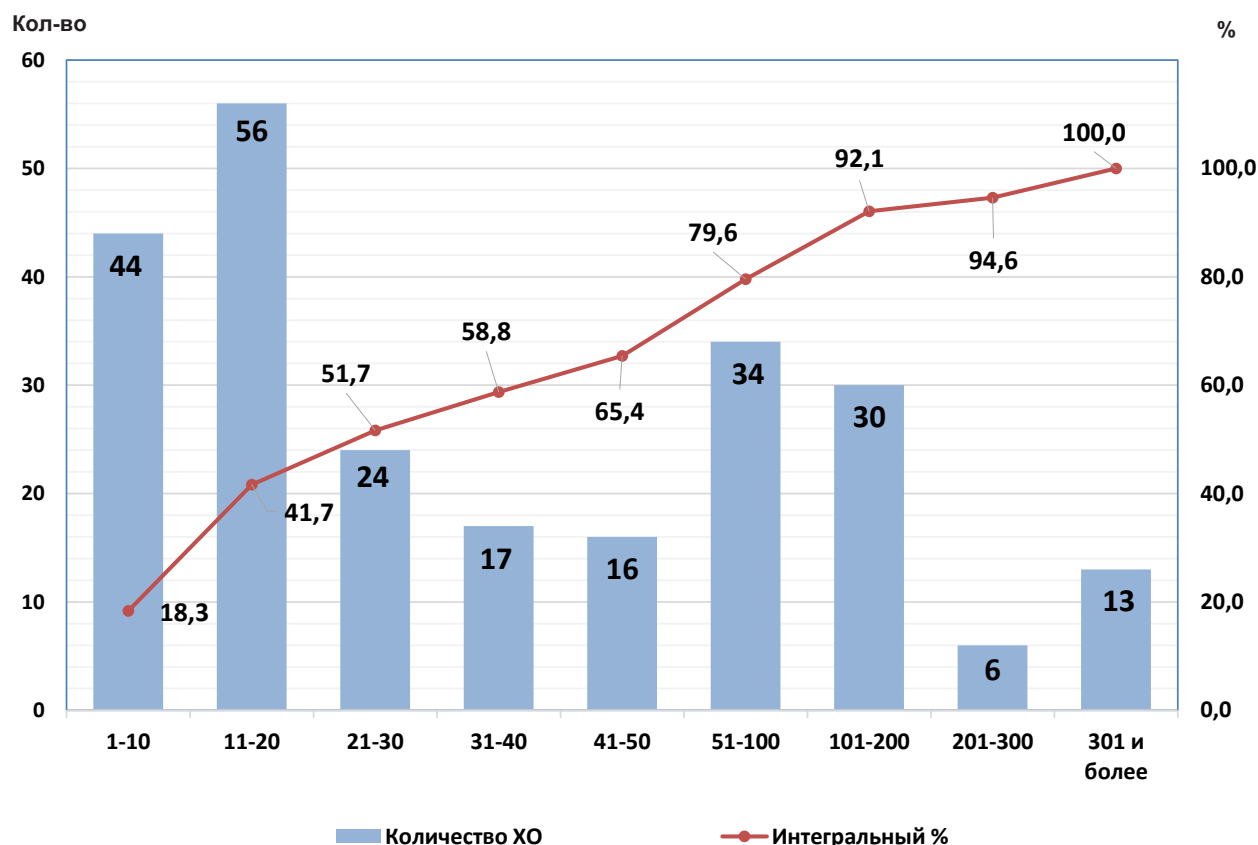


Рис. 9. Информация о размере площадей, арендуемых хозяйственными обществами и хозяйственными партнерствами у учредителей

Анализ результатов интеллектуальной деятельности, созданных хозяйственными обществами и хозяйственными партнерствами, и проектов с их использованием

В мониторинге также запрашивалась информация по количеству РИД, созданных ХО (ХП). Из 2068 ХО (ХП), сведения о которых были представлены в мониторинге, 387 ХО (ХП) показали создание 20067 РИД, что составляет 9,7 РИД на одно ХО (ХП) в целом, или 51,8 РИД на одно ХО (ХП) из числа создавших.

Число проектов, выполненных ХО (ХП) с использованием РИД, составило 2172. Эти проекты выполнили 350 ХО (ХП) из 2068, что составило 6,2 проекта на одно ХО (ХП) из числа показавших выполнение таких проектов.

Основные выводы исследования

Учредители в очередной раз отметили эффективность такого механизма коммерциализации РИД, как создание ХО (ХП). Он по-прежнему широко используется вузами и научными организациями. Все больше подразделений вуза специализируются на совмещении научной, образовательной и инновационной деятельности.

У большинства учредителей заметно выросло количество научно-технических заделов (технологий) для коммерциализации через механизм создания ХО (ХП). С помощью опроса были выявлены завершённые научные разработки, наиболее готовые к созданию инновационных продуктов, что окажет положительное влияние как на инновационную деятельность ХО (ХП), так и на социальную сферу.

Выявлены два варианта организации инновационной деятельности: через создание структурных подразделений у учредителей (центры, институты) или же через создание ХО (ХП).

Основные пожелания учредителей заключаются в сохранении льгот для МИП, в первую очередь по страховым платежам на 2020 г. и последующие годы.

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания 2020 г. № 075-01394-20-02.

Список литературы

1. Федорков В.Ф., Турко Т.И. и др. Анализ результатов мониторинга деятельности малых инновационных предприятий, созданных в сфере образования и науки России // *Инноватика и экспертиза*. 2019. № 2 (27). С. 36–48.
2. Федеральный закон от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 09.04.2020).
3. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 09.04.2020).
4. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 04.01.2014 № 43 «Об организации в Министерстве образования и науки Российской Федерации работы по учету уведомлений о создании хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств». URL: <http://минобрнауки.рф> (дата обращения: 09.04.2020).

References

1. Fedorkov V.F., Turko T.I. et al. (2019) *Analiz rezul'tatov monitoringa deyatel'nost' malykh innovatsionnykh predpriyatiy, sozdannykh v sfere obrazovaniya i nauki Rossii* [Analysis of the monitoring results of the activities of small innovative enterprises created in the field of education and science of Russia] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. No. 2 (27). P. 36–48.
2. *Federal'nyy zakon ot 23.08.1996 No. 127-FZ «O nauke i gosudarstvennoy nauchno-tekhnicheskoy politike»* [Federal Law of 08.23.1996 No. 127-FZ «On Science and the State Scientific and Technological Policy»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (accessed: 09.04.2020).
3. *Federal'nyy zakon ot 29.12.2012 No. 273-FZ «Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law of December 29, 2012 No. 273-FZ «On Education in the Russian Federation»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (accessed: 09.04.2020).
4. *Prikaz Ministerstva obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii ot 04.01.2014 No. 43 «Ob organizatsii v Ministerstve obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii raboty po uchetu uvedomleniy o sozdanii khozyaystvennykh obshchestv i khozyaystvennykh partnerstv»* [Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 04.01.2014 No. 43 «On the organization in the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of work on the accounting of notifications on the establishment of business companies and business partnerships»]. Available at: <http://minobrnauki.rf> (accessed: 09.04.2020).

ЭКСПЕРТИЗА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-46-58

ДОСТОВЕРНОСТЬ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО РЕЕСТРА ЭКСПЕРТОВ

Р.Р. Илющенко, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, renaldi@extech.ru

П.Б. Мельник, зам. ген. директора ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, доцент, pmelnick@extech.ru

Рецензент: О.А. Фиофанова

Рассмотрен вопрос достоверности результатов экспертизы научно-технических и инновационных проектов, проводимой с использованием Информационной системы Федерального реестра экспертов научно-технической сферы. Проанализированы типовые схемы экспертизы с различным составом экспертных групп, определены источники и причины экспертных ошибок. Предложен метод количественной оценки достоверности итоговых экспертных оценок для различных схем экспертизы, основанный на вероятностном подходе. Даны рекомендации по совершенствованию процедур экспертного опроса в целях повышения достоверности экспертных оценок.

Ключевые слова: эксперт, экспертиза, схема экспертизы, экспертная группа, экспертная оценка, частная оценка, итоговая оценка, экспертная ошибка, вероятность ошибки, достоверность оценки.

THE RELIABILITY OF EXPERT ASSESSMENTS DURING EXAMINATION OF SCIENTIFIC, TECHNOLOGICAL AND INNOVATIVE PROJECTS IN THE INFORMATION SYSTEM OF THE FEDERAL ROSTER OF EXPERTS

R.R. Ilyushchenko, Head of Department, SRI FRCEC, renaldi@extech.ru

P.B. Melnik, Deputy Director General, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, Associate Professor, pmelnick@extech.ru

The question of the reliability of the results of examination of scientific, technological and innovative projects conducted using the Information System of the Federal Roster of Experts of Scientific and Technological Spheres is considered. Typical examination schemes with different composition of expert groups are analyzed, sources and causes of expert errors are identified. A method for quantifying the reliability of the final expert assessments for various examination schemes based on a probabilistic approach is proposed. Recommendations are given on improving expert survey procedures in order to increase the reliability of expert assessments.

Keywords: expert, examination, examination scheme, expert group, expert assessment, private assessment, final assessment, expert error, probability of error, reliability of the assessment.

Введение

Важной и неотъемлемой частью механизма реализации программ и проектов в научно-технической и инновационной сферах является экспертиза, на основании результатов кото-

рой принимается решение о целесообразности грантовой, программно-целевой или инвестиционной финансовой поддержки наиболее перспективных из них.

В настоящее время научно-техническая и технологическая экспертиза в России начинает формироваться в самостоятельный рынок объемом не менее 500 тыс. экспертиз в год [1]. Так, например, ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, являющееся оператором Федерального реестра экспертов научно-технической сферы (далее – ФРЭ), обеспечивает организацию и проведение 15–20 тыс. экспертиз ежегодно.

В связи с неуклонным увеличением числа экспертиз и сокращением времени, отводимого на их проведение, все большую актуальность приобретает задача повышения их эффективности. Решение указанной задачи может быть успешно достигнуто путем сочетания двух основных подходов: *организационного и методического*.

Организационный подход подразумевает совершенствование процедур взаимодействия с экспертами и автоматизации процессов подбора экспертов, распределения и назначения заданий на экспертизу, обработки экспертных оценок и формирования экспертных заключений.

Методический подход нацелен на поиск оптимального сочетания схемы проведения экспертизы и соответствующих методов обработки результатов экспертизы, обеспечивающих максимальную достоверность экспертных оценок при минимальных затратах на экспертизу.

Цель настоящей статьи – получение количественных показателей достоверности экспертных оценок для типовых схем проведения экспертизы научно-технических и инновационных проектов в системе дистанционной экспертизы ФРЭ, проведение сравнительного анализа различных схем экспертизы и разработка рекомендаций по совершенствованию экспертных процедур.

Виды ошибок при проведении экспертизы

В процессе формирования экспертных пулов и групп одними из самых важных критериев отбора экспертов являются их *компетентность и объективность*.

Компетентность в данном случае понимается в широком смысле – как некий обобщенный характеризующий эксперта показатель, от величины которого зависит достоверность оценок, получаемых от этого эксперта. Расчет показателей компетентности эксперта представляет собой самостоятельную задачу, для решения которой разрабатываются специальные математические модели, позволяющие проводить ранжирование экспертов с присвоением им числовых показателей (весов), которые в дальнейшем учитываются при обработке экспертных оценок. На сегодняшний день существует множество моделей, каждая из которых с той или иной степенью полноты описывает эксперта набором значений ряда параметров, являющихся измеримыми эмпирическими индикаторами содержательно сформулированных характеристик. Для измерения выражающих компетентность характеристик применяются следующие основные методы: самооценка специалистов, их взаимная оценка, судейский метод, документальный метод, тестовый метод. Общие принципы построения таких моделей и примеры различных подходов изложены в [6].

В математической модели, предложенной в [5], компетентность эксперта представлена в виде вектора в многомерном пространстве числовых и нечисловых показателей, характеризующих профессиональные и личностные качества эксперта, его опыт и результативность экспертной деятельности. При формировании составляющих вектора компетентности использован комбинированный подход, объединяющий документальный, экспериментальный и аттестационный методы. Значения элементов вектора компетентности рассчитываются на основании всей информации, хранящейся в базе данных ФРЭ и связанной с конкретным экспертом. Вектор компетентности по своей сути является динамическим интегральным числовым эквивалентом располагаемой априорной информации об эксперте, всесторонне характеризующим его как субъекта экспертно-аналитической деятельности в привязке

к текущему моменту времени. Компоненты вектора регулярно пересчитываются через определенные промежутки времени и используются в дальнейшем в процедурах формирования экспертных пулов и групп, а также при оценке достоверности результатов выполненных экспертно-аналитических работ.

Объективность следует понимать лишь как непредвзятое отношение эксперта к оцениваемому проекту, так как любая экспертная оценка по сути своей всегда субъективна, поскольку является суждением, выносимым экспертом на основании своих знаний и личного опыта. Отклонение суждения эксперта от истинной оценки, которой заслуживает проект, образует ошибку экспертизы.

Экспертные ошибки могут возникать по различным причинам, характерными из которых являются:

- несоответствие или неполное соответствие компетенции эксперта тематике оцениваемого проекта;
- вынесение оценки при отсутствии или недостаточности информации, относящейся к проекту;
- невнимательность, дефицит времени и т. д.;
- конфликт интересов.

В литературе, посвященной методам экспертных оценок, указаны и другие источники ошибок, такие как недостаточно точное представление о задаче, неясность в отношении цели, которую преследует решение задачи, неточность или неполнота сформулированных целей, предубежденность как в отношении исходных данных и вариантов решений, так и в отношении результатов [2]. Также к экспертным ошибкам могут приводить некорректность методик организации и проведения экспертно-аналитических исследований, неточности и неопределенности в экспертных анкетах и т. п.

Практика показывает, что ошибаться могут все эксперты, независимо от ученых степеней, должностей и опыта работы. При этом, если предубежденность эксперта в отношении оцениваемого проекта, например вследствие конфликта интересов, является причиной систематической ошибки, устраняемой организационными мерами, то остальные ошибки можно считать носящими случайный характер и применять для их анализа разработанные в теории экспертных оценок методы, основанные на математических моделях поведения экспертов и математико-статистических методах анализа экспертных оценок [3–5].

При проведении экспертизы проектов возможны ошибки 1-го и 2-го рода. Ошибка 1-го рода («ложная тревога») возникает, когда бесперспективный проект получает незаслуженно высокую оценку, а ошибка 2-го рода («пропуск цели») — когда эксперт отклоняет проект, заслуживающий поддержки (см. табл. 1).

Таблица 1

Возможные варианты решений при оценке проекта

«Истинная» оценка, которой заслуживает проект	Решение	
	Проект поддержан (верное решение)	Проект отклонен (ошибка 2-го рода)
Проект следует поддержать	Проект поддержан (верное решение)	Проект отклонен (ошибка 2-го рода)
Проект следует отклонить	Проект поддержан (ошибка 1-го рода)	Проект отклонен (верное решение)

Если сравнивать ошибки 1-го и 2-го рода по своей значимости, то в общем случае достаточно сложно сказать, что хуже — недооценка проекта или его переоценка. Очевидно, что в случае небольших малозатратных исследовательских проектов, имеющих целью

проверку научных идей или создающих научный задел для будущих стартапов, лучше пойти на риск и поддержать проект, чем его недооценить и в итоге отвергнуть. Напротив, в случае масштабных высокозатратных проектов, результаты которых затрагивают целые отрасли экономики и могут оказать влияние на условия жизни людей, их безопасность, повышенная доля скепсиса допустима и приветствуется. Данное обстоятельство требует использования в конкретных видах экспертизы критериев принятия решения, учитывающих разумный баланс между ошибками 1-го и 2-го рода, другими словами — между долей оптимизма и пессимизма при вынесении окончательного решения по оцениваемому проекту. В настоящем исследовании мы будем считать ошибки 1-го и 2-го рода равнозначными.

В большинстве математических моделей, разработанных применительно к методу экспертных оценок, неверная оценка проекта вследствие ошибки эксперта рассматривается как случайное событие, которое в каждой конкретной экспертизе может наступить или не наступить [6]. При этом количественным показателем достоверности экспертной оценки конкретного проекта конкретным экспертом (группой экспертов) может выступать *вероятность ошибочной оценки*. Достоверность экспертных оценок можно также характеризовать не вероятностью ошибки P , а противоположной ей величиной $D = (1 - P)$ и выражать в процентах, что в ряде случаев более удобно.

Анализ типовых схем экспертизы

Экспертиза научных, научно-технических и инновационных проектов, организуемая ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ с привлечением экспертов ФРЭ, проводится, как правило, методом параллельной работы нескольких экспертов, работающих независимо друг от друга. Общая схема работы экспертов представлена на рис. 1, а основные виды проводимой экспертизы — в табл. 2.

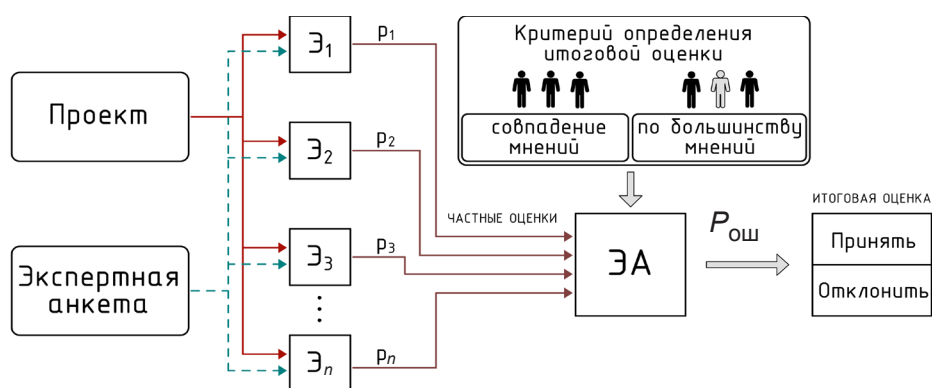


Рис. 1. Схема проведения одноэтапной экспертизы n независимыми экспертами ФРЭ

Каждый эксперт готовит независимое экспертное заключение, содержащее частную оценку проекта. Затем эти заключения поступают эксперту-администратору (далее — ЭА), выполняющему роль администратора экспертной группы. Руководствуясь заранее заданным критерием, ЭА производит агрегацию частных оценок и формирует итоговую оценку проекта. В качестве критериев формирования итоговой оценки обычно используется принцип консенсуса («по совпадению мнений») или мажоритарный принцип («по большинству мнений»). Итоговая оценка обычно представляет собой сумму баллов, набранных проектом, и вывод о целесообразности или нецелесообразности его поддержки.

Таблица 2

Виды экспертиз, проводимых с привлечением экспертов ФРЭ

Объект экспертизы	Количество привлекаемых экспертов	Вид оценки	Критерий вынесения итоговой оценки
Конкурсные заявки в рамках ФЦП (ВЦП)	3	Комбинированная ¹	По большинству мнений
Отчетные материалы по проектам в рамках ФЦП (ВЦП)	3	Комбинированная	По большинству мнений
Конкурсные заявки на выполнение работ и оказание услуг по законам № 44-ФЗ ² и № 223-ФЗ ³	1	Численные значения показателей	—
Заявки на получение грантов Президента РФ молодым ученым и ведущим научным школам	3	Комбинированная	По большинству мнений
Отчетные материалы по проектам, поддержанным грантами Президента Российской Федерации	3	Комбинированная	По большинству мнений
Отчеты вузов о выполнении государственного задания	1	Бинарная классификация (соответствует/не соответствует)	—
Результативность научной деятельности организаций, подведомственных Минобрнауки России	3	Комбинированная	По большинству мнений
Предложения о разработке КНТП полного инновационного цикла	2	Бинарная классификация (принять/отклонить)	По совпадению мнений
Материалы обращений граждан, материалы следственных дел	1	Текст, содержащий ответы на поставленные вопросы	—

¹ Комбинированная оценка представляет собой сочетание оценки в баллах с итоговой бинарной классификацией («поддержать/отклонить»).

² Федеральный закон от 05.04.2013 № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд».

³ Федеральный закон от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц»

Характерными чертами экспертиз, проводимых с привлечением экспертов ФРЭ, являются:
— проведение экспертом в рамках одного задания на экспертизу нескольких однотипных экспертиз;

- фиксированные даты начала и завершения экспертизы;
- проведение экспертизы в один этап;
- использование комбинированной системы оценки проектов, сочетающей балльные (численные) и бинарные оценки («да/нет», «поддержать/отклонить» и т. п.);
- возможная неоднородность экспертных групп при автоматическом подборе экспертов.

При организации экспертизы по вышеприведенной схеме предполагается, что подлежащий экспертизе проект изначально имеет некую стопроцентно «истинную» оценку (т.е. объективно заслуживает либо поддержки, либо отклонения), а эксперт при этом рассматривается как своеобразный измерительный прибор с присущими ему метрологическими

характеристиками. Погрешность измерения в данном случае определяется вероятностью ошибки, которую может допустить эксперт при вынесении частной оценки.

Если экспертизу параллельно выполняют n экспертов, работающих независимо друг от друга, то вероятность того, что итоговая оценка будет содержать хотя бы одно ошибочное мнение, определяется по формуле

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \quad (1)$$

где P – вероятность ошибки в экспертном заключении; p_i – вероятность ошибки i -го эксперта; n – число экспертов в экспертной группе.

Если экспертная группа однородна, т.е. представлена экспертами приблизительно одного уровня компетентности, то можно принять, что $p_1 = p_2 = \dots = p_n = p$.

Тогда выражение (1) примет вид:

$$P = 1 - (1 - p)^n. \quad (2)$$

На рис. 2 показаны графики зависимости P от n при разных значениях вероятности индивидуальной ошибки p (0,05; 0,1; 0,2).

Как видно из графиков, с ростом n растет и вероятность ошибки P , причем тем быстрее, чем больше значение p . Это означает, что простое привлечение в группу дополнительных экспертов, независимо от уровня их компетентности, не повышает достоверность итоговой оценки, а напротив, ведет к ее снижению. Очевидно, что при достижении P значения 0,5 экспертиза теряет всякий смысл, поскольку с такой же ошибкой итоговая оценка проекта («поддержать/отклонить») может быть получена простым подбрасыванием монеты.

На приведенных выше графиках вероятность ошибочной оценки проекта $P = 0,5$ достигается уже при работе трех малокомпетентных экспертов ($p = 0,2$), либо 7 экспертов условно среднего уровня ($p = 0,1$), либо 13 экспертов высокого уровня ($p = 0,05$).

На практике значение p для каждого конкретного эксперта, отбираемого в экспертную группу, неизвестно. Определение этой вероятности представляет собой сложную, часто неразрешимую на практике задачу [6]. В ряде случаев вероятность p конкретного эксперта по ошибкам 1-го рода можно оценить, проанализировав результаты его предыдущих экспертиз. Идея предлагаемого подхода заключается в том, что информация об успешной или неуспешной реализации проекта сопоставляется с результатами его экспертизы. Для проектов с длительными сроками реализации (5–10 лет) сделать это весьма проблематично, однако для краткосрочных проектов такие расчеты в принципе возможны. В этом случае можно, например, сравнивать результаты экспертизы конкурсных заявок с результатами экспертизы отчетных материалов. Проекты, по которым экспертиза отчетных материалов дала отрицательную оценку, можно считать неуспешными, а экспертов, участвовавших в экспертизе соответствующих заявок и оценивших проекты положительно, – допустившими ошибку. В этом случае неизвестную вероятность индивидуальной ошибки p можно заменить ее статистической оценкой – выборочной частотой p^* , представляющей собой отношение числа экспертиз, в которых экспертом была допущена ошибка, к общему числу выполненных им экспертиз.

Рассмотрим типовые схемы экспертизы, используемые в практике экспертной работы ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, при этом для простоты расчетов будем считать экспертные группы однородными.

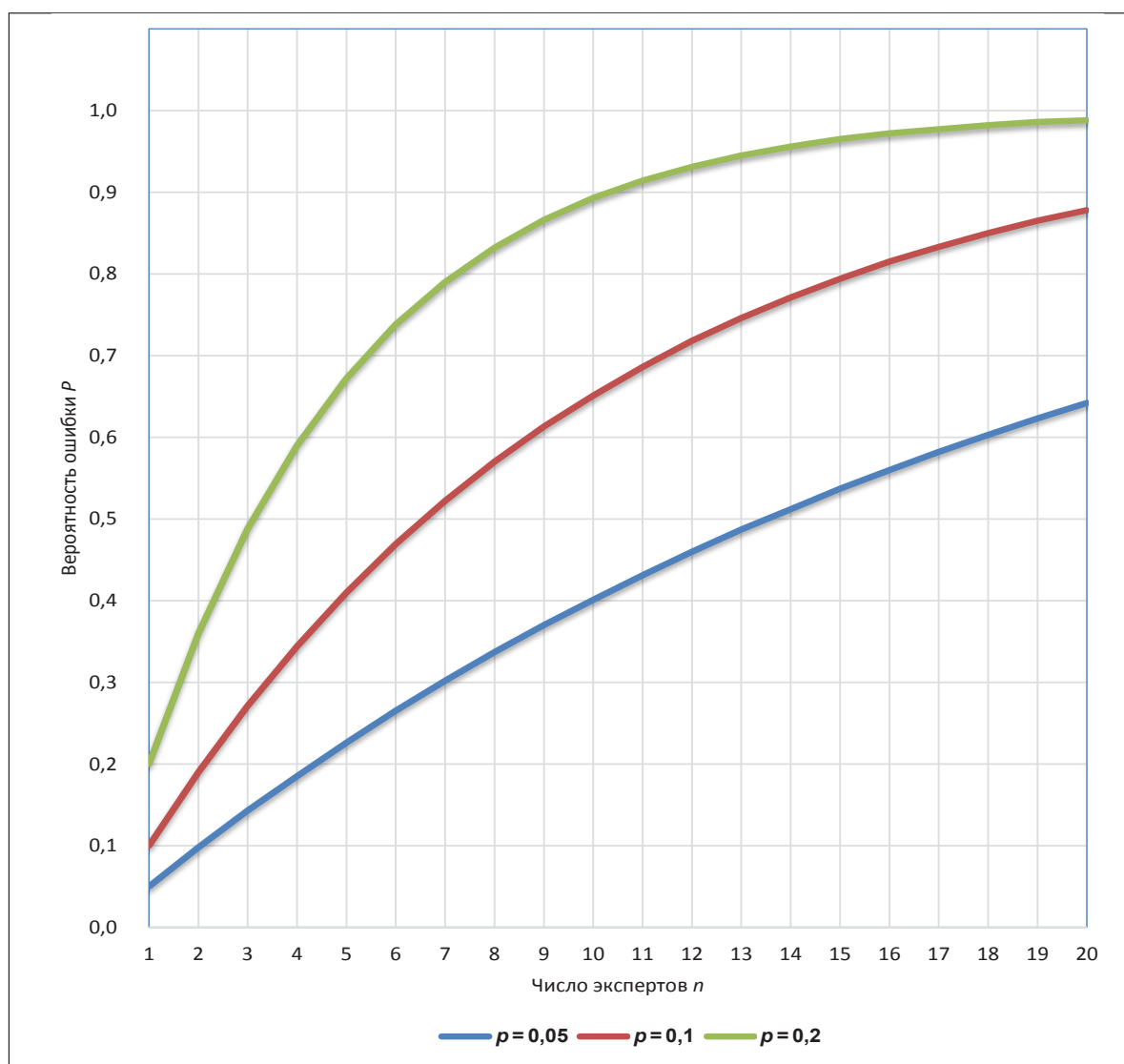


Рис. 2. Графики зависимости вероятности ошибки P от числа экспертов в группе n при разных значениях p_i

Схема с одним экспертом

Схема с одним экспертом применяется главным образом при проведении экспертиз конкурсных заявок на право заключения контрактов (договоров) в соответствии с федеральными законами № 44-ФЗ и № 223-ФЗ, материалов по обращениям граждан и материалов следственных дел в экспертизах по заказам правоохранительных органов. Какая-либо обработка экспертных оценок в этом случае невозможна, а их достоверность определяется только вероятностью ошибки конкретного эксперта.

Схема с двумя экспертами

Данная схема может применяться во многих видах экспертизы (экспертиза заявок, экспертиза отчетных материалов и т.п.). Итоговая оценка по проекту выносится по критерию совпадения мнений двух экспертов, в противном случае (при расхождении мнений) проект считается не оцененным.

Вероятность того, что итоговая оценка окажется ошибочной при совпадении двух частных оценок, определяется по формуле

$$P_{\text{ош}} = p_1 \cdot p_2 = p^2, \quad (3)$$

где p_1, p_2 — вероятности ошибки первого и второго эксперта соответственно.

Недостатки данной схемы, как уже отмечалось, — возможность расхождения частных оценок и, как следствие, необходимость проведения дополнительной экспертизы с привлечением в группу новых экспертов, что осуществимо только при наличии достаточного количества времени. В связи с этим схема с двумя экспертами не находит широкого применения.

Схема с тремя экспертами

Схема с тремя экспертами и вынесением итоговой оценки по критерию большинства мнений благодаря своей простоте и удобству применения является самой распространенной и используется для решения разнообразных экспертных задач.

При проведении экспертизы по данной схеме теоретически может быть получено 8 различных вариантов групповой оценки проекта. При вынесении итоговой оценки 4 варианта из 8 приведут к верной итоговой оценке проекта и 4 варианта — к ошибочной оценке (рис. 3).

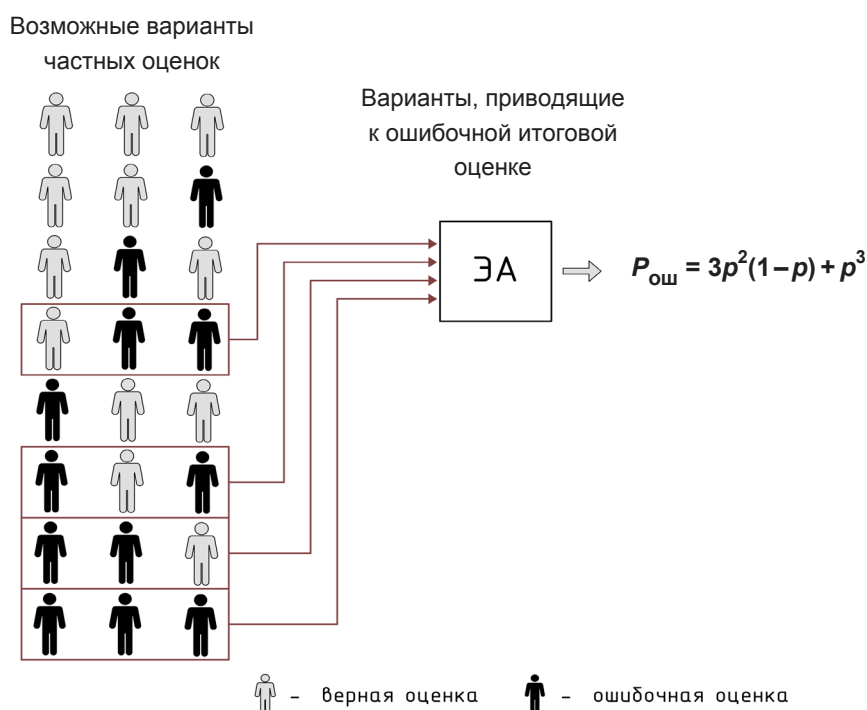


Рис. 3. Схема с тремя экспертами и мажоритарным критерием обработки частных оценок

Вероятность ошибочного решения при вынесении итоговой оценки $P_{\text{ош}}$ может быть определена по формуле полной вероятности [7].

Обозначим через A событие, заключающееся в том, что по результатам обработки трех частных оценок принято неверное итоговое решение.

Указанное событие может наступить при одной из четырех гипотез, образующих полную группу событий:

H_1 – никто из экспертов не ошибся;

H_2 – ошибся один эксперт;

H_3 – ошиблись двое из трех экспертов;

H_4 – ошиблись все три эксперта.

Тогда полная вероятность события наступления события A определяется по формуле

$$P(A) = \sum_{i=1}^4 P(H_i) \cdot P(A/H_i) \quad (4)$$

где $P(H_i)$ – вероятности наступления гипотез; $P(A/H_i)$ – условные вероятности наступления события A при соответствующей гипотезе.

При определении итоговой оценки по критерию большинства мнений условные вероятности ошибки в гипотезах H_1 и H_2 равны нулю: $P(A/H_1) = P(A/H_2) = 0$, а в остальных случаях равны 1: $P(A/H_3) = P(A/H_4) = 1$.

Вероятности гипотез $P(H_1) - P(H_4)$ можно определить по формуле биномиального закона распределения, как вероятности наступления m требуемых исходов в n независимых испытаниях:

$$P(A/H_i) = \frac{n!}{m!(n-m)!} p^m (1-p)^{n-m}, \quad (5)$$

где n – число экспертов в группе ($n = 3$); $m \in \{0; 1; 2; 3\}$ – число экспертов, допустивших ошибку; p – индивидуальная вероятность ошибки эксперта.

Подставив (5) в (4), получим выражение для вероятности ошибочного итогового решения

$$P_{\text{ош}} = 3p^2(1-p) + p^3 \quad (6)$$

Рассуждая аналогичным образом, можно получить формулы для расчета $P_{\text{ош}}$ для схем с числом экспертов 4 и 5 (см. табл. 3). Анализ схем с числом экспертов $n > 5$ интереса не представляет, поскольку данные схемы не используются в практике экспертной работы ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ.

Таблица 3

Формулы для расчета вероятности ошибки в типовых схемах экспертизы

Схема экспертизы	Число экспертов в группе, n	Критерий вынесения итоговой оценки	Вероятность вынесения ошибочной итоговой оценки, $P_{\text{ош}}$
Одноэтапная	1	–	p
Одноэтапная	2	По совпадению мнений	p^2
Одноэтапная	3	По большинству мнений	$3p^2(1-p) + p^3$
Одноэтапная	4	По большинству мнений	$4p^3(1-p) + p^4$
Одноэтапная	5	По большинству мнений	$10p^3(1-p)^2 + 5p^4(1-p) + p^5$

Результаты расчета $P_{\text{ош}}$ при различных значениях вероятности индивидуальной ошибки эксперта p для схем экспертизы с числом экспертов от 2 до 5 представлены на графиках (рис. 4) и в табл. 4.

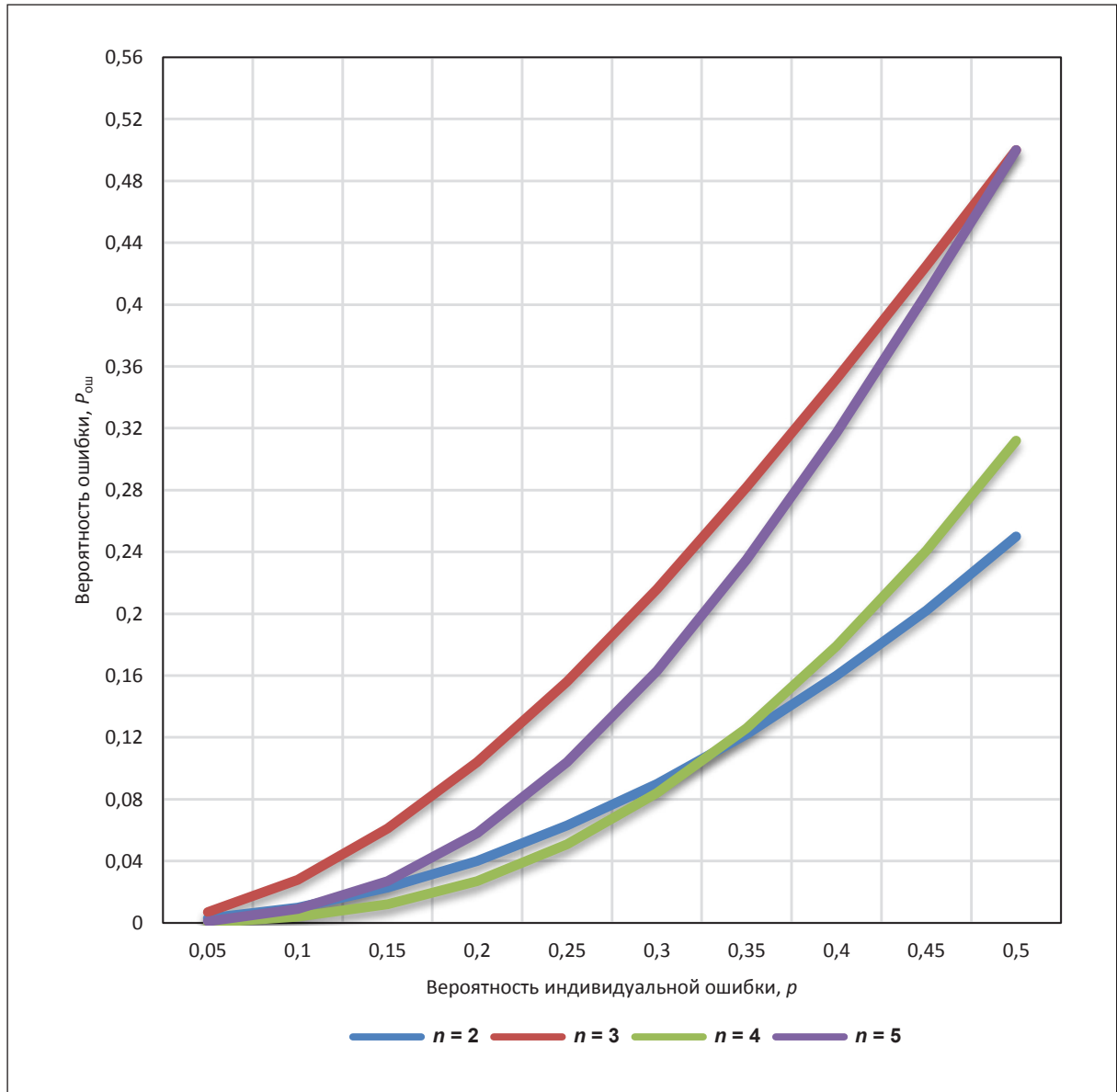


Рис. 4. Зависимость $P_{\text{ош}}$ от вероятности индивидуальной ошибки эксперта p в различных схемах экспертизы

Обсуждение результатов

Как видно из полученных данных, наиболее популярная схема экспертизы с тремя независимыми экспертами и вынесением итоговой оценки по большинству мнений не является наилучшей с точки зрения достоверности итоговой оценки, уступая по этому показателю другим схемам. Указанное обстоятельство дает основание рекомендовать изменение поряд-

ка проведения экспертизы в направлении повышения достоверности итоговой оценки. Предлагаемый порядок может быть следующим.

Таблица 4

Достоверность итоговых оценок в различных схемах экспертизы

p	Вероятность ошибочного вынесения итоговой оценки $P_{\text{ош}}$			
	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$
0,05	0,003	0,007	0,0	0,001
0,10	0,010	0,028	0,004	0,009
0,15	0,023	0,061	0,012	0,027
0,20	0,040	0,104	0,027	0,058
0,25	0,063	0,156	0,051	0,104
0,30	0,090	0,216	0,084	0,163
0,35	0,122	0,282	0,126	0,235
0,40	0,160	0,352	0,179	0,317
0,45	0,202	0,425	0,241	0,407
0,50	0,250	0,500	0,312	0,500

На начальном этапе в качестве базовой схемы экспертизы применяется схема с двумя экспертами и определением итоговой оценки по критерию совпадения мнений. При совпадении частных оценок экспертиза завершается. Как быть в случае расхождения оценок? В существующей практике в этом случае дополнительно назначают третьего независимого эксперта и формируют итоговую оценку по критерию большинства мнений («2 против 1»). Однако, как видно из табл. 3, достоверность итоговой оценки при этом будет ниже, чем в схеме с двумя экспертами, если бы их оценки совпали. Очевидно, в этом случае целесообразно продолжить экспертизу, но дополнительно назначить не одного, а двух новых экспертов, и сформировать итоговую оценку по критерию «3 против 1», если их оценки совпадут. Если же частные оценки вновь разойдутся поровну, то необходимо назначить 5-го эксперта, при этом достоверность итоговой оценки («3 против 2») будет практически в 2 раза выше, чем в схеме «2 против 1».

Недостатком вышеописанной двухэтапной процедуры экспертизы является необходимость иметь достаточный запас времени для проведения дополнительной экспертизы, которого, как правило, нет. В этом случае можно рекомендовать другой вариант проведения экспертизы, являющийся в некотором смысле компромиссным. Суть его заключается в следующем. На первом шаге в экспертную группу назначаются два независимых эксперта, и при расхождении частных оценок назначается третий эксперт, в качестве которого выступает руководитель группы по экспертируемому проекту, который формирует итоговую оценку с учетом уже известных ему частных оценок первых двух экспертов. Данный способ можно рассматривать как разновидность двухтуровой экспертизы по методу Делфи [8]. Достоверность итоговой оценки при этом будет выше, чем в стандартной схеме с тремя независимыми экспертами, поскольку при вынесении третьей частной оценки будут учтены результаты уже ранее полученных частных оценок.

Выводы

При проведении экспертизы всегда существует вероятность ошибки — неверной оценки экспертом проекта, в результате чего оценка может быть либо завышенной, либо заниженной. На возникновение экспертных ошибок влияют такие факторы, как компетентность и личностные качества экспертов, недостатки в описании проектов, некорректности и неточности, допущенные при разработке экспертных анкет и методик организации и проведения экспертиз.

Достоверность экспертных оценок, получаемых при проведении экспертиз с привлечением экспертов ФРЭ, выражаемая вероятностью вынесения ошибочной итоговой оценки проекта, зависит как от индивидуальных вероятностей ошибок экспертов, входящих в группу, так и от схемы организации экспертизы.

Наиболее распространенной схемой организации экспертизы проектов, применяемой в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, является схема с тремя независимыми экспертами и формированием итоговой оценки по критерию большинства мнений. Данная схема не является наилучшей с точки зрения достоверности итоговой оценки, уступая по этому показателю схемам с двумя, четырьмя и пятью экспертами.

Повышение достоверности экспертных оценок возможно путем применения двухэтапной схемы экспертизы: проведением на первом этапе экспертизы двумя независимыми экспертами и, при расхождении оценок, привлечением на втором этапе двух новых независимых экспертов либо формированием третьей и затем итоговой оценки экспертом-администратором с учетом знания им результатов уже полученных ранее частных оценок.

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания 2020 г. № 075-01394-20-02.

Список литературы

1. Научно-техническая и технологическая экспертиза проектов. Анализ российского рынка. URL: https://www.rvc.ru/upload/iblock/f44/RVC_project_expertise.pdf (дата обращения: 01.06.2020).
2. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: пер. с нем. М.: Мир, 1990. 208 с.
3. Орлов А.И. Экспертные оценки // Заводская лаборатория. 1996. Т. 62. № 1. С. 54–60. URL: <https://studfile.net/preview/3373164> (дата обращения: 01.06.2020).
4. Орлов А.И. Нечисловая статистика. М.: МЗ-Пресс, 2004. 513 с. URL: <http://www.aup.ru/books/m162> (дата обращения: 01.06.2020).
5. Мельник П.Б. Математическая постановка задачи формирования реестра экспертов // Инноватика и экспертиза. 2014. № 2 (13). С. 69–81.
6. Панкова Л.А., Петровский А.М., Шнейдерман М.В. Организация экспертиз и анализ экспертной информации. М.: Наука, 1984. 120 с.
7. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. Киев: Техніка, 1975. 768 с.
8. Орлов А.И. Экспертные оценки: учеб. пособие. 2002. URL: <http://www.aup.ru/books/m154> (дата обращения: 01.06.2020).

References

1. *Nauchno-tekhnicheskaya i tekhnologicheskaya ekspertiza projektov. Analiz rossiyskogo rynka* [Scientific and technical and technological expert examination of projects. Analysis of the Russian market]. Available at: https://www.rvc.ru/upload/iblock/f44/RVC_project_expertise.pdf (accessed: 01.06.2020).
2. Mushik E., Muller P. (1990) *Metody prinyatiya tekhnicheskikh resheniy: per. s nem.* [Methods of making technical decisions: Translation from German] Mir [Mir]. Moscow. P. 208.
3. Orlov A.I. (1996) *Ekspertnye otsenki* [Expert assessments] *Zavodskaya laboratoriya* [Factory laboratory]. Vol. 62. No. 1. P. 54–60. Available at: <https://studfile.net/preview/3373164> (accessed: 01.06.2020).

4. Orlov A.I. (2004) *Nechislovaya statistika* [Non-Numeric statistics] *MZ-Press* [MZ-Press]. Moscow. P. 513. Available at: <http://www.aup.ru/books/m162> (accessed: 01.06.2020).
5. Melnik P.B. (2014) *Matematicheskaya postanovka zadachi formirovaniya reestra ekspertov* [Mathematical statement of the problem of forming the Roster of Experts] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. No. 2 (13). P. 69–81.
6. Pankova L.A., Petrovsky A.M., Shneiderman M.V. (1984) *Organizatsiya ekspertiz i analiz ekspertnoy informatsii* [Organization of expert examination and analysis of expert information] *Nauka* [Nauka]. Moscow. P. 120.
7. Sigorsky V.P. (1975) *Matematicheskiy apparat inzhenera* [Mathematical apparatus of an engineer] *Tekhnika* [Technika]. Kiev. P. 768.
8. Orlov A.I. (2002) *Ekspertnye otsenki: ucheb. posobie* [Expert assessments: textbook]. Available at: <http://www.aup.ru/books/m154> (accessed: 01.06.2020).

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-59-67

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКСПЕРТИЗЫ КОНКУРСНЫХ ЗАЯВОК НА ПОЛУЧЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ В ВИДЕ ГРАНТОВ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ МОЛОДЫМ РОССИЙСКИМ УЧЕНЫМ – КАНДИДАТАМ И ДОКТОРАМ НАУК И ВЕДУЩИМ НАУЧНЫМ ШКОЛАМ

Н.А. Миронов, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, namir@extech.ru

Е.А. Марышев, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук,
emarysh@extech.ru

Н.А. Дивуева, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, tus@extech.ru

Рецензент: Т.А. Яркова

В статье рассматриваются вопросы совершенствования системы экспертизы конкурсных заявок на получение государственной поддержки в виде грантов Президента Российской Федерации на базе интегрированной информационной системы, включающей систему информационной поддержки Совета по грантам Президента Российской Федерации и информационную систему Федерального реестра экспертов научно-технической сферы и содержащей информацию об экспертах, заявках и результатах экспертизы. В целях совершенствования принципов прозрачности и открытости программ поддержки и победителей конкурсов, обеспечения объективности проведения конкурсного отбора проектов предложен ряд организационно-технических решений в системе экспертизы заявок на базе интегрированной информационной системы. Предложенные и реализованные на практике новые подходы к организационно-техническому обеспечению экспертизы конкурсных заявок на получение государственной поддержки в виде грантов Президента Российской Федерации молодым российским ученым позволили за счет привлечения широкого круга научно-технической общественности обеспечить проведение экспертизы более пяти тысяч заявок с высоким качеством и в заданные Минобрнауки России сроки.

Ключевые слова: информационные технологии, информационный подход, экспертное сообщество научно-технической сферы, Федеральный реестр экспертов научно-технической сферы, экспертное сообщество, экспертиза конкурсных заявок, гранты Президента Российской Федерации молодым российским ученым.

NEW APPROACHES TO THE ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SUPPORT OF THE EXAMINATION OF COMPETITIVE APPLICATIONS FOR STATE SUPPORT IN THE FORM OF GRANTS OF THE PRESIDENT OF THE RUSSIAN FEDERATION TO YOUNG RUSSIAN SCIENTISTS – DOCTORS OF SCIENCES AND PHILOSOPHY DOCTORS (DOCTORS AND PH.D.) AND LEADING SCIENTIFIC SCHOOLS

N.A. Mironov, Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, namir@extech.ru

E.A. Maryshev, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Engineering,
emarysh@extech.ru

N.A. Divueva, Head of Department, SRI FRCEC, tus@extech.ru

The article discusses the issues of improving the examination system of competitive applications for state support in the form of grants of the President of the Russian Federation on the basis of

an integrated information system that includes the information support system of the Grants Council of the President of the Russian Federation and the information system of the Federal Roster of Scientific and Technological Experts and containing information about experts, applications and expert examination results. In order to improve the principles of transparency and openness of support programs and competition winners, to ensure the objectivity of the competitive selection of projects, a number of organizational and technical solutions are proposed in the application examination system based on an integrated information system. The new and proposed new approaches to the organizational and technical support of the examination of competitive applications for state support in the form of grants of the President of the Russian Federation to young Russian scientists made it possible, by attracting a wide range of scientific and technological communities, to conduct examination of more than five thousand applications with high quality and deadlines set by the Ministry of Education and Science of Russia.

Keywords: information technologies, information approach, expert community of the scientific and technological sphere, Federal Roster of experts of the scientific and technological sphere, expert community, examination of competitive applications, grants of the President of the Russian Federation to young Russian scientists.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации совместно с Советом по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации объявляет и проводит конкурсы на право получения грантов Президента Российской Федерации. Выделение грантов осуществляется в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 27.04.2005 № 260 «О мерах по государственной поддержке молодых российских ученых — кандидатов наук и докторов наук и ведущих научных школ Российской Федерации» [1]. Организатором конкурсов является Минобрнауки России. Организациями на конкурсы предоставляются работы молодых российских ученых в форме заявок, подготовленных в соответствии с извещением о проведении конкурса.

Проведение экспертизы конкурсных заявок на получение государственной поддержки в виде грантов Президента Российской Федерации является элементом системы управления президентскими грантами, которая призвана обеспечить условия для поддержки наиболее перспективных работ, поступивших на конкурс, на основе прозрачных и понятных правил и процедур. С этой целью предложено совершенствование системы экспертизы заявок на базе интегрированной информационной системы, содержащей информацию об экспертах, заявках и результатах экспертизы. Структура организационно-технического обеспечения экспертизы конкурсных заявок приведена на рис. 1.

Интегрированная информационная система включает систему информационной поддержки Совета по грантам Президента РФ и информационную систему Федерального реестра экспертов научно-технической сферы (ФРЭ). В рамках интегрированной системы экспертную оценку поступивших на конкурс работ (заявок) проводит Совет по грантам с привлечением экспертного сообщества научно-технической сферы, а организационно-техническое и информационное обеспечение экспертной оценки осуществляется на специализированном ресурсе. Таким образом, экспертная поддержка формирования предложений по представлению президентских грантов происходит открыто и на основе качественной аналитики, которую Минобрнауки России и Совет по грантам обеспечивают во взаимодействии с широким кругом научно-технической общественности. Это предполагает, с одной стороны, единый набор критериев и общую методологию оценки поступивших на конкурс работ, а с другой стороны — дифференцированный подход к экспертизе в зависимости от научной области планируемых исследований. Поэтому важной задачей является отбор специалистов в пул экспертов и обеспечение их работы в режиме удаленного доступа в условиях временных

ограничений на экспертизу (10–20 дней) и значительного количества конкурсных заявок (до 1000), экспертиза которых проводится тремя экспертами. Для решения этой задачи в соответствии с требованиями Постановления Правительства РФ от 27.04.2005 № 260 формируется пул экспертов в составе 800–900 специалистов в различных областях знаний грантов Президента Российской Федерации из состава Федерального реестра экспертов научно-технической сферы.



Рис. 1. Система организационно-технического, информационного и экспертного обеспечения экспертизы конкурсных заявок на предоставление грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ на базе интегрированной информационной системы

Специализированной организацией по организационно-техническому и экспертному сопровождению Совета по грантам Президента Российской Федерации предложен и отработан на практике общий порядок проведения экспертизы конкурсных заявок. В рамках проведения экспертизы конкурсных заявок предусмотрены следующие основные организационные и технические мероприятия:

- Совет по грантам формирует рабочие группы (РГ) по областям знаний и утверждает председателей и заместителей председателей рабочих групп;
- председатель, его заместитель и члены РГ знакомятся в полном объеме со всеми заявками, направляемыми на экспертизу в рамках соответствующей области знаний;
- председатели (заместители председателей) и члены РГ организуют работу экспертов для своевременной и качественной подготовки экспертных материалов через организацию, осуществляющую информационное и техническое сопровождение специализированного информационного ресурса;
- участники конкурса подают заявки путем заполнения интерактивных форм на своей персональной странице в электронном виде на специализированном ресурсе для подачи заявок

на участие в конкурсе [URL: <https://grants.extech.ru> (дата обращения: 08.04.2020)] в порядке и в сроки, определенные конкурсной документацией.

Организация, осуществляющая информационное и техническое сопровождение специализированного информационного ресурса для проведения экспертизы заявок на участие в конкурсе:

- формирует пулы экспертов по областям знаний из состава экспертов научно-технической сферы, зарегистрированных на специализированном информационном ресурсе [URL: <https://reestr.extech.ru> (дата обращения: 08.04.2020)], для проведения экспертизы заявок на участие в конкурсе и утверждает списки пулов в Минобрнауки России;
- проводит подбор и назначение трех экспертов из состава экспертных пулов по соответствующим областям знаний для экспертизы каждой заявки на участие в конкурсе;
- осуществляет организацию и проведение экспертизы заявок в режиме удаленного доступа на специализированном ресурсе;
- обобщает заключения экспертов и формирует сводное экспертное заключение по каждой конкурсной заявке;
- формирует рейтинги заявок на участие в конкурсе по каждой области знаний;
- передает рейтинги заявок на участие в конкурсе по каждой области знаний, заключения экспертов и сводные экспертные заключения в рабочие группы.

При распределении заявок для проведения экспертизы принимается комплекс мер, исключающих «конфликт интересов». Сведения о содержании конкурсных заявок и распределении их по экспертам являются конфиденциальными.

В целях обеспечения единства методологии оценки поступивших на конкурс работ экспертное заключение по заявке на конкурс составляется по форме, согласованной Советом по грантам, и включает оценки:

- участия заявителя в научных исследованиях, финансируемых в рамках государственных заданий, бюджетных источников, в том числе из государственных фондов поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности, внебюджетных источников (на конкурсной основе), внебюджетных источников на иные цели, иностранных источников;
- научной значимости – на основе сведений о научных публикациях, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования;
- прикладной значимости результатов научных исследований – на основе сведений об общем количестве созданных результатов интеллектуальной деятельности;
- общественной значимости;
- планируемой научной и прикладной значимости результатов научного исследования;
- возможности выполнения работ в установленные сроки.

По результатам экспертизы каждой заявке присваивается рейтинг – среднее арифметическое количества баллов, присуждаемых каждым экспертом, проводившим экспертизу. Материалы экспертизы рассматривают председатель РГ и члены РГ, которые определяют итоговую экспертную оценку каждой заявки. В случае значительного расхождения выводов экспертов и членов РГ может приниматься решение о проведении дополнительной экспертизы конкурсных заявок.

Итоговые решения, принятые РГ, оформляются протоколом. На основании результатов оценки заявок рабочими группами Совет по грантам готовит предложения по определению заявок-победителей в каждой области знаний. Результаты экспертной оценки и предложения Совета по грантам по определению работ – победителей конкурса направляются в Конкурсную комиссию.

Конкурсная комиссия рассматривает поступившие документы и утверждает победителей конкурса. Решение Конкурсной комиссии является основанием для заключения Минобрнауки России договоров с победителями.

Разработанные предложения были реализованы при подготовке Положения об экспертизе заявок, представляемых в рамках проводимых конкурсов на право получения грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов и докторов наук и средств для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации.

В целях совершенствования принципов прозрачности и открытости программ поддержки и победителей конкурсов в системе экспертизы заявок на базе интегрированной информационной системы предложены следующие организационно-технические решения:

- проведение экспертизы проектов в системе информационной поддержки Совета по грантам (ИС Грант) в режиме удаленного доступа при взаимодействии с информационной системой (ИС) Федерального реестра экспертов научно-технической сферы;

- использование для проведения экспертизы проектов экспертов, аккредитованных в ФРЭ;

- расширение экспертной базы для проведения оценки представленных на конкурс работ по областям знаний за счет привлечения аккредитованных в ФРЭ экспертов научно-технической сферы: представителей Российской академии наук (РАН), вузов, научных и научно-производственных организаций;

- аккредитация экспертов, привлекаемых Советом по грантам для экспертизы заявок по областям знаний, в ФРЭ;

- ввод в состав тематических рабочих групп Совета по грантам по областям знаний экспертов, аккредитованных в ФРЭ, и экспертов-администраторов ФРЭ в целях обеспечения взаимодействия с экспертами при проведении экспертизы заявок;

- формирование и представление в Минобрнауки России предложений по пулу экспертов для проведения экспертизы заявок из состава аккредитованных экспертов ФРЭ в соответствии с Порядком формирования экспертных пулов (списков), установленным Положением о Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы;

- утверждение Минобрнауки России (Конкурсной комиссией) пула (списка) экспертов для проведения экспертизы заявок и направление утвержденного списка в Совет по грантам.

Таким образом, помимо прозрачности и открытости обеспечивается и объективность проведения конкурсного отбора проектов за счет привлечения широкого круга научно-технической общественности. Распределение количества экспертов ФРЭ по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации и областям знаний, по которым проводятся конкурсы, приведено в табл. 1.

В целях организационно-технического обеспечения изложенных выше принципов прозрачности, открытости и объективности конкурсного отбора проектов предложено и проведено совершенствование системы привлечения экспертов для проведения экспертизы заявок в рамках интегрированной информационной системы:

- интеграция ИС Грант с ИС ФРЭ в части формирования единой базы данных об экспертах, заявках, отчетах о выполнении работ и результатах их экспертизы;

- формирование единого интерфейса для регистрации экспертов в ИС ФРЭ и их последующей аккредитации (с учетом особенностей ИС Грант);

- разработка интерфейса по передаче данных об экспертах из ИС ФРЭ в ИС Грант;

- разработка интерфейса по информационному взаимодействию с Конкурсной комиссией в части утверждения списка экспертов и представления результатов экспертизы;

- разработка интерфейса взаимодействия рабочих групп Совета по грантам по областям знаний с экспертами – администраторами ФРЭ при подборе экспертов и взаимодействии с экспертами в процессе проведения экспертизы заявок;

- разработка интерфейса трансляции заявок из ИС Грант в ИС ФРЭ и их представления экспертам ФРЭ для проведения экспертизы в режиме удаленного доступа в ИС ФРЭ;

- разработка интерфейса сбора результатов экспертизы заявок в ИС ФРЭ и их передачи в ИС Грант в принятых Советом по грантам форматах.

Таблица 1

Распределение экспертов ФРЭ по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации и областям знаний, по которым проводятся конкурсы для государственной поддержки молодых российских ученых

№ п/п	Области знаний	Приоритетные направления								
		Всего*	Биотехнологии	Медицина и здравоохранение	Новые материалы и нанотехнологии	Рациональное природопользование	Информационно-телекоммуникационные системы	Транспортные и космические системы	Энергетика и энергоэффективность	Междисциплинарные исследования
1	Математика и механика	576	22	17	149	94	234	28	28	4
2	Физика и астрономия	931	31	13	394	86	140	19	243	5
3	Химия и химические технологии, новые материалы	1660	102	151	1090	124	29	15	145	4
4	Биология и науки о жизни	1917	719	780	64	279	59	0	4	12
5	Науки о Земле, экологии и рациональном природопользовании	1095	56	11	38	781	12	16	174	7
6	Общественные и гуманитарные науки	266	3	6	2	95	0	3	0	157
7	Медицина	208	22	143	14	8	21	0	0	0
8	Технические и инженерные науки	1238	0	0	223	379	215	260	159	2
9	Информационно-телекоммуникационные системы и технологии	655	0	3	11	31	515	2	69	24
10	Сельскохозяйственные науки	742	36	5	1	39	1	1	2	2

* *Примечание:* часть экспертов ФРЭ позиционируют себя в нескольких областях знаний, по которым проводятся конкурсы.

В основу нового методического подхода положены подбор и формирование пулов экспертов для экспертизы заявок в автоматическом режиме на основе данных, содержащихся в профиле эксперта, и их соответствия содержанию заявки. В целях обеспечения соответствия пула экспертов приоритетам научно-технологического развития, определенным Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, в раздел «Область профессиональной деятельности» профиля эксперта внесены дополнительные графы:

- «Область знаний грантов Президента Российской Федерации»;
- «Приоритетное направление модернизации российской экономики».

Дополнительная графа «Область знаний грантов Президента Российской Федерации» позволяет эксперту выбрать соответствующую области его профессиональной деятельности область знаний, по которым проводятся конкурсы:

- математика и механика;
- физика и астрономия;

- химия, новые материалы и химические технологии;
- биология и науки о жизни;
- науки о Земле, экологии и рациональном природопользовании;
- общественные и гуманитарные науки;
- медицина;
- технические и инженерные науки;
- информационно-телекоммуникационные системы и технологии;
- сельскохозяйственные науки.

Дополнительная графа «Приоритетное направление модернизации российской экономики» позволяет эксперту выбрать соответствующую области его профессиональной деятельности область знаний, по которым проводятся конкурсы:

- энергоэффективность и энергосбережение, в том числе вопросы разработки новых видов топлива;
- ядерные технологии;
- космические технологии, связанные с телекоммуникациями, включая и ГЛОНАСС, и программу развития наземной инфраструктуры;
- медицинские технологии, прежде всего диагностическое оборудование, а также лекарственные средства;
- стратегические информационные технологии, включая вопросы создания суперкомпьютеров и разработки программного обеспечения.

Предложенные рекомендации по проведению дополнительной классификации экспертов по принадлежности к области знаний грантов Президента Российской Федерации и приоритетному направлению модернизации российской экономики при формировании экспертного сообщества Минобрнауки России и подбору экспертов для проведения экспертизы программ и проектов реализованы в ИС ФРЭ. Фрагмент страницы профиля эксперта приведен на рис. 2.

В целях обеспечения соответствия профессионального уровня пула экспертов требованиям заказчика при автоматическом подборе экспертов реализована возможность оценки соответствия профиля эксперта тематике конкурсной заявки в части:

- принадлежности к области знаний грантов Президента Российской Федерации и приоритетному направлению модернизации российской экономики;
- опыта работы по экспертизе проектов в рамках грантов Президента Российской Федерации;
- опыта работы по экспертизе проектов по заданиям ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ;
- наличия ученой степени;
- соответствия кодов ГРНТИ и ключевых слов тематике и направлению проекта;
- возраста эксперта.

Каждому из перечисленных параметров профиля эксперта присваивается весовой коэффициент, соответствующий его важности для оценки соответствия профессиональных качеств эксперта научно-техническим параметрам оцениваемого проекта. Каждый эксперт получает рейтинговую оценку в баллах, отражающую степень соответствия его научных интересов и компетентности области знаний проекта. Значения баллов для всех компонентов рейтинговой оценки эксперта подобраны по результатам анализа практического опыта привлечения экспертного сообщества научно-технической сферы к проведению экспертно-аналитических исследований различной научно-технической направленности.

Определяющим в автоматическом отборе и назначении экспертов является соответствие области знаний грантов Президента Российской Федерации и приоритетному направлению модернизации российской экономики, указанным в профиле эксперта и заявке. При этом основной вклад в рейтинговую оценку эксперта вносит соответствие кодов ГРНТИ и клю-

чевых слов, указанных в заявке и профиле эксперта. При полном совпадении кодов ГРНТИ в рейтинговую оценку начисляется 20 баллов, в случае частичного совпадения кодов ГРНТИ (два уровня из трех) начисляется 10 баллов. Поиск соответствия ключевых слов заявки указанным в профиле эксперта производится по полям: «Ключевые слова», «Область практической деятельности», «Области экспертизы» – в темах кандидатской и докторской диссертаций. Каждое ключевое слово имеет базовую ценность 5 баллов.

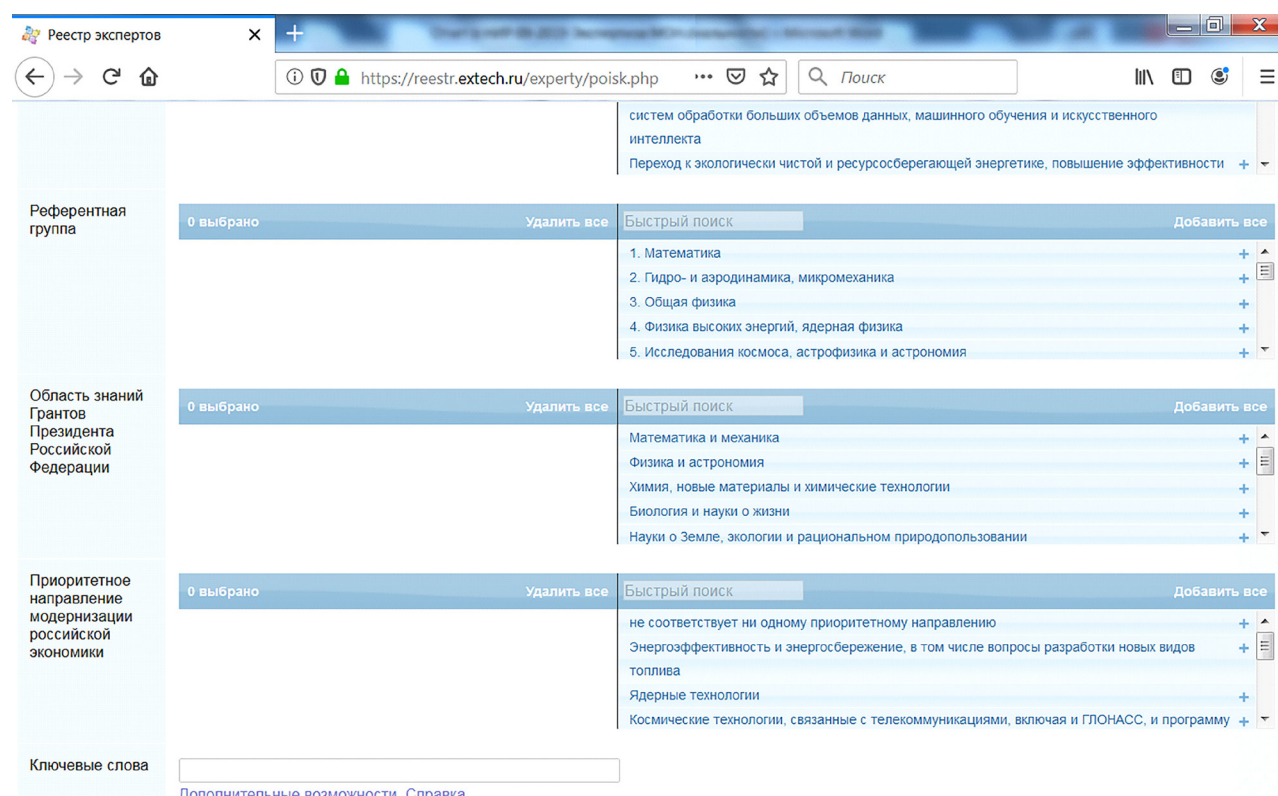


Рис. 2. Фрагмент страницы профиля эксперта в ФРЭ для классификации по принадлежности к области знаний грантов Президента Российской Федерации и приоритетному направлению модернизации российской экономики

В качестве дополнительных признаков, повышающих рейтинговую оценку эксперта, используются:

- наличие степени доктора наук;
- участие в экспертизах в ИС ФРЭ ИС Грант (все – по 10 баллов);
- возраст эксперта должен быть от 35 до 75 лет.

После формирования рейтинговых оценок проводятся поиск и назначение экспертов, в наибольшей степени соответствующих каждой представленной на конкурс заявке. При этом производится многократный проход по массиву заявок, в каждом из которых наиболее подходящим экспертам назначаются проекты для последующего выбора самим экспертом. Число назначаемых для экспертизы заявок определяется сложностью экспертной оценки и временем, отводимым на экспертизу, и варьируется от 10 до 50. Для уведомления экспертов о назначенных ему работах дополнительно к рассылке извещений на адреса электронной почты производится рассылка SMS-сообщений.

Из назначенного массива заявок эксперты выбирают и принимают проекты, соответствующие области их научных интересов, руководствуясь наличием времени для проведения экспертизы в требуемые заказчиком сроки. Экспертам предоставлена возможность отказа от отдельных или всех проектов из списка назначенных экспертиз. Для перехода заявки из состояния «Назначено» в состояние «Принято» обязательным является подтверждение экспертом отсутствия конфликта интересов при выполнении работы.

В целях гарантированного обеспечения экспертизы каждой заявки тремя экспертами производится ее одновременное автоматическое назначение десяти экспертам. После принятия работы тремя экспертами остальные назначения автоматически удаляются. Такой методический подход позволяет в короткие сроки (в течение трех-четырех дней) назначить необходимое число экспертов для экспертизы всего массива заявок с учетом возможных отказов от выполнения работы и затрат времени на повторный поиск экспертов.

Таким образом, при автоматическом подборе экспертов для каждого проекта формируется пул экспертов, наиболее подходящих по профессиональным качествам и возможностям провести экспертизу заявок в требуемые заказчиком сроки. Внесенные в ИС ФРЭ изменения достаточно универсальны, что позволяет в дальнейшем использовать новые возможности для любых других видов экспертно-аналитических работ, проводимых в интегрированной системе.

В качестве основного вывода следует отметить, что предложенные и реализованные на практике новые подходы к организационно-техническому обеспечению экспертизы конкурсных заявок на получение государственной поддержки в виде грантов Президента Российской Федерации молодым российским ученым — кандидатам и докторам наук и ведущим научным школам позволили обеспечить проведение экспертизы более пяти тысяч заявок с высоким качеством и в заданные Минобрнауки России сроки. Разработанные рекомендации по проведению дополнительной классификации экспертов обеспечили формирование экспертного сообщества Минобрнауки России и подбор экспертов для проведения экспертизы проектов, предоставляемых на конкурсы.

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания 2020 г. № 075-01394-20-02.

Список литературы

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.04.2005 № 260 «О мерах по государственной поддержке молодых российских ученых — кандидатов наук и докторов наук и ведущих научных школ Российской Федерации»

References

1. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 27.04.2005 No. 260 «O merakh po gosudarstvennoy podderzhke molodykh rossiyskikh uchenykh — kandidatov nauk i doktorov nauk i vedushchikh nauchnykh shkol Rossiyskoy Federatsii»* [Decree of the Government of the Russian Federation of April 27, 2005 No. 260 «On measures for state support of young Russian scientists — candidates of sciences and doctors of sciences and leading scientific schools of the Russian Federation»].

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-68-76

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНКУРСОВ 2019 И 2020 ГГ. НА ПРАВО ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНТОВ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ МОЛОДЫХ РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ – КАНДИДАТОВ НАУК И ДОКТОРОВ НАУК

Б.В. Иванов, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, ibv64@mail.ru

С.В. Кристалинская, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, Svetik-kristal@list.ru

Е.А. Гладышева, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, gladish@rambler.ru

И.С. Кириловская, вед. инж. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, kiryaira@mail.ru

О.В. Шеханова, вед. инж. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, olgameijin@ya.ru

Д.А. Добрынин, инж.-прогр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, dobrynin@extech.ru

Рецензент: А.И. Мохов

В статье представлен сравнительный анализ результатов конкурсов грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых 2019 и 2020 гг.: проанализировано распределение победителей конкурсов по областям знаний, федеральным округам, регионам, ведомствам и организациям; приведены обобщенные данные о количестве публикаций победителей конкурсов, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования, по направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Ключевые слова: гранты Президента Российской Федерации, конкурс, молодые российские ученые, кандидаты наук, доктора наук, направления Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, международные информационно-аналитические системы научного цитирования, организационно-техническое обеспечение, информационное сопровождение.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE 2019 AND 2020 COMPETITIONS FOR THE RIGHT TO RECEIVE GRANTS FROM THE PRESIDENT OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR STATE SUPPORT OF YOUNG RUSSIAN SCIENTISTS – DOCTORS OF SCIENCES AND PHILOSOPHY DOCTORS (PH.D.)

B.V. Ivanov, Director of Centre, SRI FRCEC, ibv64@mail.ru

S.V. Kristalinskaya, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, Svetik-kristal@list.ru

E.A. Gladysheva, Head of Department, SRI FRCEC, gladish@rambler.ru

I.S. Kirilovskaya, Leading Engineer, SRI FRCEC, kiryaira@mail.ru

O.V. Shekhanova, Leading Engineer, SRI FRCEC, olgameijin@ya.ru

D.A. Dobrynin, Software engineer, SRI FRCEC, dobrynin@extech.ru

The article presents a comparative analysis of the results of the grant competitions of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists in 2019 and 2020: the distribution of the winners of the competitions by areas of knowledge, federal districts, regions, departments and organizations is analyzed; the article summarizes data on the number of publications of the winners of competitions, indexed in international information-analytical systems

of scientific citation, in the areas of the Strategy for scientific and technological development of the Russian Federation.

Keywords: grants of the President of the Russian Federation, competition, young Russian scientists, doctors of sciences, PhD-s, directions of the Strategy for scientific and technological development of the Russian Federation, international information and analytical systems of scientific citation, organizational and technical support, information support.

В течение последних лет в научно-технической сфере реализуются разнообразные программы поддержки научной молодежи. Проводимые регулярно с 2003 г. конкурсы на право получения грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ Российской Федерации (гранты Президента Российской Федерации) занимают ведущее место в ряду таких программ, содействуя закреплению молодых исследователей в ведущих российских научных организациях. Во исполнение приказов Минобрнауки России организационно-техническое и информационное обеспечение деятельности Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ Российской Федерации (Совет по грантам) в рамках данных конкурсов осуществляет ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ.

Гранты учреждены Указом Президента Российской Федерации от 09.02.2009 № 146 «О мерах по усилению государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов и докторов наук» и выделяются в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 27.04.2005 № 260 «О мерах по государственной поддержке молодых российских ученых — кандидатов наук и докторов наук и ведущих научных школ Российской Федерации» на конкурсной основе на двухлетний срок. Основная цель выделения грантов — поддержка научных исследований молодых российских ученых.

Конкурсы проводятся среди молодых кандидатов наук (МК), возраст которых на момент окончания гранта не превышает 35 лет; молодых докторов наук (МД), возраст которых на момент окончания гранта не превышает 40 лет; ведущих научных школ Российской Федерации (НШ), руководители которых на регулярной основе осуществляют подготовку кандидатов и докторов наук, формируют исследовательские группы для проведения перспективных научных исследований и возраст которых не превышает 50 лет. Конкурсы МК и МД проводятся ежегодно, конкурс НШ — один раз в два года.

Предметом статьи является сравнительный анализ результатов конкурсов 2019 и 2020 гг. С учетом того, что по регламенту в 2019 г. конкурс НШ не проводился, для корректного сравнения рассмотрены конкурсы для молодых ученых (МК и МД).

В заявочную кампанию конкурсов 2019 г. зарегистрировались 3645 кандидатов наук и 298 докторов наук; представили полный комплект конкурсных документов 2460 кандидатов наук и 224 докторов наук. С учетом отклонения заявок по формальному признаку, к участию в конкурсах допущены 2429 кандидатов наук и 221 доктор наук.

В 2020 г. зарегистрировались 2243 кандидатов наук и 216 докторов наук; полный комплект конкурсных документов представлен 1525 кандидатами наук и 155 докторами наук. К участию в конкурсах допущены 1509 кандидатов наук и 152 доктора наук.

По результатам работы экспертных комиссий и в соответствии с предложениями Совета по грантам Конкурсной комиссией Минобрнауки России в конкурсах 2019 г., как и в конкурсах 2020 г., определены победителями 400 кандидатов наук и 60 докторов наук.

Особенностью конкурса 2020 г. стало распределение участников не только по областям знаний, но и по направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (направления СНТР).

В конкурсах 2020 г. соискатели относили свои заявки к тому или иному направлению СНТР, сведения по победителям конкурсов МК-2020 и МД-2020 приведены в табл. 1. Наибольшее число заявок представлено по направлению «Переход к передовым цифровым,

интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта».

Таблица 1

Распределение участников конкурса 2020 г. по направлениям СНТР (число участников)

№	Направление СНТР	МК-2020	МД-2020	%
1	Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта	133	21	34
2	Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук	67	6	16
3	Переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных)	66	13	17
4	Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии	55	4	13
5	Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания	36	7	9
6	Противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства	21	6	6
7	Связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики	22	3	5

Списки победителей конкурсов публикуются на сайте Совета по грантам. В 2019 г. публикация производилась по областям знаний, в 2020 г. — по направлениям СНТР.

Пример публикации информации по победителям МК-2019 приведен на рис. 1, по победителям МК-2020 — на рис. 2.

Сравнительный анализ показал, что конкурсы 2020 г. были не такими многочисленными по количеству участников, как конкурсы 2019 г., что обусловлено, кроме прочего, малым интервалом между данными мероприятиями, который составил, по объективным причинам, около девяти месяцев.

 Совет по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации	
Победители конкурса 2019 года по государственной поддержке молодых российских ученых-кандидатов наук	
	МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА Победителей: 27
	ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ Победителей: 50
	ХИМИЯ, НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ Победителей: 55
	БИОЛОГИЯ И НАУКИ О ЖИЗНИ Победителей: 37
	НАУКИ О ЗЕМЛЕ, ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОМ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ Победителей: 35
	ОБЩЕСТВЕННЫЕ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ Победителей: 66
	МЕДИЦИНА Победителей: 21
	ТЕХНИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ НАУКИ Победителей: 80
	ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ Победителей: 17
	СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ Победителей: 12

Рис. 1. Пример публикации списков победителей МК-2019 по областям знаний



Совет по грантам Президента Российской Федерации
для государственной поддержки молодых российских ученых
и по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации

Победители конкурса 2020 года на право получения грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук

	ПЕРЕХОД К ПЕРЕДОВЫМ ЦИФРОВЫМ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ , роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта Победителей: 133
	ПЕРЕХОД К ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ И РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ЭНЕРГЕТИКЕ , повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии Победителей: 55
	ПЕРЕХОД К ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЕ, ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОМУ ЗДРАВООХРАНЕНИЮ И ТЕХНОЛОГИЯМ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ , в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных) Победителей: 66
	ПЕРЕХОД К ВЫСОКОПРОДУКТИВНОМУ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОМУ АГРО- И АКВАХОЗЯЙСТВУ , разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания Победителей: 36
	ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ТЕХНОГЕННЫМ, БИОГЕННЫМ, СОЦИОКУЛЬТУРНЫМ УГРОЗАМ, ТЕРРОРИЗМУ И ИДЕОЛОГИЧЕСКОМУ ЭКСТРЕМИЗМУ , а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства Победителей: 21
	СВЯЗАННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ , а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики Победителей: 22
	ВОЗМОЖНОСТЬ ЭФФЕКТИВНОГО ОТВЕТА РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА НА БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук Победителей: 67

Рис. 2. Пример публикации списков победителей МК-2020 по направлениям СНТР

Сравнительный анализ данных в разрезе областей знаний показывает, что распределение победителей конкурсов по годам существенно не меняется. Наибольшую активность в конкурсах 2019 и 2020 гг. проявили ученые в таких областях, как «Технические и инженерные науки», «Общественные и гуманитарные науки» и «Химические технологии», а наименьшую – «Сельскохозяйственные науки», «Математика и механика» и «Информационные технологии».

Сведения о распределении победителей конкурсов по областям знаний представлены на рис. 3.



Рис. 3. Распределение победителей конкурсов 2019 и 2020 гг. по областям знаний

В конкурсах приняли участие представители всех федеральных округов страны. Данные о распределении победителей конкурсов по федеральным округам представлены на рис. 4.

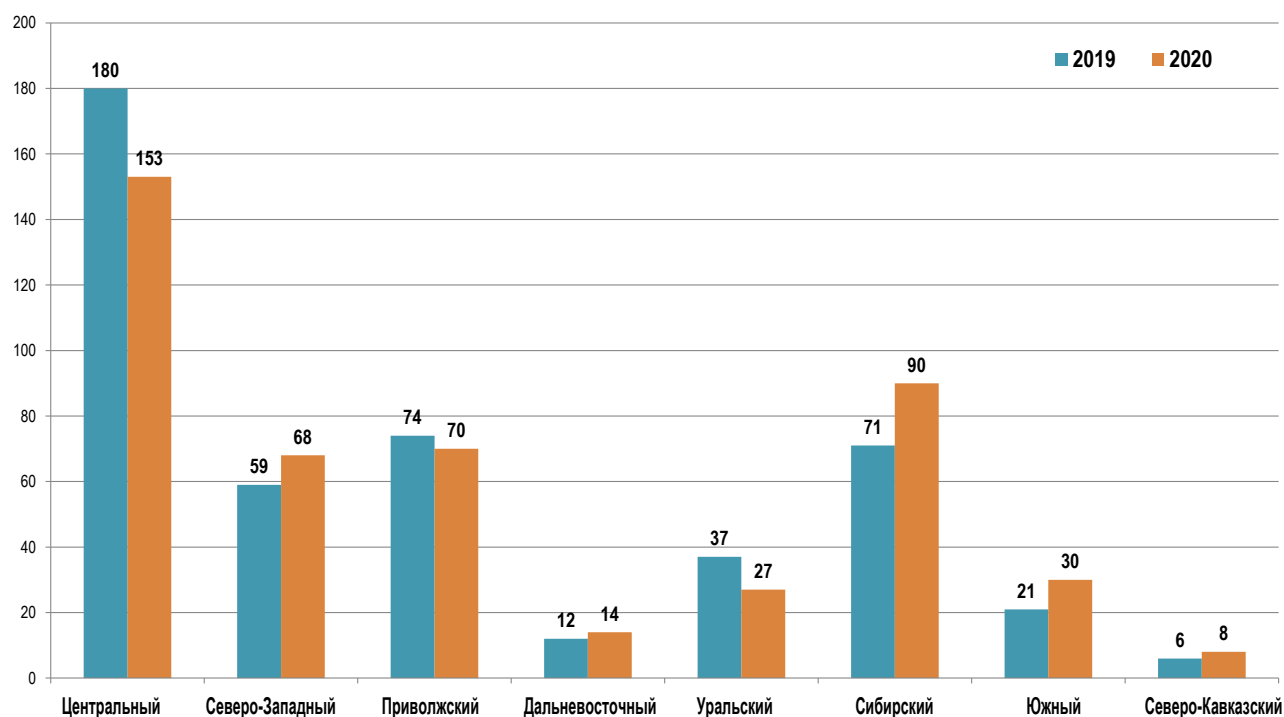


Рис. 4. Распределение победителей конкурсов 2019 и 2020 гг. по федеральным округам

Наибольшее число победителей — в Центральном, Сибирском, Приволжском и Северо-Западном округах. Однако количество победителей в Центральном и Уральском округах в 2020 г. уменьшилось, а в Сибирском, Северо-Западном и Южном округах — увеличилось.

Результаты сравнительного анализа конкурсов по регионам представлены на рис. 5. Очевидно, что лидирующие позиции в конкурсах занимают Москва и Санкт-Петербург, однако если количество победителей от Санкт-Петербурга в конкурсе 2020 г. увеличилось почти на четверть, то от Москвы, наоборот, немного снизилось. В ряде субъектов Российской Федерации в 2020 г. наметилась тенденция к увеличению числа победителей в два или даже в три раза (по сравнению с 2019 г.). К ним относятся Белгородская, Волгоградская, Воронежская области, а также Алтайский край и Пермский край. Остальные регионы в целом по конкурсам имеют стабильные показатели.

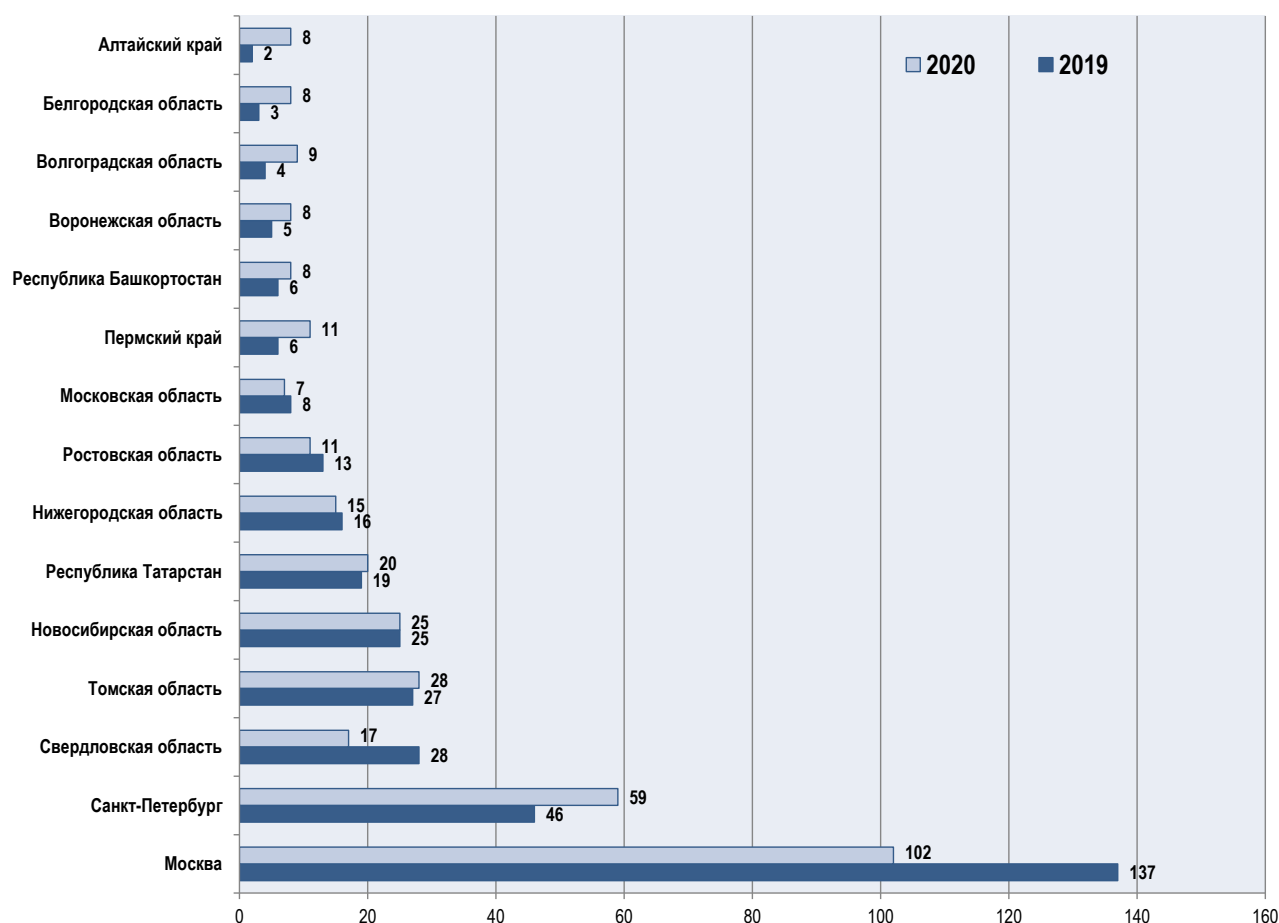


Рис. 5. Распределение победителей конкурсов 2019 и 2020 гг. по регионам

Представляет интерес и степень участия в конкурсах главных распорядителей бюджетных средств (ГРБС).

Представители организаций, подведомственных Минобрнауки России, составляют около 80 % от общего числа участников/победителей конкурсов. Сведения о распределении победителей конкурсов по другим ГРБС представлены на рис. 6.

Наиболее активное участие в конкурсах приняли молодые ученые Минздрава России, МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ и Минсельхоза России.

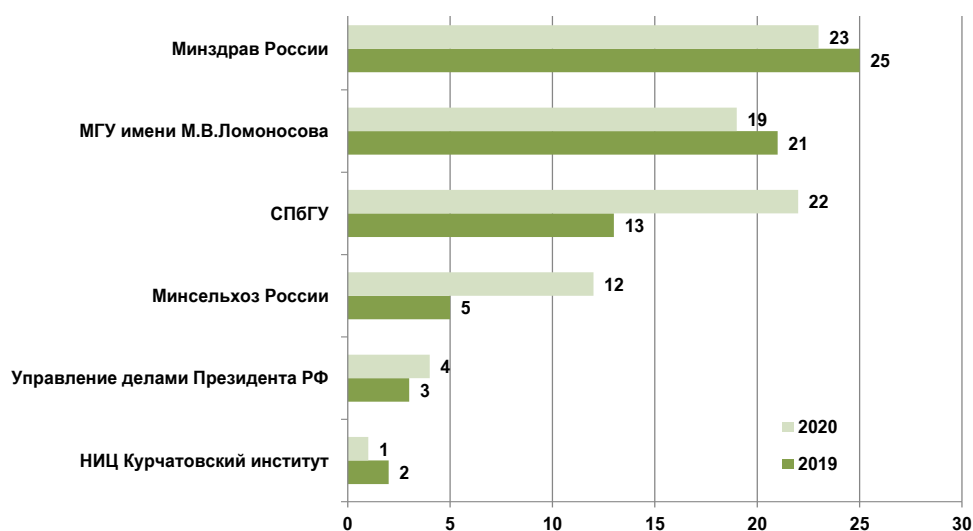


Рис. 6. Распределение победителей конкурсов 2019 и 2020 гг. по ГРБС

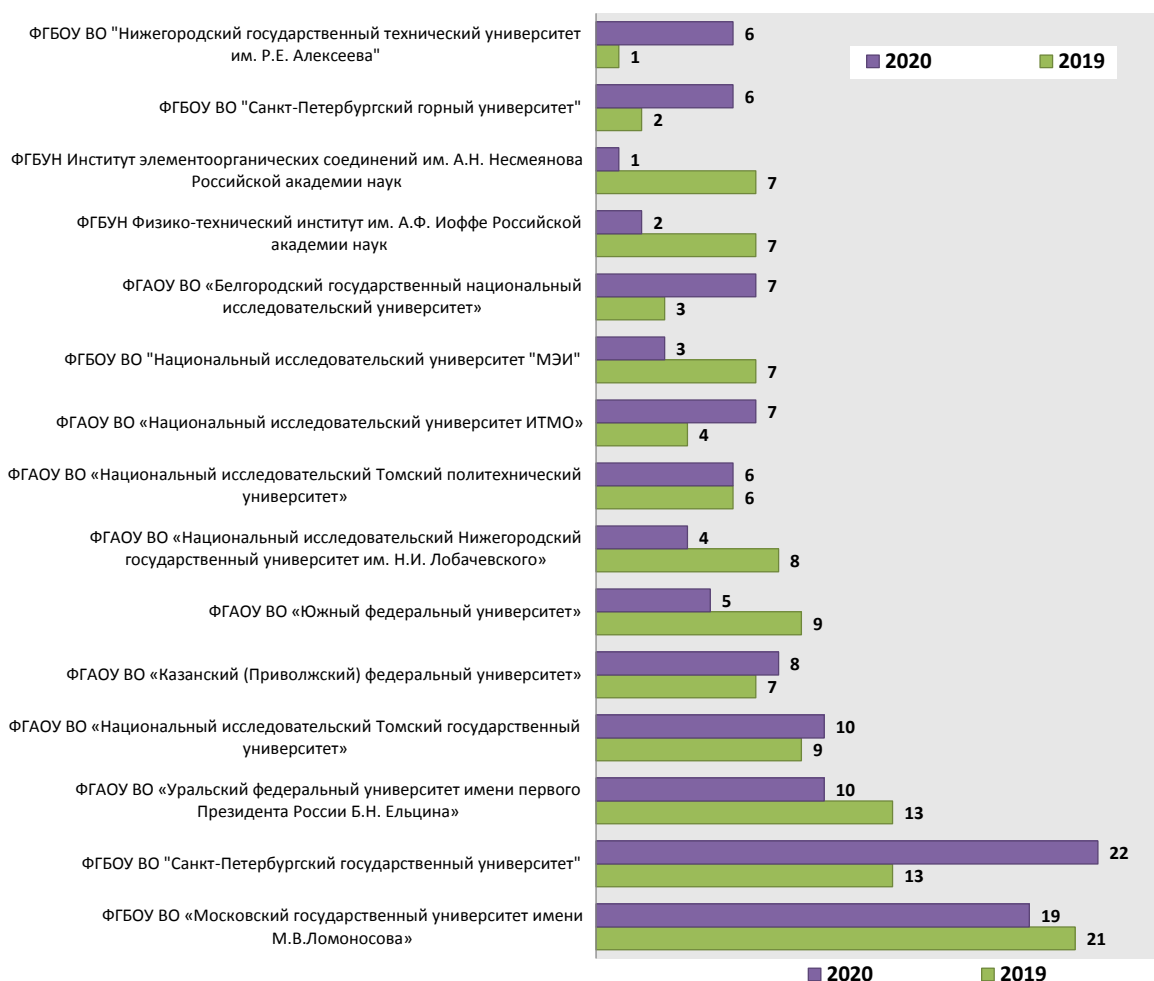


Рис. 7. Распределение победителей конкурсов 2019 и 2020 гг. по организациям

Результаты анализа распределения победителей конкурсов по организациям, представившим наибольшее число заявок, представлены на рис. 7. Наиболее активное участие в конкурсах приняли молодые ученые МГУ им. М.В. Ломоносова и СПбГУ. Примечательно, что в 2020 г. показатели активности СПбГУ резко увеличились. Аналогичная тенденция наблюдается и у ряда других организаций, например Санкт-Петербургского горного университета, Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, Белгородского государственного национального исследовательского университета и Национального исследовательского университета ИТМО.

Однако некоторые организации, наоборот, в конкурсах 2020 г. снизили активность по сравнению с предыдущим годом, – например, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова.

Одной из актуальных задач при проведении конкурсов является оценка показателей публикационной активности победителей. Сводные данные по конкурсам МК и МД за 2019 и 2020 гг. о количестве представленных публикаций, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования WoS и Scopus, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Обобщенные сведения о количестве публикаций победителей конкурсов МК и МД, индексируемых в WoS и Scopus (за 2019 и 2020 гг.)

Область знаний	Конкурс 2019 г.		Конкурс 2020 г.	
	Количество публикаций			
	WoS	Scopus	WoS	Scopus
Математика и механика	251	345	120	154
Физика и астрономия	1049	1228	617	711
Химия	840	841	755	810
Биология	494	423	260	269
Науки о Земле	219	308	189	274
Общественные науки	175	191	169	162
Медицина	152	182	189	265
Технические науки	1146	1561	440	832
Информатика	215	331	196	304
Сельскохозяйственные науки	77	87	62	84

В конкурсах 2020 г. публикационная активность победителей снизилась почти вдвое в таких областях знаний, как «Математика и механика», «Физика и астрономия» и «Технические науки», а в области «Медицина», наоборот, возросла. В остальных областях количество публикации остается примерно одинаковым.

Проведенный анализ результатов конкурсов 2019 и 2020 гг. свидетельствует о сохранении интереса молодых ученых к такой форме государственной поддержки отечественной науки, как гранты Президента Российской Федерации. В целом реализация данного инструмента способствует решению таких важных государственных задач, как закрепление талантливой молодежи в российских научных организациях и привлечение молодых ученых к проведению научных исследований.

Статья подготовлена по материалам работ, выполненных ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ в рамках государственного задания № 075-01394-20-02.

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-77-89

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТОГЕНОВ

Р.М. Расулов, науч. сотр. ФГБУ «НМИЦ РК», rizo_rasulow@mail.ru

В.М. Гукасов, гл. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, д-р биол. наук, v_m_gukasov@mail.ru

Л.Л. Мякинкова, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. биол. наук, llm@extech.ru

Т.А. Снисаренко, зав. каф. ГБОУ ВПО «Московский государственный областной университет», д-р биол. наук, проф., snisarenko-t@rambler.ru

С.А. Голованов, ст. науч. сотр. ГНЦ РФ «Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений», канд. пед. наук, golovanov.77780@mail.ru

М.М. Расулов, нач. отд. ГНЦ РФ «Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений», д-р мед. наук, проф., maksud@bk.ru

Рецензент: **Н.Л. Шимановский**

В обзорной статье приведены основные сведения о возможностях применения адаптогенов различного происхождения как в клинической практике, так и в практике физического воспитания и спорта. Представлены сведения о новых современных подходах с применением отечественного оригинального препарата «Трекрезан» по новому назначению.

Ключевые слова: адаптогены, трекрезан, физическая культура, спорт, стресс.

MODERN VIEWS ON THE POSSIBILITIES OF USING ADAPTOGENS

R.M. Rasulov, Researcher, Federal State Budgetary Institution Scientific Research Centre of the Republic of Kazakhstan, rizo_rasulow@mail.ru

V.M. Gukasov, Chief Researcher, FSBI SRI FRCEC, Ph. D., v_m_gukasov@mail.ru

L.L. Myakinkova, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Biology, llm@extech.ru

T.A. Snisarenko, Head of Department, MGOU «Moscow Region State University», Ph. D., Professor, snisarenko-t@rambler.ru

S.A. Golovanov, Senior Researcher, SSC RF «State Research Institute of Chemistry and Technology of Organoelement Compounds», Doctor of Pedagogics, golovanov.77780@mail.ru

M.M. Rasulov, Head of Department, SSC RF «State Research Institute of Chemistry and Technology of Organoelement Compounds», Ph. D., Professor, maksud@bk.ru

The review article provides basic information about the possibilities of using adaptogens of various origins both in clinical practice and in the practice of physical education and sports. The information on new modern approaches using the original Russian drug Trekrezan for a new purpose is presented.

Keywords: adaptogens, trekrezan, physical education, sports, stress.

Введение

В последние годы в практику внедрено множество фармакологических препаратов, применяемых с общей целью повышения общей и специальной физической работоспособности.

сти спортсменов и ускорения восстановления. Спортивная фармакология как отрасль спортивной медицины в настоящее время представляет собой полностью сформировавшееся и бурно развивающееся направление так называемой фармакологии здорового человека. Проблема в том, что эффекты и особенности применения в спортивной медицине лекарственных средств весьма отличаются от известных в клинической фармакологии, разработанных для больного человека (тем более не находящегося в условиях интенсивной мышечной деятельности). Принципы и достижения «обычной» фармакологии не могут быть, таким образом, механически перенесены на спортсменов, даже при использовании ими «обычных» лекарств из аптеки. Ориентированность на широкое использование лекарств, облегчающих переносимость физических нагрузок и повышающих тем самым работоспособность, характеризует в настоящее время все уровни спортивной и даже физкультурной деятельности. В этом плане особое место принадлежит адаптогенам, поскольку, как правило, адаптогены не относятся к группам запрещенных медицинской комиссией МОК средств (допингов).

Применение адаптогенов

Адаптогены — это недопинговые (разрешенные) фармакологические препараты, которые могут быть рекомендованы при интенсивных физических нагрузках. Это лекарственные средства, получаемые из натурального сырья (части лекарственных растений или органы животных), имеющие многовековую историю применения (некоторые из них применяются в восточной медицине уже тысячелетия).

Применение адаптогенов в спорте обусловлено многочисленными исследованиями. Основное их использование связано с двумя моментами: повышение резервных возможностей организма для выполнения повышенных нагрузок (как физических, так и умственных); полноценное восстановление организма после перенесенных напряжений. Механизмы действия адаптогенов различны и в значительной степени не выяснены окончательно до сих пор.

В современной медицине адаптогены находят широкое применение, и интерес исследователей к ним растет. Об этом, например, можно судить по документам, включенным в библиографическую базу данных в журналах списка Scopus. Так, анализ динамики публикационной активности в журналах списка Scopus всех категорий по ключевым словам: *adaptogen*, *adaptogen and medicine*, *adaptogen and pharmacy*, *adaptogen and sport* — показывает, несмотря на колебания, рост числа документов по указанной теме. Однако документов с ключевыми словами *adaptogen and sport* меньше относительно других. Очевидно, что особый интерес к научному обоснованию применения адаптогенов в спортивной медицине возник в последние десятилетия (рис. 1).

При анализе публикаций установлено, что наибольшее количество документов приходится на Индию (396), США (289), Китай (271) и Россию (260). Доля этих стран в общем массиве публикаций по ключевому слову *adaptogen* составляет 56 % (рис. 2).

Это ключевое слово чаще всего употребляется в статьях по таким научным дисциплинам, как медицина, фармакология, биохимия, генетика, молекулярная биология и сельскохозяйственные науки (рис. 3).

Доля документов, приходящихся на эти дисциплины, составляет 71 %. Документы представлены в основном в виде научных статей и небольшой долей обзоров, что также подтверждает, что механизмы действия различных адаптогенов в значительной степени еще не изучены (рис. 4). Научные исследования адаптогенов практически не публикуются в материалах научных конференций и не издаются в монографиях.

Запатентованных научных результатов по изучению действия и применения адаптогенов в исследуемой базе данных немного. Так, общее число патентов в списках Scopus составило 477 документов за период с 2000 по 2019 г., и наибольшее количество было зарегистрировано в 2014–2016 гг. В последние годы наблюдается отрицательная динамика регистрации патентов в списках Scopus при поиске по ключевому слову *adaptogen* (рис. 5).

Число публикаций

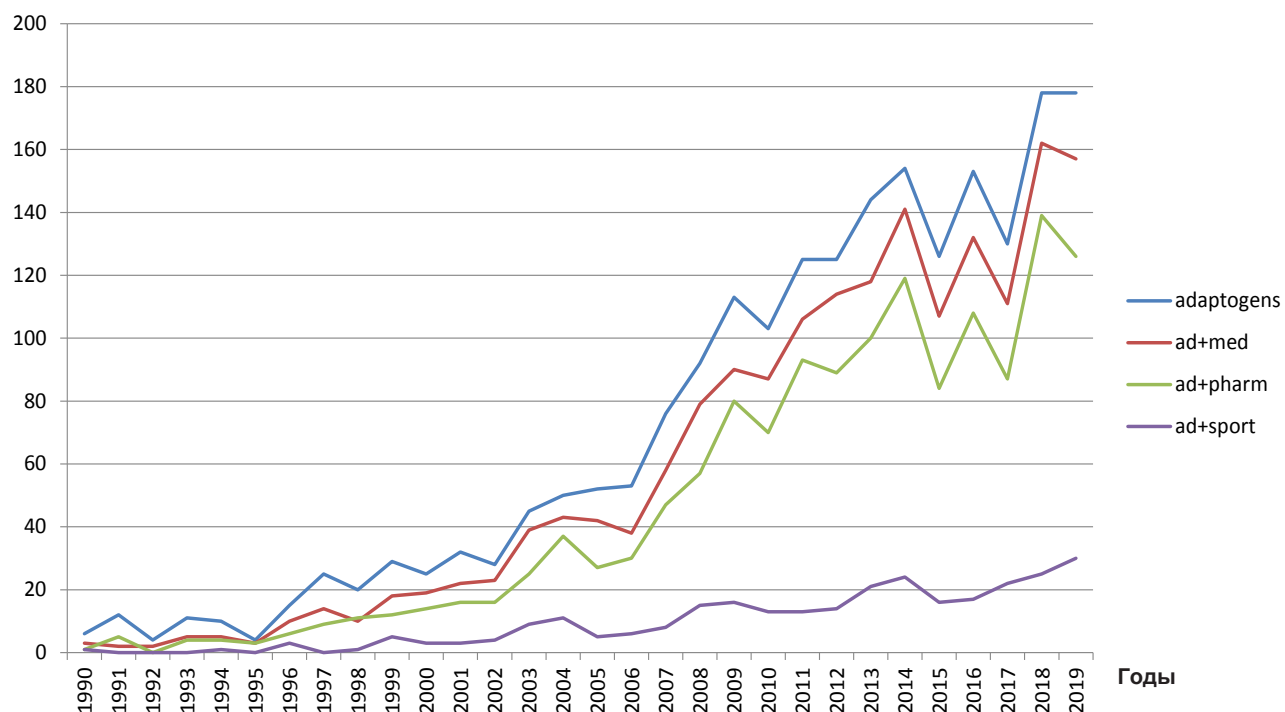


Рис. 1. Динамика публикационной активности в журналах списка Scopus по ключевым словам: *adaptogen*, *adaptogen and medicine*, *adaptogen and pharmacy*, *adaptogen and sport* (март 2020 г.)

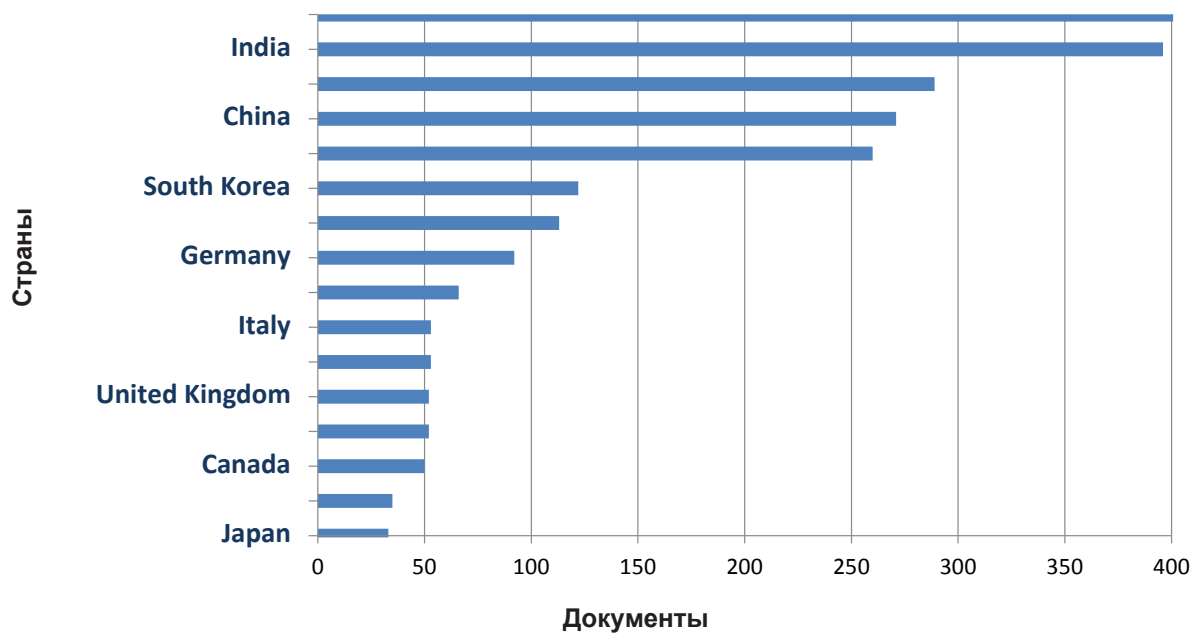


Рис. 2. Публикационная активность в журналах списка Scopus по ключевому слову *adaptogen* по странам (март 2020 г.)

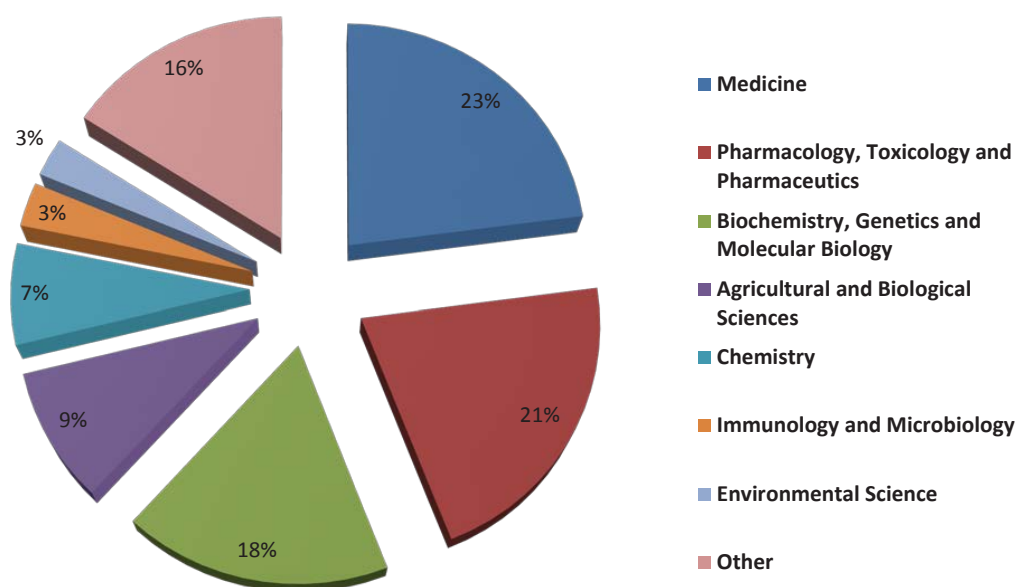


Рис. 3. Распределение документов в журналах списка Scopus по научным дисциплинам по ключевому слову *adaptogen* (март 2020 г.)

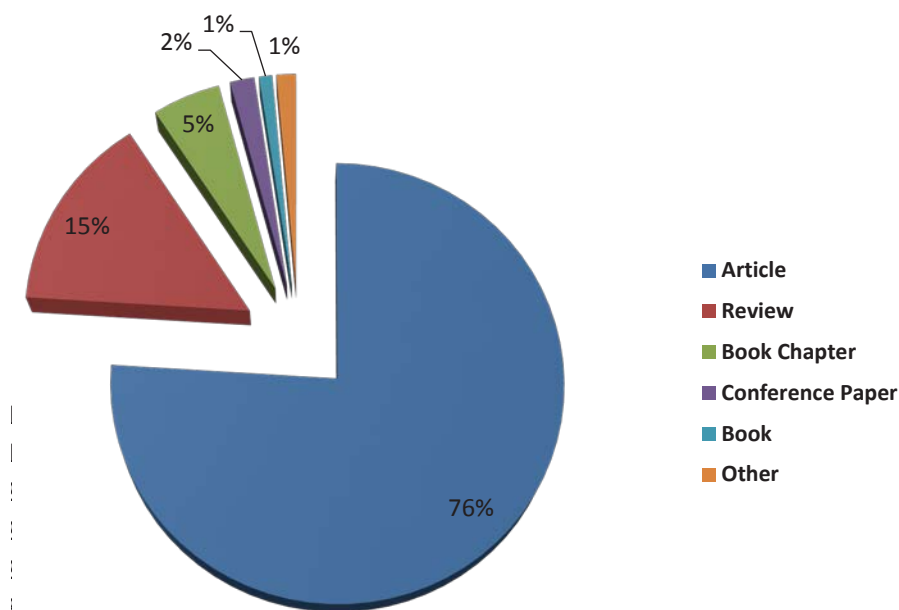


Рис. 4. Количество публикаций в Scopus по ключевому слову *adaptogen* по видам публикаций (март 2020 г.)

Если по количеству документов по ключевому слову *adaptogen* лидирует Индия, то основная часть результатов интеллектуальной деятельности по этой теме зарегистрирована Ведомством по патентам и товарным знакам США (United States Patent & Trademark Office) – 401 документ (табл. 1).

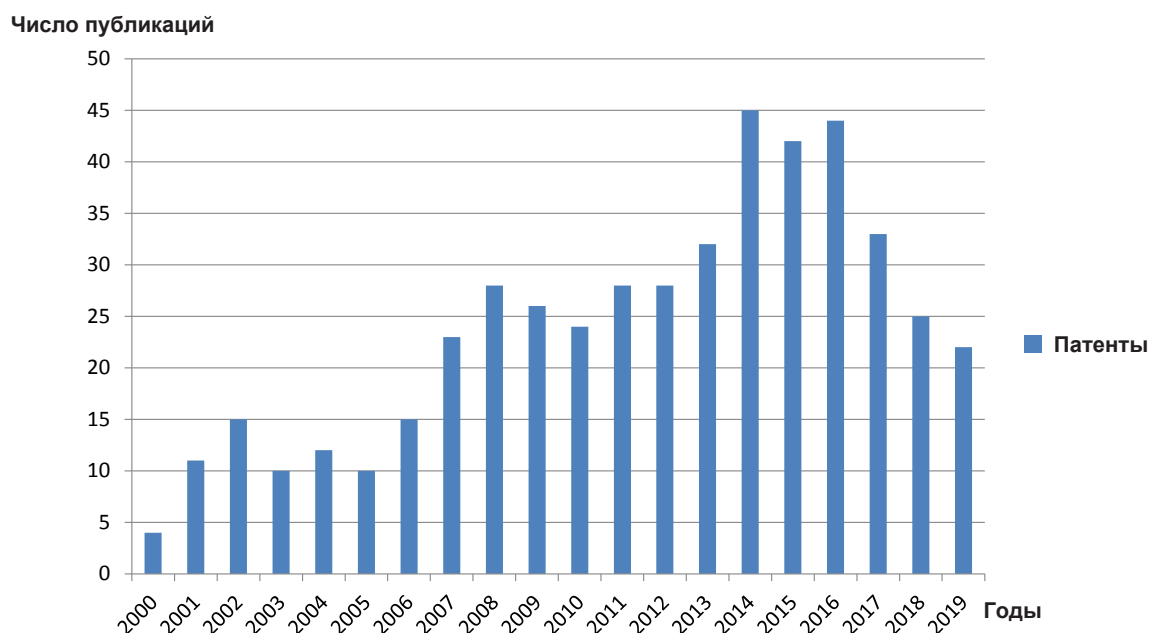


Рис. 5. Динамика патентования в Scopus по ключевому слову *adaptogen* (март 2020 г.)

Таблица 1

Количество патентов, зарегистрированных в библиометрической базе в Scopus (март 2020 г.)

Патентное бюро	Патенты
Ведомство по патентам и товарным знакам США (United States Patent & Trademark Office)	401
Всемирная организация интеллектуальной собственности (World Intellectual Property Organization)	39
Европейское патентное ведомство (European Patent Office)	33
Патентное ведомство Японии (Japan Patent Office)	17
Ведомство интеллектуальной собственности Соединенного Королевства (United Kingdom Intellectual Property Office)	3

Общие принципы действия адаптогенов

Общим эффектом воздействия всех адаптогенов на организм является повышение функциональных возможностей и приспособляемости (адаптации) в различных осложненных условиях. Адаптогены практически не влияют на нормальные функции организма, находящегося в комфорте, но значительно повышают физическую и умственную работоспособность, переносимость нагрузок, устойчивость к различным неблагоприятным факторам (жара, холод, жажда, голод, инфекция, психологические стрессы, физические нагрузки и т. п.).

Предполагается, что основным путем реализации действия адаптогенов на организм является их тонизирующее влияние на центральную нервную систему и через нее — на все другие системы, органы и ткани организма. Поскольку разные адаптогены влияют на организм через различные пути, рекомендуется комбинировать и чередовать разные адаптогенные препараты, взаимно усиливая их положительный эффект. Адаптогены позволяют увеличивать объем и интенсивность тренировочных нагрузок, повышают тонус организма и работоспособность. Все это, хоть и не ускоряет непосредственно прирост мышечной ткани,

способствует выполнению в полной мере напряженных программ подготовки атлетов и оказывает общее стимулирующее влияние на организм. Это, в первую очередь, препараты из нижеперечисленных групп:

- аминокислотные препараты и белковые продукты повышенной биологической ценности;
- витамины;
- анаболизующие средства;
- гепатопротекторы и желчегонные средства;
- иммунокорректирующие средства;
- адаптогены растительного и животного происхождения, а также препараты некоторых других групп — например, энергизирующие средства (субстраты энергетического обмена), антиоксиданты, электролиты и минералы, углеводные насыщенные смеси, комбинированные препараты и др.

Следует, однако, подчеркнуть, что нельзя передозировать используемые препараты, поскольку при этом могут наблюдаться перевозбуждение, бессонница, головная боль, подъем артериального давления. Необходима периодическая смена адаптогенов для предупреждения привыкания.

Коррекция утомления с помощью адаптогенов

Применение лекарственных средств для коррекции утомления подразумевает ускорение восстановления работоспособности организма спортсмена в целом и различных его органов, систем, тканей и клеток в частности посредством воздействия фармакологического препарата на отдельные звенья механизма этого интегрального процесса.

При использовании лекарственных средств для ускорения восстановления спортсменов на первый план выходит принцип дозированного восстановления. Дело в том, что утомление носит для спортсмена и благотворительный характер. Именно утомление и вызываемые им биохимические и физиологические сдвиги способствуют повышению адаптации организма спортсмена к физической нагрузке, повышают уровень спортивной работоспособности, оказывают собственно тренирующее воздействие. Безоглядное использование восстановительных средств снижает эффективность тренировок и не позволяет спортсмену достигнуть пика спортивной формы. Постоянное применение сильнодействующих восстановителей может не только снижать эффект тренировки, но и приводить к утере приобретенных навыков.

Кроме того, постоянное применение таких препаратов, как инозин, рибоксин, эссенциале, фосфаден, может приводить к значительному снижению эффективности их приема и в конце концов к наступлению полной невосприимчивости к препарату. Одновременно отметим, что запредельное утомление (переутомление, перенапряжение) способствует срыву адаптационных (приспособительных) возможностей организма к нагрузке и резкому снижению спортивной работоспособности. Теория дозированного восстановления спортсмена подразумевает, что восстановительные мероприятия у спортсменов должны быть «дозированы» — как по интенсивности (не слишком много и не слишком мало, а в меру), так и (что очень важно) по времени, не должны проводиться непрерывно, а лишь только в определенные периоды времени в тренировочном процессе. Таков общий принцип, а о подробностях будет сказано ниже. Объективно оценить степень утомления организма спортсмена можно только по ряду биохимических показателей крови, таких как содержание молочной кислоты (лактат), образуемой при гликолитическом (анаэробном) распаде глюкозы в мышцах, концентрация пировиноградной кислоты (пируват), фермента креатинфосфокиназы, мочевины и некоторых других.

Феномен перенапряжения

Используемые в спортивной медицине средства восстановления и восстановительные мероприятия можно условно разделить на три группы: педагогические, психологические и медико-биологические. Однако необходимо напомнить, что это деление во многом условно

и только комплексное применение перечисленных методов позволяет достигнуть эффекта в максимально короткие сроки. При этом особое внимание следует обратить на феномен перенапряжения.

В зависимости от выраженности нарушения деятельности систем и органов выделяют четыре клинические формы перенапряжения:

- перенапряжение центральной нервной системы (ЦНС);
- перенапряжение сердечно-сосудистой системы;
- перенапряжение печени (печеночно-болевой синдром);
- перенапряжение нервно-мышечного аппарата (мышечно-болевой синдром).

Лечение от перенапряжений направлено на регуляцию и стимуляцию обменных процессов, причем происходит заметное увеличение доз принимаемых препаратов и продолжительности курса. Рассмотрим далее отдельные виды перенапряжения.

Синдром перенапряжения центральной нервной системы встречается, как правило, в сложно-координационных видах спорта в период наработки технических навыков, в специальном подготовительном периоде, а также в предсоревновательном и соревновательном периодах учебно-тренировочного процесса. При этом может наблюдаться как угнетение, так и перевозбуждение ЦНС. В случае угнетения ЦНС при ощущении слабости, нежелании тренироваться, апатии, снижении артериального давления назначают тонизирующие и стимулирующие средства: адаптогенные препараты животного и растительного происхождения (пантокрин, женьшень, родиола розовая, элеутерококк, аралия, стеркулия, заманиха, трекрезан и др.), тонизирующие растительные препараты импортного производства (вигорекс, бренто и др.). При повышенной возбудимости, нарушениях сна, раздражительности применяют легкие снотворные и седативные (успокаивающие) средства: препараты валерианы, пустырника, пассифлоры, оксибутират натрия. При приеме оксибутирата натрия можно назначать аминолон, гаммалон или пирацетам (оксибутират натрия – по 30–35 г 5%-ного сиропа на ночь, аминолон, гаммалон или пирацетам по 1–2 табл. 3 раза в день), продолжительность курса – 10–12 дней. В комбинации с указанными препаратами могут назначаться глутаминовая кислота и глицерофосфат кальция.

Синдром перенапряжения сердечно-сосудистой системы. Объективными показателями перенапряжения сердечно-сосудистой системы являются изменения в электрокардиограмме. При наличии признаков перенапряжения сердечно-сосудистой системы следует немедленно ограничить объем физических нагрузок, а также проводить соответствующие бальнеологические, физиотерапевтические и фармакологические мероприятия. Фармакотерапия синдрома перенапряжения миокарда при наличии выраженных нарушений функции сердца включает прием рибоксина (инозин), оротата калия, сафинора, а также препаратов аминокислот и витаминов (пиридоксин, цианкобаламин, фолиевая кислота). Целесообразно также сочетанное применение препаратов фосфора, АТФ, холина хлорида и карнитина (15–30 дней). На поздних стадиях перенапряжения сердечно-сосудистой системы, особенно с выраженными признаками дистрофии миокарда, показана терапия верошпироном, альдактоном. Перед курсовым лечением необходимо установить индивидуальную чувствительность к препарату и эффективную его дозу. Это общепринятые рецепты. Однако в последние годы появились литературные данные о пользе применения дозированных физических нагрузок при патологии сердечно-сосудистой системы [4, 5]. Более того, из большого разнообразия кардиотропных препаратов рекомендуют в случаях самой распространенной патологии – гипертонической болезни – применять эналаприл [15, 16].

Синдром перенапряжения печени (печеночно-болевой). Печеночно-болевой синдром развивается обычно при тренировках на выносливость, особенно в видах спорта, требующих вынужденного положения (конькобежный спорт, гребля). Он развивается, как правило, после однократной чрезмерной физической нагрузки и проявляется остро, без предвестников.

Особое внимание при возникновении перенапряжения печени спортсменов должен уделять контролю над питанием (рацион должен содержать достаточное количество углеводов на фоне уменьшенного количества животных жиров, растительные и молочные продукты). Для усиления желчеотделения целесообразно назначение минеральных вод, препаратов некоторых лекарственных растений (настои бессмертника, кукурузных рылец, шиповника), желчегонных препаратов (аллохол, легалон, карсил) и гепатопротекторов (эссенциале). При спастических явлениях показано назначение спазмолитических средств. Эффективно также комбинирование указанных средств с оротатом калия, рибоксином (инозин). Также рекомендуется прием трекрезана, показавшего себя в качестве гепатопротектора. Прием желчегонных и гепатопротекторов рекомендуется проводить после еды в течение длительного времени, особенно в периоды наиболее интенсивных и продолжительных тренировок.

Синдром перенапряжения нервно-мышечного аппарата (мышечно-болевой). Напряженная мышечная деятельность в анаэробном режиме у спортсменов невысокой квалификации или при форсированной тренировке может приводить к развитию болевого синдрома в мышцах. При этом следует снижать тренировочные нагрузки, особенно в анаэробном режиме (силовые). Целесообразно назначение бальнеопроцедур, массажа с согревающими мазями, локальной барокамеры. Из лекарственных средств лечения мышечно-болевого синдрома показано назначение спазмолитических, сосудорасширяющих и улучшающих процессы микроциркуляции препаратов: ксантинолникотината, никошпана, трентала. При повышенной вязкости крови с нарушением адгезии тромбоцитов и эритроцитов прием трентала целесообразно сочетать с сосудорасширяющими препаратами типа но-шпы и фосфадена. Хороший эффект дает назначение оксибутирата натрия как средства профилактики перед планируемыми нагрузками в аэробной зоне, а также при развившемся синдроме «забитости» мышц. В случае упорного болевого синдрома для снижения мышечного тонуса может быть целесообразным применение скутамила-С (1–2 дня), мидокалма (1–2 приема) или трекрезана. Поскольку в чистом виде указанные синдромы перенапряжения, как правило, не встречаются, а комбинируются у спортсменов, восстановительный комплекс препаратов обычно включает средства, направленные на профилактику и лечение различных синдромов.

Адаптогены на восстановительном этапе учебно-тренировочного цикла

Как мы уже отмечали, основными задачами фармакологического обеспечения спортсменов на восстановительном этапе годового цикла учебно-тренировочного процесса являются:

- выведение метаболических «шлаков» из организма;
- лечение перенапряжения различных систем и органов;
- подготовка к восприятию интенсивных физических и психоэмоциональных нагрузок.

Для решения указанных задач применяются фармакологические препараты. Витамины А и Е – либо порознь, либо совмещенные – способствуют стимуляции некоторых окислительно-восстановительных процессов и синтезу ряда гормонов. Витамин С применяют для ускорения адаптации к физическим нагрузкам и в целях профилактики авитаминоза. Девушкам можно рекомендовать препарат «Ферроплекс» (Венгрия), содержащий наряду с аскорбиновой кислотой (витамин С) ионы железа. Наиболее целесообразно принимать «Ферроплекс» в первую половину менструального цикла.

Ускорению адаптации к тяжелой физической нагрузке и нормализации функционального состояния систем и органов способствует прием таких препаратов-адаптогенов, как пантокрин, сафинор, трекрезан, а также использование комплекса полифенольных адаптогенов (родиола, лимонник, элеутерококк, женьшень, аралия и т. д.).

Анализ публикационной активности в базе данных Scopus по наиболее распространенным адаптогенам полифенольного ряда показал, что за последние 30 лет число документов увеличивалось (рис. 6).

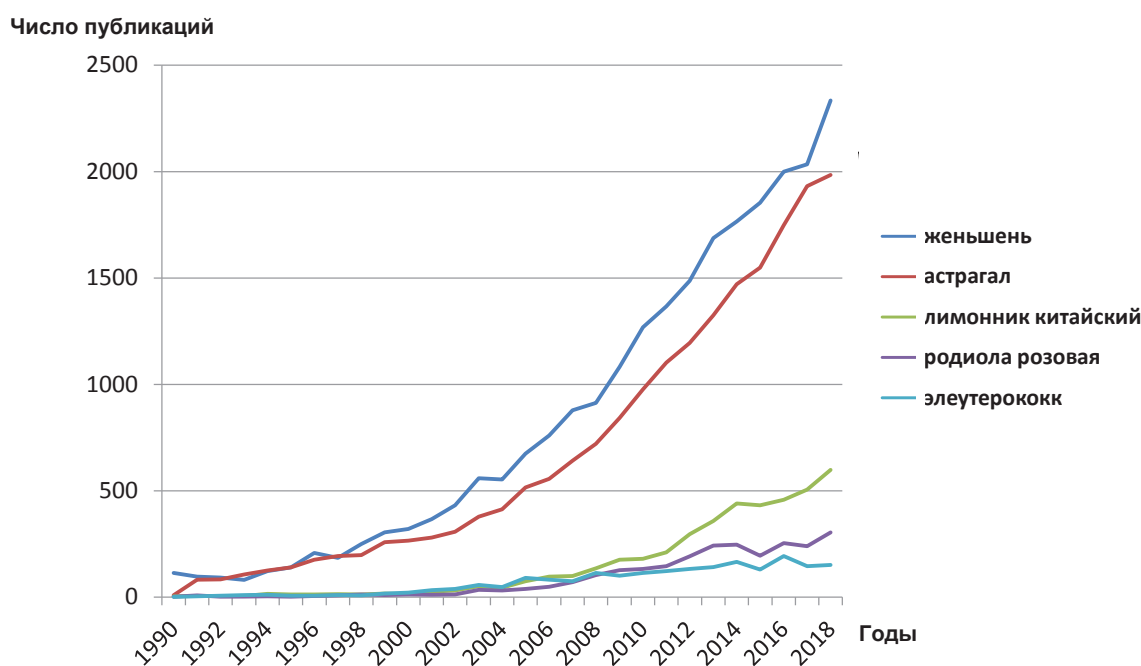


Рис. 6. Динамика документов в журналах списка Scopus по различным растительным адаптогенам (март 2020 г.)

Особенно активно публиковались работы по исследованию таких растительных адаптогенов, как женьшень и астрагал. Не столь интенсивно нарастали публикации, касающиеся лимонника китайского и родиолы розовой, а в еще меньшей степени — элеутерококка. Следовательно, можно предположить, что наиболее широко используемыми и исследуемыми растительными адаптогенами являются женьшень и астрагал. На их долю приходится 83 % всех публикаций об указанных пяти растительных адаптогенах (рис. 7).

Однако необходимо иметь в виду, что в международных базах данных, в соответствии с данными аналитической платформы InCites от 11.03.2019, публикации исследователей с российскими аффилиациями составили всего 2,4 % от общемирового массива научных статей. Следовательно, эти данные отражают тенденции зарубежных исследований из таких стран, как США, Китай и Великобритания [19].

Для того чтобы определить хотя бы относительные предпочтения относительно рассматриваемых адаптогенов в отечественных исследованиях, были проанализированы данные публикационной активности по рассматриваемым растительным адаптогенам в Национальной библиографической базе данных научного цитирования (РИНЦ). Анализ числа публикаций по названиям рассматриваемых адаптогенов в РИНЦ показал, что наибольшее количество публикаций, а косвенным образом — и исследований, приходится на астрагал (27 %), лимонник (24 %) и элеутерококк (21 %): всего 72 % от числа публикаций по данным пяти адаптогенам. Публикации по женьшеню составляют в РИНЦ только 15 %, тогда как в Scopus — 45 %.

Как правило, растительные адаптогены принимают в виде настоек по 2–3 раза в день: утром и перед обедом натошак. Сафинор и пантокрин (форма в таблетках) принимают по 1 табл. 3 раза в день на протяжении 10 дней. Прием адаптогенов следует начинать за 3–4 дня до начала тренировок, продолжительность курса приема препаратов обычно составляет 10–12 дней. Можно использовать корни валерианы (как в таблетированной форме, так и в виде настойки), настой пустырника, оксибутикар и некоторые другие седативные препараты.

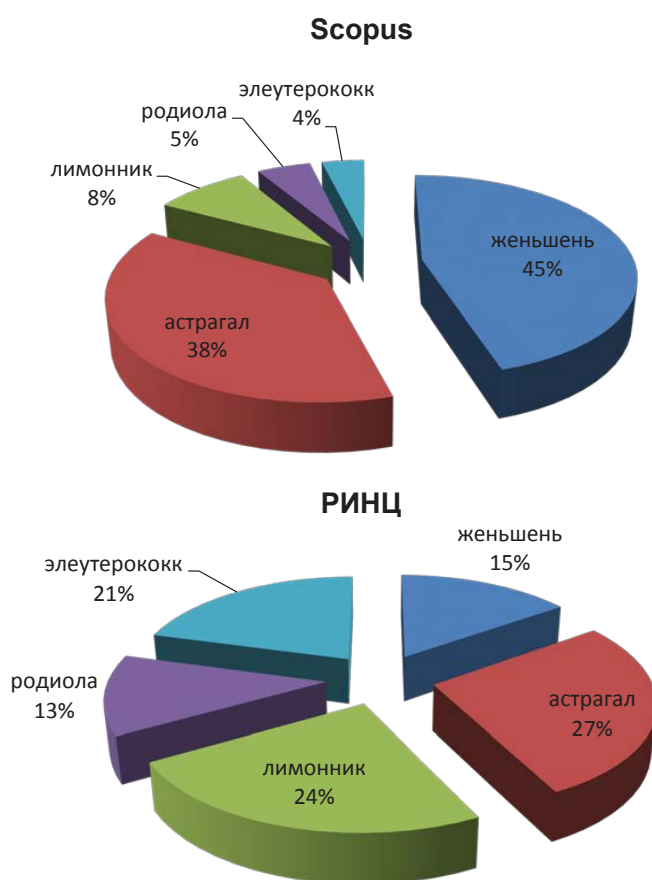


Рис. 7. Относительное распределение публикаций по отдельным растительным адаптогенам в базах данных РИНЦ (апрель 2020 г.) и Scopus (март 2020 г.)

В целях нормализации обмена веществ в восстановительный период для регуляции функционального состояния систем и органов, для ускорения реабилитации спортсменов назначают, как правило, следующие препараты: рибоксин (инозин), кокарбоксилазу, эссенциале, гепатопротекторы (аллохол, легалон и др.). В этот период рекомендуется диета, богатая углеводами и жирами, в меньшей степени это относится к белкам. Абсолютно необходимо присутствие в рационе свежих фруктов и овощей, соков, а также продуктов повышенной биологической ценности. Особое внимание следует обратить на вес спортсмена, который не должен превышать в этот период обычный вес (так называемый боевой вес) более чем на 2–3 кг. Во второй половине восстановительного периода рекомендуется прием иммуномодуляторов, предпочтительно неспецифических, таких как мумие, мед с пергой, препараты цветочной пыльцы, трекрезан, поллитабс, чернелтон (Швеция). Лекарственные препараты из группы иммуномодуляторов (левамизол, Т-активин и др.) могут назначаться только по медицинским показаниям.

Влияние полифенольных адаптогенов на циркадные ритмы биологической активности спортсменов

Циркадные (суточные) биологические ритмы человека являются одним из хорошо изученных процессов жизнедеятельности. Во многих исследованиях [2, 6] показано, что нарушение их структуры, связанное со многими экзогенными и эндогенными причинами,

приводит к снижению адаптационных возможностей организма и состояния здоровья. Для оценки суточной организации биологической активности человека предложено немало приемов, в основу которых положены нейрофизиологические, биохимические, иммунные и иные процессы в организме человека [7, 8, 10, 17]. Так, установлено, что для выявления паттернов колебательных процессов биологической активности (в пределах почти 90 %-ной вероятности достоверности) достаточно использования ортостатической пробы через каждые 4 часа в пределах суток, исключая ночные часы [9, 11, 12]. При применении комплекса полифенольных адаптогенов (родиола, лимонник, элеутерококк, женьшень, аралия и т. д.) в терапевтических дозировках отмечены случаи, когда их эффект был позитивным, что выражалось как в субъективном, так и в объективном плане. В противных случаях применение адаптогенов можно считать малоэффективным, так как основные механизмы их фармакологического действия основаны на лимитировании гипоталамо-гипофизарно-адренокортикальной системы и антиоксидантном действии [13], что существенно при стрессовой ситуации, но не в период благополучия. Это еще раз подтверждает точку зрения многих авторов [2, 6, 18], что нормальная организация биоритмов является непременным условием нормального протекания физиологических процессов, а значит, высокой функциональной готовности к выполнению спортивной деятельности.

Вывод

Таким образом, можно сделать вывод, что применение и в спортивной, и клинической практике адаптогенов — как общеизвестных, так и оригинальных отечественных разработок (трекрезан) — является целесообразным, но при соответствующих показаниях [13]. К показаниям для их применения можно отнести все состояния, сопровождающиеся психоэмоциональным или физиологическим стрессом. Анализ публикационной активности в базе данных Scopus по адаптогенам неуклонно растет, поскольку еще до конца не выяснены механизмы их действия. Этот факт является косвенным свидетельством роста исследовательского интереса к ним. Адаптогены применяются в спортивной медицине, потому что дают заметный эффект и не относятся к запрещенным МОК препаратам. Особое место занимают растительные адаптогены так называемого полифенольного ряда. При анализе публикаций в базах данных Scopus и РИНЦ отмечается разное распределение публикаций зарубежных и отечественных исследователей среди анализируемых, в качестве примера, пяти наиболее распространенных в практике применения растительных адаптогенов.

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания 2020 г. № 075-01394-20-02.

Список литературы

1. Ахрем А.А., Ковганко Н.В. Экдистероиды: химия и биологическая активность. Минск: Наука и техника, 1989. 325 с.
2. Баевский Р.М., Никулина Г.А., Семенова Т.Д. Исследование суточной периодики физиологических функций для оценки регуляторных систем организма при экспериментальных воздействиях // Физиология человека. 1987. № 3 (3). С. 387–393.
3. Володин В.В., Володина С.О. Способ получения 14 экдистероидов / Патент РФ № 213346, А 61 К 35/78. От 27.07.2000.
4. Голованов С.А., Стороженко П.А., Кулькова И.В., Расулов М.М. Комплексное управление состоянием больных ожирением и сопутствующей артериальной гипертензией. М.: Изд-во ГУУ, 2018. 227 с.
5. Голованов С.А., Стороженко П.А., Расулов М.М. Возможности комплексной коррекции состояния больных ожирением и артериальной гипертензией мужчин. М.: Изд-во ГУУ, 2019. 238 с.
6. Доскин Д.В., Лаврентьев В.А. Ритмы жизни. М.: Наука, 1991. 331 с.
7. Емельянов И.П. Структура биологических ритмов человека в процессе адаптации. Новосибирск: Наука, 1986. 183 с.

8. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. Тестирование в спортивной медицине. М.: ФКиС, 1988. 208 с.
9. Константинов А.А., Кулагин В.И. Особенности организации суточной динамики биологической активности человека // В сб.: Физическая культура, спорт и здоровье населения на Дальнем Востоке. Хабаровск: Изд-во ХГИФК, 1996. С. 21–22.
10. Константинов А.А., Терещенко Л.В., Янн О.Б. Нарушение временной организации функционирования системы «мать — плацента — плод» при патологии беременности / Конгресс патофизиологов: тез. докл. М., 1991. С. 87.
11. Кулагин В.И., Константинов А.А. Временная организация суточной биологической активности человека / Регион. науч.-практ. конф., посв. 100-летию Тихоокеанского флота: тез. докл. Владивосток, 1996. С. 34–36.
12. Кулагин В.И., Константинов А.А. Применение ортостатической пробы для диагностики биоритмов у спортсменов // В сб.: Актуальные проблемы физической культуры и спорта на Дальнем Востоке. Хабаровск: Изд-во ХГИФК, 1997. С. 55–57.
13. Лупандин А.В. Полифенольные адаптогены: механизм действия и применение // В кн.: Средства, методы и механизмы адаптации человека к мышечной деятельности. Хабаровск: Изд-во ХГИФК, 1990. С. 24–33.
14. Пчеленко Л.Д., Метелкина Л.Г., Володина С.О. Адаптогенный эффект экидистероидсодержащей фракции *Serratulacoronata* L // Химия растит. сырья. 2002. № 1. С. 69–80.
15. Расулов М.М., Намаканов Б.А. Изменения в сердечно-сосудистой системе на доклинической стадии артериальной гипертензии и возможности их фармакокоррекции // Lambert Academic Publishing, reha GmbH, 66111, Saarbrücken, 2012, 275 с.
16. Расулов М.М., Намаканов Б.А. Адаптивные процессы сердечно-сосудистой системы при артериальной гипертензии и возможности фармакокоррекции. М.: «11-формат», 2009. 240 с.
17. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. М.: ИНФА-М — Финансы и статистика, 1995. 384 с.
18. Ягодинский В.Н. Биоритмы. М.: Медицина, 1985. 112 с.
19. Публикационная активность России: что говорят Scopus и Web of Science? URL: <https://www.Stop100.ru/news/100908> (05.04.2019; дата обращения: 29.04.2020).

References

1. Akhrem A.A., Kovganko N.V. (1989) *Ekdisteroidy: khimiya i biologicheskaya aktivnost'* [Ecdysteroids: chemistry and biological activity] *Nauka i tekhnika* [Science and Technology]. Minsk. P. 332.
2. Baevsky R.M., Nikulina G.A., Semenova T.D. (1987) *Issledovanie sutochnoy periodiki fiziologicheskikh funktsiy dlya otsenki regulatorynykh sistem organizma pri eksperimental'nykh vozdeystviyakh* [The study of daily periods of physiological functions to assess the regulatory systems of the body under experimental influences] *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. No. 3 (3). P. 387–393.
3. Volodin V.V., Volodina S.O. *Sposob polucheniya 14 ekdisteroidov* [The method of obtaining 14 ecdysteroids]. RF Patent No. 213346, A 61 K 35/78. Dated 27.07.2000.
4. Golovanov S.A., Storozhenko P.A., Kulkova I.V., Rasulov M.M. (2018) *Kompleksnoe upravlenie sostoyaniem bol'nykh ozhireniem i soputstvuyushchey arterial'noy gipertoniey* [Integrated management of the condition of patients with obesity and concomitant arterial hypertension] *Izd-vo GUU* [SUM Publishing house]. Moscow. P. 227.
5. Golovanov S.A., Storozhenko P.A., Rasulov M.M. (2019) *Vozmozhnosti kompleksnoy korrektsii sostoyaniya bol'nykh ozhireniem i arterial'noy gipertenziy muzhchin* [Possibilities of complex correction of the condition of patients with obesity and arterial hypertension in men] *Izd-vo GUU* [SUM Publishing house]. Moscow. P. 238.
6. Doskin D.V., Lavrentiev V.A. (1991) *Ritmy zhizni* [The rhythms of life] *Nauka* [Nauka]. Moscow. P. 331.
7. Emelyanov I.P. (1986) *Struktura biologicheskikh ritmov cheloveka v protsesse adaptatsii* [The structure of human biological rhythms in the process of adaptation] *Nauka* [Nauka]. Novosibirsk. P. 183.

8. Karpman V.L., Belotserkovsky Z.B., Gudkov I.A. (1988) *Testirovanie v sportivnoy meditsine* [Testing in sports medicine] *FKiS* [FKiS (Physical Culture and Sports)]. Moscow. P. 208.
9. Konstantinov A.A., Kulagin V.I. (1996) *Osobennosti organizatsii sutochnoy dinamiki biologicheskoy aktivnosti cheloveka. V sb. Fizicheskaya kul'tura, sport i zdorov'e naseleniya na Dal'nem Vostoke* [Features of the organization of the daily dynamics of human biological activity. In: Physical education, sports and public health in the Far East] *Izd-vo KhGIFK* [Publishing House of the KHIFC]. Khabarovsk. P. 21–22.
10. Konstantinov A.A., Tereshchenko L.V., Yann O.B. (1991) *Narushenie vremennoy organizatsii funktsionirovaniya sistemy «mat' – platsenta – plod» pri patologii beremennosti* [Violation of the temporary organization of the functioning of the system «mother – placenta – fetus» in pregnancy pathology] *Kongress patofiziologov: tez. dokl.* [Congress of pathophysiolgists: thesis of Report]. Moscow. P. 87.
11. Kulagin V.I., Konstantinov A.A. (1996) *Vremennaya organizatsiya sutochnoy biologicheskoy aktivnosti cheloveka* [Temporary organization of daily human biological activity] *Region. nauch.-prakt. konf., posv. 100-letiyu Tikhookeanskogo flota: tez. dokl.* [Region. scientific-practical Conf. 100th anniversary of the Pacific Fleet: abstract. doc.] Vladivostok. P. 34–36.
12. Kulagin V.I., Konstantinov A.A. (1997) *Primenenie ortostaticheskoy proby dlya diagnostiki bioritmov u sportsmenov. V sb.: Aktual'nye problemy fizicheskoy kul'tury i sporta na Dal'nem Vostoke* [The use of an orthostatic test for the diagnosis of biorhythms in athletes. In Actual problems of physical education and sports in the Far East] *Izd-vo KhGIFK* [KHIFC Publishing House]. Khabarovsk. P. 55–57.
13. Lupandin A.V. (1990) *Polifenol'nye adaptogeny: mekhanizm deystviya i primeneniye. V kn.: Sredstva, metody i mekhanizmy adaptatsii cheloveka k myshechnoy deyatel'nosti* [Polyphenolic adaptogens: mechanism of action and application. In the book: Means, methods and mechanisms of human adaptation to muscle activity] *Izd-vo KhGIFK* [Publishing House of the KHIFC]. Khabarovsk. P. 24–33.
14. Pchelenko L.D., Metelkina L.G., Volodina S.O. (2002) *Adaptogennyi effekt ekdisteroidsoderzhashchey fraktsii SerratulacoronataL* [The adaptogenic effect of the ecdysteroid-containing fraction of SerratulacoronataL] *Khimiya rastit. syr'ya* [Chemistry grows. raw materials]. No. 1. P. 69–80.
15. Rasulov M.M., Namakanov B.A. (2012) *Izmeneniya v serdechno-sosudistoy sisteme na doklinicheskoy stadii arterial'noy gipertenzii i vozmozhnosti ikh farmakokorreksii* [Changes in the cardiovascular system at the preclinical stage of arterial hypertension and the possibility of their pharmacocorrection]. Lambert Academic Publishing, rehagmbh, 66111, Saarbrücken. P. 275.
16. Rasulov M.M., Namakanov B.A. (2009) *Adaptivnye protsessy serdechno-sosudistoy sistemy pri arterial'noy gipertenzii i vozmozhnosti farmakokorreksii* [Adaptive processes of the cardiovascular system with arterial hypertension and the possibility of pharmacocorrection] *«11-format»* [«11-format»]. Moscow. P. 240.
17. Tyurin Yu.N., Makarov A.A. (1995) *Analiz dannykh na komp'yutere* [Analysis of data on a computer] *INFA-M – Finansy i statistika* [INFA-M – Finances and Statistics]. Moscow. P. 384.
18. Yagodinsky V.N. (1985) *Bioritmy* [Biorhythms] *Meditsina* [Medicine]. Moscow. P. 112.
19. *Publikatsionnaya aktivnost' Rossii: chto govoryat Scopus i Web of Science?* [Publication activity in Russia: what do Scopus and Web of Science say?]. Available at: <https://www.5top100.ru/news/100908> (accessed: 29.04.2020).

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-90-102

СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОСПРОИЗВОДСТВА РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭЛИТ В СССР И РОССИИ

Д.С. Жуков, доц. каф. Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, канд. ист. наук, доц., ineternatum@mail.ru

Д.Г. Сельцер, проф. Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, д-р. полит. наук, доц., seltser@yandex.ru

Н.С. Барабаш, вед. научн. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. филол. наук, nsb@extech.ru

Рецензент: Н.Е. Зудов

В статье представлена системно-динамическая модель трансформации российских региональных административно-политических элит в 1985–2019 гг. Модель реализуется посредством программы Powersim Studio. Для построения модели были проанализированы механизмы и каналы рекрутирования элит, а также акторы (социальные и политические силы), которые воздействовали на систему элитозамещения. Сведения об объекте моделирования формализованы в виде диаграммы запасов и потоков. Представлен математический аппарат. Модель позволяет имитировать пополнение элит выходцами из разных социальных сред и, соответственно, динамику состава элит. В качестве примера рассмотрен один из альтернативных — контрфактических — сценариев эволюции элит, который был сформирован в ходе компьютерного эксперимента с моделью. Результаты исследования указывают на высокую эвристическую продуктивность системно-динамического моделирования в социополитическом предметном поле.

Ключевые слова: системно-динамическое моделирование, административно-политические элиты, регионы России, политология, позднесоветский период, постсоветский период.

SYSTEM AND DYNAMIC MODEL OF REPRODUCTION OF THE REGIONAL ELITES IN THE USSR AND RUSSIA

D.S. Zhukov, Associate Professor, International Relations and Political Science, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Doctor of History, Associate Professor, ineternatum@mail.ru

D.G. Seltser, Professor, International Relations and Political Science, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Ph. D., Associate Professor, seltser@yandex.ru

N.S. Barabash, Leading Researcher, SRI FRCEC, Doctor of Philology, nsb@extech.ru

The article presents a system-dynamic model of the transformation of Russian regional administrative and political elites in 1985–2019. The model is implemented through the Powersim Studio program. To build the model, the mechanisms and channels of recruiting elites were analyzed, as well as the actors (social and political forces) that influenced the elite substitution system. Information about the object of modeling is formalized in the form of a diagram of stocks and flows. The mathematical apparatus is presented. The model allows simulating the replenishment of elites by people from different social environments and, accordingly, the dynamics of the composition of elites. As an example, one of the alternative — counterfactual — scenarios of the evolution

of elites, which was formed during a computer experiment with a model, is considered. The results of the study indicate a high heuristic productivity of system-dynamic modeling in the sociopolitical subject field.

Keywords: system and dynamic modeling, administrative and political elites, regions of Russia, political science, late Soviet period, post-Soviet period.

Введение: задачи, объект, методы и литература

Системно-динамическая модель, представленная здесь, позволяет имитировать систему воспроизводства административно-политических элит регионов России в 1985–2019 гг. Модель создана в Центре изучения политических трансформаций [URL: <http://centrtsu.ru> (дата обращения: 06.05.2020)]. Задачи статьи – демонстрация структуры и математического аппарата модели, а также исследование эвристических возможностей модели для построения альтернативных – контрфактических – сценариев развития элит. Такие сценарии выявляют потенциал изучаемой системы и дают возможность формировать вариативные прогнозы.

Объект моделирования состоит из двух групп элиты (в терминологии системно-динамического моделирования – «запасов» или «уровней»). Во-первых, это «административная элита среднего и низшего звена» – основная масса региональных чиновников и деятелей местного самоуправления. Во-вторых, это «административно-политическая элита высшего звена» – лица, которые имеют возможность принимать решения по существу региональной политики (включая формирование и расходование бюджетов) или влиять на подобные решения.

Модель показывает, из каких социальных источников пополняются эти группы в течение рассматриваемого периода, как меняется состав элиты, какие факторы (усилия различных социально-политических сил, решения властных органов и пр.) влияют или могут повлиять на эти процессы.

Эмпирической базой для построения модели послужили статистические данные и аналитические материалы, описывающие трансформацию элит в восьми регионах России. С некоторыми оговорками модель поэтому можно распространить на области и республики европейской части России, исключая столицы, северокавказские республики, а также северные регионы. Эмпирическая база изложена в публикациях авторов [13–17]. Кроме того, для создания модели привлечены работы видных российских и зарубежных исследователей [2–3, 9–12, 18, 20–21, 25–29, 31].

Методология системно-динамического моделирования (СДМ) является хорошо разработанной и многократно апробированной [1, 4, 8, 19]. На основе СДМ сформировалась обширная «аналитическая индустрия» для поддержки принятия решений в государственном и корпоративном секторах. Опыт приложения СДМ для решения политологических исследовательских задач представлен в ряде статей [22–24, 30]. Для проведения компьютерных экспериментов с системно-динамическими моделями создано несколько специализированных программ. В частности, данная модель реализуется посредством Powersim Studio 10.

Диаграмма запасов и потоков

Центральным элементом системно-динамической модели является диаграмма запасов и потоков, которая показывает в данном случае:

- какими «потоками» (каналами социального передвижения людей) связаны «запасы» между собой, а также с социальными резервуарами, из которых элита пополняется новобранцами,
- какие «механизмы» (институты) регулируют эти «потоки»,
- какие акторы (политические и социальные силы) влияют на функционирование «механизмов»;
- какими информационными коннекторами связаны сами акторы, т. е. как они влияют друг на друга.

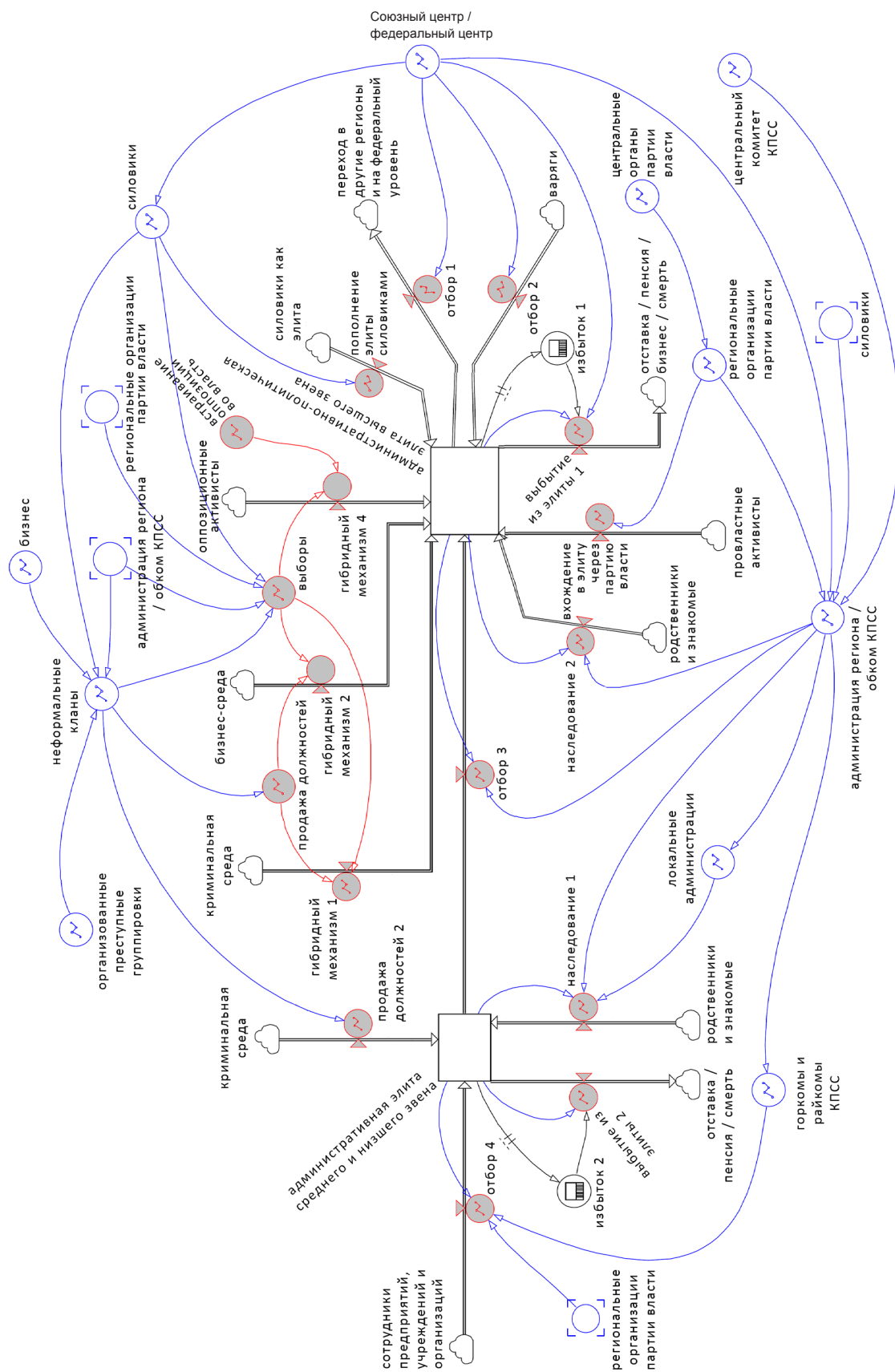


Рис. 1. Диаграмма запасов и потерь

Диаграмма представлена на рис. 1, легенда – в табл. 1. Социальные и политические смыслы диаграммы разъяснены детально в публикации [6], а также в ряде других статей авторов [5, 7]. Заметим, что модель является метатемпоральной: она сочетает несколько качественно разных исторических периодов, в течение которых действовали разные социальные и политические институты. Поэтому в модели некоторые элементы в течение каких-то периодов могут быть отключены. Например, актор «ЦК КПСС» после 1991 г. не функционировал.

Единица времени (такт) в модели равен полугоду. Первый такт соответствует первой половине 1985 г., 70-й такт – второй половине 2019 г.

Таблица 1

Обозначения элементов диаграммы запасов и потоков

Графические элементы	Названия в данной модели	Термины, принятые в СДМ
	Звенья	Запасы/уровни/переменные уровней
	Потоки	Потоки/материальные связи
	Среды/социальные резервуары	Внешние источники
	Механизмы	Переменные темпа
		Вспомогательные переменные
	Акторы	Вспомогательные переменные
	Влияние	Коннекторы/информационные связи
	Ярлыки	Ярлыки/псевдонимы

Математический аппарат модели

Обозначения

Запасы: E – величина запаса «административно-политическая элита высшего звена», достигнутая к настоящему моменту времени (такту); M – величина запаса «административно-политическая элита низшего и среднего звеньев», достигнутая к настоящему моменту времени (такту). E и M – это количество людей; X – величина некоего запаса (E или M).

Механизмы: Y – некий механизм (V , или P , или S_1 , или любой другой), регулирующий поток, связанный с запасом X ; V_1 – выбытие из элиты 1; V_2 – выбытие из элиты 2; S_1 – продажа должностей; S_2 – продажа должностей 2; S_3 – выборы; S_4 – пополнение элиты силовиками; S_5 – отбор 2; S_6 – вхождение в элиту через партию власти; S_7 – отбор 1; W – встраивание оппозиции во власть; G_1 – наследование 1; G_2 – наследование 2; L_1 – отбор 3; L_2 – отбор 4; H_1 – гибридный механизм 1; H_2 – гибридный механизм 2; H_4 – гибридный механизм 4.

Акторы: ω – некий актор (ϵ_1 , α_1 или любой другой); ϵ_1 – Администрация региона/обком КПСС; ϵ_2 – силовики; ϵ_3 – неформальные кланы; ϵ_4 – региональная организация партии

власти; ε_5 — горкомы и райкомы КПСС; ε_6 — локальные администрации; σ_1 — федеральный центр/союзный центр; σ_2 — Центральный комитет КПСС; σ_3 — организованные преступные группировки; σ_4 — бизнес; σ_5 — центральные органы партии власти.

Для стандартных механизмов выбытия людей из элиты (V_1 и V_2):

$$\Delta X_Y = rX + fX + (X_{t-4} - X_c) + qX. \quad (1.1)$$

Если $X_c > X_{t-4}$, то:

$$\Delta X_Y = rX + fX + qX, \quad (1.2)$$

где ΔX_Y — изменение (уменьшение) некоего запаса X в течение одного данного такта посредством потока, регулируемого механизмом Y . Например, ΔE_{V_1} — изменение запаса «административно-политическая элита высшего звена» (E) через поток «выбытие из элиты 1» (V_1); X_c — оптимальная (желаемая) величина запаса. Это константы, которые установлены на основании экспертных оценок: $E_c = 40$; $M_c = 300$. Эти же величины берутся в качестве начальных во всех тех экспериментах, которые не связаны с люстрацией; X_{t-4} — величина запаса X по состоянию на 4 такта в прошлом. Запаздывание на 4 такта введено в формулу (1.1) для имитации задержки реакции на чрезмерный рост численности элиты. Если $X_c > X_{t-4}$, то переполнение элиты не фиксируется и механизм избавления от лишних людей не запускается — формула (1.2); r — коэффициент выбытия людей из элиты в связи с выходом на пенсию; f — коэффициент выбытия вследствие некомпетентности и коррумпированности; q — коэффициент выбытия в результате «чистки» элиты. Это доля элиты, которая отправляется в отставку за короткое время в результате гипотетических экстраординарных факторов. В базовом сценарии $q = 0$.

Коэффициенты r , f , q и все прочие выражены в долях от единицы, r и f являются константами. Эти коэффициенты получены на основании усредненных эмпирических наблюдений. Для механизма V_1 : $r = 0,05$; $f = 0,005$. Для механизма V_2 : $r = 0,02$; $f = 0,005$.

Для стандартных негибридных механизмов пополнения элиты людьми (S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 и S_6), а также для механизма «отбор 1» (S_7):

$$\Delta X_Y = p_Y D_Y (i_{\omega_1 Y} a_{\omega_1} + \dots + i_{\omega_n Y} a_{\omega_n}), \quad (2.1)$$

где p_Y — статус существования механизма Y . Этот статус устанавливается 1 или 0 для каждого отдельного такта (отрезка времени) на основании экспертных оценок. Это позволяет включать и выключать механизмы; D_Y — максимальная пропускная способность механизма Y (максимальное количество людей, которое может войти в элиту по каналу/потoku, который регулируется механизмом Y). D_Y устанавливается на разных отрезках времени для каждого отдельного механизма на основании экспертных оценок. Как правило, это величина или не меняется, или меняется под влиянием существенных политических трансформаций; $\omega_1, \dots, \omega_n$ — набор акторов, воздействующих на механизм Y ; $i_{\omega_1 Y}$ — коэффициент влияния некоего актора ω_1 на механизм Y в данный момент. Коэффициенты влияния (i) акторов ($\omega_1, \dots, \omega_n$) нормируются так, чтобы их сумма ($i_{\omega_1 Y} + \dots + i_{\omega_n Y}$) всегда была равна 1 для каждого отдельного механизма. Коэффициенты i устанавливаются на основании экспертных оценок для каждого отдельного такта. Эти коэффициенты измеряются в диапазоне от 0 до 1, где 1 — максимальное влияние актора; a_{ω_1} — коэффициент влияния некоего актора ω_1 на систему рекрутирования и обновления элиты в данный момент. Коэффициенты a_{ω} рассчитываются для каждого актора в течение каждого отдельного такта. Для акторов, которые испытывают влияние со стороны других акторов, коэффициенты a_{ω} рассчитываются исходя из силы влияния других акторов. Более детально расчет a_{ω} изложен ниже. Коэффициенты a для всех акторов не нормируются.

Если какой-либо актор прилагал усилия для ослабления механизма в течение некоторых периодов, то коэффициент влияния i данного актора в формуле (2.1) приравняется к нулю. Механизмы не работают сами по себе, если их не приводят в действие акторы. Если некоторый актор устраняется от участия в механизме, он тем самым ослабляет этот механизм.

Для механизма «встраивание оппозиции во власть» (W):

$$\Delta E_w = p_w D_w j, \quad (2.2)$$

где j – коэффициент интеграции оппозиции во властные институты, минуя выборы. Этот коэффициент является константой для 1990 гг. и установлен на основе экспертных оценок, $j = 0,3$. В более позднее время этот механизм не существовал.

Для механизмов «наследования» (G_1 и G_2):

$$\Delta X_Y = p_Y X u_{i_{XY}} (i_{\omega_1} Y a_{\omega_1} + \dots + i_{\omega_n} Y a_{\omega_n}), \quad (2.3)$$

где u – коэффициент наследования. Это константа, полученная на основании экспертных оценок. Для механизма G_1 : $u = 0,2$. Для механизма G_2 : $u = 0,125$; i_{XY} – коэффициент влияния самой элиты (т.е. запаса X) как социальной группы на данный механизм (Y), k_X устанавливается на основе экспертных оценок для каждого такта. Этот коэффициент измеряется в диапазоне от 0 до 1, где 1 – максимальное влияние.

Формула (2.3) содержит петлю обратной связи, поскольку величина запаса X воздействует на приращение этого же запаса.

Для механизмов отбора и продвижения по служебной лестнице (L_1 и L_2):

$$\Delta X_Y = p_Y X b (X_i / X) / (1 + k_X) (i_{\omega_1} Y a_{\omega_1} + \dots + i_{\omega_n} Y a_{\omega_n}), \quad (2.4)$$

где b – коэффициент обновления. Это константа, полученная на основании экспертных оценок. Для механизма L_1 : $b = 0,075$. Для механизма L_2 : $b = 0,15$.

Формула (2.4) показывает, что чрезмерный рост влияния элиты на свое формирование угнетает приток «новой крови» и ослабляет каналы продвижения по служебной лестнице. Элита стремится к замыканию.

Для гибридных механизмов (H_1 , H_2 и H_4):

$$\Delta X_{Y_H} = \beta p_{Y_H} (i_{Y_1 Y_H} \Delta X_{Y_1} + \dots + i_{Y_n Y_H} \Delta X_{Y_n}), \quad (3)$$

где $Y_1, \dots, Y_n$ – набор негибридных механизмов, которые действуют совместно и суммируются посредством некоего гибридного механизма Y_H ; $i_{Y_1 Y_H}$ – коэффициент влияния некоего механизма Y_1 на механизм Y_H . Эти коэффициенты установлены как константы на основании экспертных оценок. Для механизма H_1 : $i_{S_3 H_1} = 0,4$; $i_{S_1 H_1} = 0,6$. Для H_2 : $i_{S_3 H_2} = 0,7$; $i_{S_1 H_2} = 0,3$. Для H_4 : $i_{S_3 H_4} = 0,7$; $i_{W H_4} = 0,3$. Коэффициенты влияния (i) механизмов ($Y_1, \dots, Y_n$) нормируются так, чтобы их сумма ($i_{Y_1 Y_H} + \dots + i_{Y_n Y_H}$) была всегда равна 1 для каждого отдельного механизма Y_H ; β – калибровочный коэффициент, введенный для приведения результатов базового сценария в соответствие с эмпирическими наблюдениями. Для всех гибридных механизмов $\beta = 0,5$. Очевидно, наличие этого коэф-

фициента связано с тем, что все гибридные механизмы были отчасти нелегальны, а отчасти функционировали вопреки намерениям федерального центра. Поэтому такие механизмы, хотя и были мощными, испытывали постоянное противодействие со стороны закона и власти.

Для акторов, испытывающих влияние со стороны других акторов ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5$ и ε_6):

$$a_{\omega_0} = p_{\omega_0}(z_{\omega_0}k_{\omega_0} + i_{\omega_1\omega_0}k_{\omega_1} + \dots + i_{\omega_n\omega_0}k_{\omega_n}), \quad (4.1)$$

где: a_{ω_0} — коэффициент влияния некоего актора ω_0 на систему рекрутирования и обновления элиты в данный момент. Коэффициенты a_{ω} рассчитываются для каждого актора в течение каждого отдельного такта; z_{ω} — коэффициент самостоятельности актора в данный момент; k_{ω} — коэффициент общего влияния некоего актора ω в регионе на данный момент времени. Коэффициенты z и k устанавливаются на основании экспертных оценок для каждого отдельного такта. Эти коэффициенты измеряются в диапазоне от 0 до 1, где 1 — максимальная независимость/влиятельность актора; $\omega_1, \dots, \omega_n$ — набор акторов, воздействующих на актор ω_0 .

Коэффициенты влияния i акторов $\omega_1, \dots, \omega_n$ и коэффициент самостоятельности z актора 0 нормируются так, чтобы их сумма ($z_{\omega_0} + i_{\omega_1\omega_0} + \dots + i_{\omega_n\omega_0}$) была всегда равна 1 для каждого отдельного актора ω_0 .

В формуле (4), в отличие от формул для механизмов (2.1, 2.3, 2.4, 3), коэффициент i может быть отрицательным, означая, что один актор ослабляет другой. Мы приняли, что актор ослабляет влияние зависимого актора в том случае, если политика этих двух акторов относительно большинства механизмов, на которые они влияют, разнонаправленна.

Для акторов, не испытывающих влияние со стороны других акторов ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ и σ_5):

$$a_{\omega_0} = p_{\omega_0}k_{\omega_0}. \quad (4.2)$$

В данном случае коэффициент самостоятельности $z_{\omega_0} = 1$.

Для запасов (E и M):

Изменение запаса E или M в течение данного такта равно сумме изменений, которые вносят потоки в течение того же такта с учетом направления потоков.

$$\Delta E = \Delta E_{L_1} + \Delta E_{H_1} + \Delta E_{H_2} + \Delta E_{H_4} + \Delta E_{S_4} + \Delta E_{S_5} + \Delta E_{S_6} + \Delta E_{G_2} - \Delta E_{V_1} - \Delta E_{S_7} \quad (5)$$

$$\Delta M = \Delta M_{L_2} + \Delta M_{S_2} + \Delta M_{G_1} - \Delta M_{V_2} \quad (6)$$

Величины максимальной пропускной способности механизмов ДУ, статусы существования p , а также величины коэффициентов, не представленные здесь, размещены в открытом доступе [URL: <http://inetnum.ru/sdm1> (дата обращения: 06.05.2020)]. По этой же ссылке представлены экспертные оценки, на основании которых получены упомянутые величины.

Вычислительный эксперимент

Модель была верифицирована [6] посредством сравнения базового — реалистичного — сценария с известными историческими данными. Здесь для демонстрации эвристических возможностей модели представлен один из контрфактических сценариев.

Отправной точкой этого сценария является гипотетический отказ от политики выстраивания «вертикали власти» в начале президентства В.В. Путина. Фактически это означало сохранение — в несколько модифицированном виде — тенденций и расстановки социополитических сил в регионах, которая была характерна для середины и второй половины 1990-х гг. Рис. 2 демонстрирует, что результаты такого сценария для низших и средних звеньев элиты

были бы крайне негативными: криминальная среда стала бы основным (более 70 %) источником пополнения низших и средних звеньев региональных администраций.

Состав высшего звена элиты (рис. 3) не способствовал сохранению контроля федерального центра над субъектами федерации. В альтернативной реальности криминал, бизнес и оппозиция существенно укрепили свое влияние в регионах, тогда как силовики и «варяги» (прямые ставленники центра) оставались в абсолютном меньшинстве. Доминирующей группой элиты должны были бы стать «родственники и знакомые» — лица, получившие должности на основании неформальных личных связей.

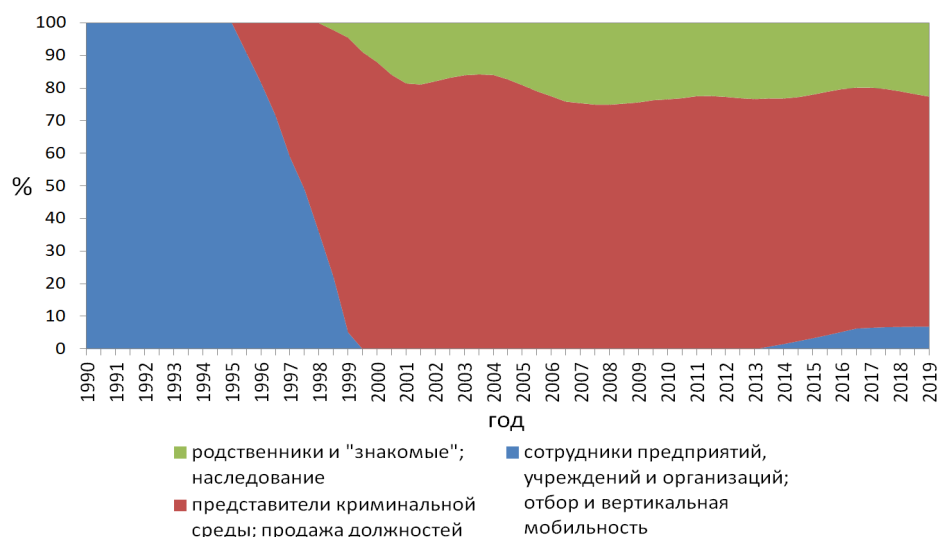


Рис. 2. Состав «новоприбывших» в среднее и низшее звенья элиты в течение минимального периода полного обновления, контрфактический сценарий

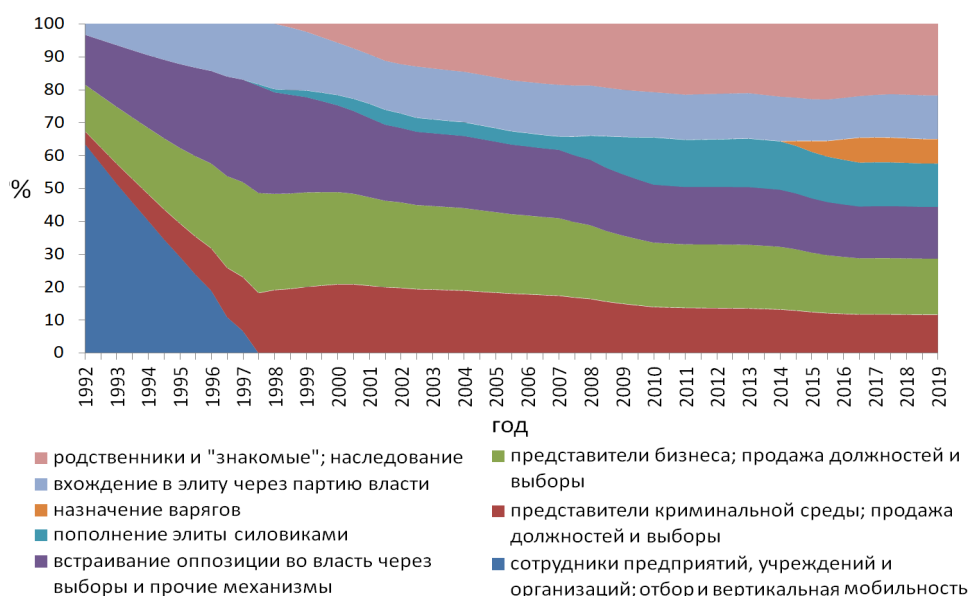


Рис. 3. Состав «новоприбывших» в высшее звено элиты в течение минимального периода полного обновления, контрфактический сценарий

Динамика пополнения высшего звена элиты из основных источников представлена на рис. 4–7.

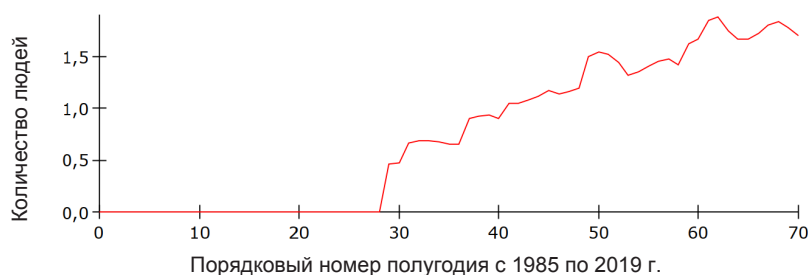


Рис. 4. Приращение позиций в высшем звене элиты, занятых «родственниками и знакомыми» через механизмы «наследования»

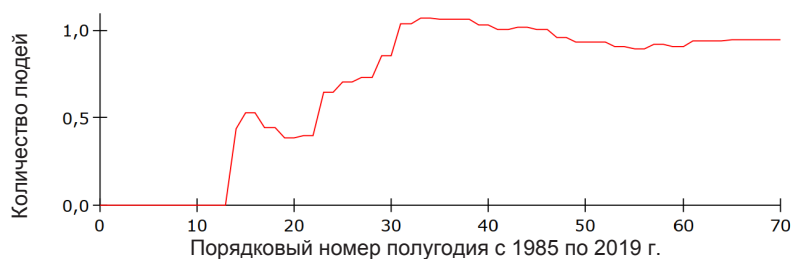


Рис. 5. Приращение позиций в высшем звене элиты, занятых представителями криминальной среды через механизмы продажи должностей и выборов

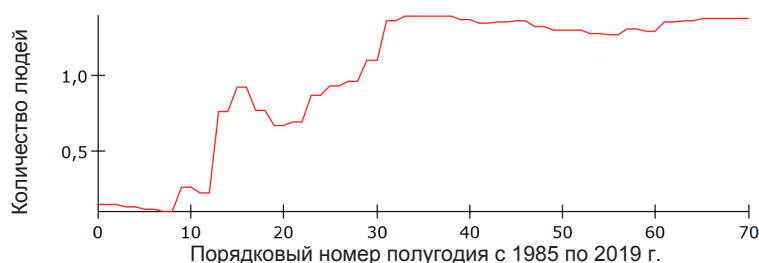


Рис. 6. Приращение позиций в высшем звене элиты, занятых представителями бизнеса через механизмы продажи должностей и выборов

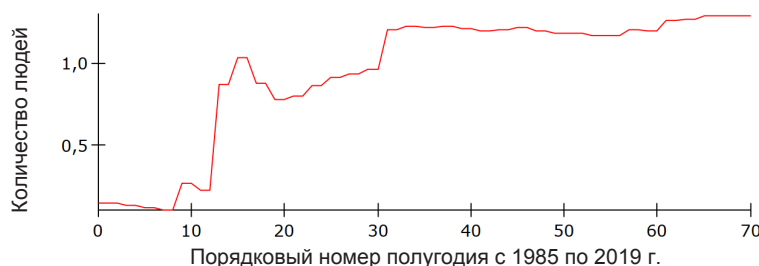


Рис. 7. Приращение позиций в высшем звене элиты, занятых представителями оппозиции

Криминализация и коррумпированность элит, безусловно, вела бы к их делегитимации и отчуждению от населения. Устойчивость государства (а именно — контроля федерального центра над региональными элитами) могла быть, таким образом, нарушена в результате локальных тенденций и патологического изменения системы воспроизводства элит. Если меры по купированию негативных тенденций в элитозамещении не предпринимаются государством своевременно, то государственная политика оказывается в петле обратной связи. Чем более нелегитимными, независимыми и коррумпированными становятся региональные элиты, тем меньше возможностей у государства скорректировать состав элит и принципы их воспроизводства. В то же время чем менее государство способно изменить порядок элитозамещения, тем более нелегитимными, независимыми и коррумпированными становятся региональные элиты. Как и всякий процесс с усиливающейся обратной связью, подобная социально-политическая катастрофа может протекать чрезвычайно быстро.

Заключение

СДМ как исследовательский инструмент широко распространен в ряде естественных наук, а также в экономике, социологии, теории принятия решений. Полученные в нашей работе результаты позволяют надеяться, что и в социополитических изысканиях системно-динамические модели могут быть с успехом применены и могут дать приращение предметного знания. Кроме того, подобные модели являются удобным инструментом обобщения статистических данных, аналитических выводов и экспертных оценок. Создание полнофункциональной системно-динамической модели открывает возможность для проведения виртуальных политических экспериментов, что, конечно, также повышает ценность этого инструмента.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 20-011-00105а.

Список литературы

1. Ахременко А.С. Динамический подход к математическому моделированию политической стабильности // Полис. Политические исследования. 2009. № 3. С. 105–112.
2. Гаман-Голутвина О.В. Метафизические измерения трансформаций российских элит // Политическая концептология. 2012. № 3. С. 38–53.
3. Гаман-Голутвина О.В. Политические элиты России: вехи исторической эволюции. М.: РОССПЭН, 2006. 448 с.
4. Гараедаги Дж. Системное мышление. Как управлять хаосом и сложными процессами: Платформа для моделирования архитектуры бизнеса. Минск: Гревцов Букс, 2010. 480 с.
5. Жуков Д.С., Сельцер Д.Г. Системно-динамическая модель рекрутирования региональной административно-политической элиты: симуляции и результаты // Pro nunc. Современные политические процессы. 2018. № 2 (20). С. 7–42.
6. Жуков Д.С., Сельцер Д.Г. Системная динамика российской региональной элиты (1985–2019 гг.): альтернативные сценарии // Журнал политических исследований. 2019. Т. 3. № 4. С. 40–74. URL: <https://naukaru.ru/ru/storage/download/44074> (дата обращения: 06.05.2020).
7. Жуков Д.С., Сельцер Д.Г. Трансформация региональной административно-политической элиты России: результаты компьютерных экспериментов с системно-динамической моделью // Социально-гуманитарные знания. 2019. № 8. С. 7–16.
8. Медоуз Д. Азбука системного мышления. М.: Бином, Лаборатория знаний, 2011. 343 с.
9. Митрохин С. Предпосылки и основные этапы децентрализации государственной власти в России // Центр — регионы — местное самоуправление / под ред. Г. Люхтерхандт-Михалевой, С. Рыженкова. М.—СПб.: Летний сад, 2001. С. 47–87.
10. Мохов В.П. Эволюция региональной политической элиты России (1950–1990 гг.). Пермь: ПГТУ, 1998. 256 с.
11. Мохов В.П. Элитизм и история. Проблемы изучения советских региональных элит. Пермь: ПГТУ, 2000. 204 с.

12. Нечаев В.Д. Децентрализация, демократизация и эффективность. Реформа федеративных отношений и местного самоуправления через призму теории эффективной децентрализации // Полис. Политические исследования. 2003. № 3. С. 92–101.
13. Сельцер Д.Г. Взлеты и падения номенклатуры. Тамбов: ОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. 592 с.
14. Сельцер Д.Г. Рекрутирование локальной административной элиты России: исходные данные для построения системно-динамической модели // Про пупс. Современные политические процессы. 2017. № 2. С. 27–32.
15. Сельцер Д.Г. Центр-периферийные отношения в России (1991–2018 гг.): контуры модели // Социально-гуманитарные знания. 2018. № 8. С. 8–15.
16. Сельцер Д.Г., Жуков Д.С. Рекрутирование региональной административно-политической элиты России, 1990–2017 гг.: подходы к построению системно-динамической модели // Журнал политических исследований. 2017. Т. 1. № 4. С. 78–101. URL: <https://riordub.com/ru/nauka/article/19598/view> (дата обращения: 06.05.2020).
17. Сельцер Д.Г., Жуков Д.С. Элементы системно-динамической модели рекрутирования региональных административно-политических элит // Российская элитология: инновационные ответы на вызовы современного мира / под ред. А.Ю. Шутова. Ростов-на-Дону: ЮРИУФ РАНХиГС, 2019. С. 282–287.
18. Федорченко С.Н. Государственная кадровая политика в Советском Союзе и современной России: политико-философский анализ. М.: Науч.-изд. центр ИНФРА-М, 2017. 154 с.
19. Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: Наука, 1978. 168 с.
20. Чирикова А.Е., Ледяев В.Г. Власть в малом российском городе. М.: Издательский дом НИУ ВШЭ, 2017. 414 с.
21. Чирикова А.Е., Ледяев В.Г., Сельцер Д.Г. Власть в малом российском городе: конфигурация и взаимодействие основных акторов // Полис. Политические исследования. 2014. № 2. С. 88–105.
22. Armenia S., Carlini C., Onori R., Saullo A.P. Policy modeling as a new area for research: perspectives for a systems thinking and system dynamics approach? // 2nd International Symposium «Systems Thinking for a Sustainable Economy. Advancements in Economic and Managerial Theory and Practice». Roma: Universitas Mercatorum, 2014. P. 1–22.
23. Axelrod R. Modeling Security Issues of Central Asia. Ann Arbor: University of Michigan, 2004. 23 p.
24. Choucri N., Goldsmith D., Madnick S., Mistree D., Morrison, J.B., Siegel M. Using system dynamics to model and better understand state stability // MIT Sloan Research Paper. 2007. No. 4661-07. P. 1–42. URL: <https://ssrn.com/abstract=1011230> (дата обращения: 06.05.2020).
25. Ledyayev V., Chirikova A., Seltser D. Who governs? Power in the local Russian community // Journal of Political Power. 2014. Vol. 7. Is. 2. P. 211–231.
26. Ledyayev V.G., Chirikova A.E. Governors and local elites in Russia: patterns of interaction // European politics and society. 2019. Vol. 20. Is. 3. P. 315–332.
27. Ledyayev V.G., Chirikova A. Power in local Russian communities: patterns of interaction between legislative and executive branches of local government // Urban Affairs Review. 2017. Vol. 53. Is. 6. P. 990–1024.
28. Ledyayev V.G., Chirikova A.E. Urban regimes in small Russian towns // City & Community. 2019. Vol. 18. Is. 3. P. 812–833.
29. Sharafutdinova G., Turovsky R. The politics of federal transfers in Putin's Russia: Regional competition, lobbying, and federal priorities // Post-Soviet Affairs. 2017. Vol. 33. Is. 2. P. 161–175.
30. Sorci P. Measuring the impact of a state's legal and organizational framework on social capital through system dynamics modeling // Rangsit Journal of Social Sciences and Humanities. 2015. Vol. 2. Is. 2. P. 49–65.
31. Turovsky R., Gaivoronsky Y. Russia's regions as winners and losers: Political motives and outcomes in the distribution of federal government transfers // European Politics and Society. 2017. Vol. 18. No. 4. P. 529–551.

References

1. Akhremenko A.S. (2009) *Dinamicheskii podkhod k matematicheskomu modelirovaniyu politicheskoy stabil'nosti* [A dynamic approach to mathematical modeling of political stability] *Polis. Politicheskie issledovaniya* [Policy. Political research]. No. 3. P. 105–112.
2. Gaman-Golutvina O.V. (2012) *Metafizicheskie izmereniya transformatsiy rossiyskikh elit* [Metaphysical measurements of transformations of Russian elites] *Politicheskaya kontseptologiya* [Political Conceptology]. No. 3. P. 38–53.
3. Gaman-Golutvina O.V. (2006) *Politicheskie elity Rossii: vekhi istoricheskoy evolyutsii* [Political Elites of Russia: Milestones in Historical Evolution] *ROSSPEN* [ROSSPEN]. Moscow. P. 448.
4. Garaedagi J. (2010) *Sistemnoe myshlenie. Kak upravlyat' khaosom i slozhnymi protsessami: Platforma dlya modelirovaniya arkhitektury biznesa* [Systemic thinking. How to manage chaos and complex processes: A platform for modeling business architecture] *Grevtsov Buks* [Grevtsov Books]. Minsk. P. 480.
5. Zhukov D.S., Seltser D.G. (2018) *Sistemno-dinamicheskaya model' rekrutirovaniya regional'noy administrativno-politicheskoy elity: simulyatsii i rezul'taty* [The system-dynamic model of recruiting the regional administrative-political elite: simulations and results] *Pro nunc. Sovremennye politicheskie protsessy* [Pro nunc. Modern political processes]. No. 2 (20). P. 7–42.
6. Zhukov D.S., Seltser D.G. (2019) *Sistemnaya dinamika rossiyskoy regional'noy elity (1985–2019 gg.): al'ternativnye stsennarii* [System dynamics of the Russian regional elite (1985–2019): alternative scenarios] *Zhurnal politicheskikh issledovaniy* [Journal of Political Studies]. Vol. 3. No. 4. P. 40–74. Available at: <https://naukaru.ru/ru/storage/download/44074> (accessed: 06.05.2020).
7. Zhukov D.S., Seltser D.G. (2019) *Transformatsiya regional'noy administrativno-politicheskoy elity Rossii: rezul'taty komp'yuternykh eksperimentov s sistemno-dinamicheskoy model'yu* [Transformation of the regional administrative and political elite of Russia: results of computer experiments with a system-dynamic model] *Sotsial'no-gumanitarnye znaniya* [Social and Humanitarian Knowledge]. No. 8. P. 7–16.
8. Meadows D. (2011) *Azbuka sistemnogo myshleniya* [The ABC of systemic thinking] *Binom, Laboratoriya znaniy* [Binom, Laboratory of Knowledge]. Moscow. P. 343.
9. Mitrokhin S. (2001) *Predposylki i osnovnye etapy detsentralizatsii gosudarstvennoy vlasti v Rossii* [Background and main stages of decentralization of state power in Russia] *Tsentr – regiony – mestnoe samoupravlenie* [Center – Regions – Local Government] *Pod red. G. Lyukhterkhandt-Mikhalevoy, S. Ryzhenkova* [Ed. G. Luchterhandt-Mikhaleva, S. Ryzhenkova] *Letniy sad* [Summer Garden]. Moscow–St. Petersburg. P. 47–87.
10. Mokhov V.P. (1998) *Evolutsiya regional'noy politicheskoy elity Rossii (1950–1990 gg.)* [The evolution of the regional political elite of Russia (1950–1990)] *PGTU* [PSTU]. Perm. P. 256.
11. Mokhov V.P. (2000) *Elitizm i istoriya. Problemy izucheniya sovetskikh regional'nykh elit* [Elitism and history. Problems of studying Soviet regional elites] *PGTU* [PSTU]. Perm. P. 204.
12. Nechaev V.D. (2003) *Detsentralizatsiya, demokratizatsiya i effektivnost'. Reforma federativnykh otnosheniy i mestnogo samoupravleniya cherez prizmu teorii effektivnoy detsentralizatsii* [Decentralization, democratization and efficiency. Reform of federal relations and local self-government through the prism of the theory of effective decentralization] *Polis. Politicheskie issledovaniya* [Policy. Political research]. No. 3. P. 92–101.
13. Seltzer D.G. (2006) *Vzlety i padeniya nomenklatury* [The ups and downs of the nomenclature] *OGUP Tambovpoligrafizdat* [OGUP Tambovpolygraphizdat]. Tambov. P. 592.
14. Seltzer D.G. (2017) *Rekrutirovanie lokal'noy administrativnoy elity Rossii: iskhodnye dannye dlya postroeniya sistemno-dinamicheskoy modeli* [Recruiting the local administrative elite of Russia: initial data for building a system-dynamic model] *Pro nunc. Sovremennye politicheskie protsessy* [Pro nunc. Modern political processes]. No. 2. P. 27–32.
15. Seltzer D.G. (2018) *Tsentr-periferiynye otnosheniya v Rossii (1991–2018 gg.): kontury modeli* [Center-peripheral relations in Russia (1991–2018): model outlines] *Sotsial'no-gumanitarnye znaniya* [Socio-humanitarian knowledge]. No. 8. P. 8–15.
16. Seltser D.G., Zhukov D.S. (2017) *Rekrutirovanie regional'noy administrativno-politicheskoy elity Rossii, 1990–2017 gg.: podkhody k postroeniyu sistemno-dinamicheskoy modeli* [Recruiting the regional administrative

and political elite of Russia, 1990–2017: approaches to building a system-dynamic model] *Zhurnal politicheskikh issledovaniy* [Journal of Political Studies]. Vol. 1. No. 4. P. 78–101. Available at: <https://riorpub.com/en/nauka/article/19598/view> (accessed: 06.05.2020).

17. Seltser D.G., Zhukov D.S. (2019) *Elementy sistemno-dinamicheskoy modeli rekrutirovaniya regional'nykh administrativno-politicheskikh elit* [Elements of a system-dynamic model of recruiting regional administrative-political elites] *Rossiyskaya elitologiya: innovatsionnye otvety na vyzovy sovremennogo mira. Pod red. A.Yu. Shutova. YURIUF RANKhiGS* [Russian Elitology: Innovative Answers to the Challenges of the Modern World. Ed. A.Yu. Shutova. YURIUF RANEPa]. Rostov-on-Don. P. 282–287.

18. Fedorchenko S.N. (2017) *Gosudarstvennaya kadrovaya politika v Sovetskom Soyuze i sovremennoy Rossii: politiko-filosofskiy analiz* [State personnel policy in the Soviet Union and modern Russia: political and philosophical analysis] *Nauch.-izd. tsentr INFRA-M* [Scientific and Publishing Center INFRA-M]. Moscow. P. 154.

19. Forrester J. (1978) *Mirovaya dinamika* [World dynamics] *Nauka* [Nauka]. Moscow. P. 168.

20. Chirikova A.E., Ledyayev V.G. (2017) *Vlast' v malom rossiyskom gorode* [Power in a small Russian city] *Izdatel'skiy dom NIU VShE* [HSE Publishing House]. Moscow. P. 414.

21. Chirikova A.E., Ledyayev V.G., Seltser D.G. (2014) *Vlast' v malom rossiyskom gorode: konfiguratsiya i vzaimodeystvie osnovnykh aktorov* [Power in a small Russian city: configuration and interaction of major actors] *Polis. Politicheskie issledovaniya* [Policy. Political research]. No. 2. P. 88–105.

22. Armenia S., Carlini C., Onori R., Saullo A.P. (2014) Policy modeling as a new area for research: perspectives for a systems thinking and system dynamics approach? 2nd International Symposium «Systems Thinking for a Sustainable Economy. Advancements in Economic and Managerial Theory and Practice». Universitas Mercatorum. Roma. P. 1–22.

23. Axelrod R. (2004) Modeling Security Issues of Central Asia. Ann Arbor: University of Michigan. P. 23.

24. Choucri N., Goldsmith D., Madnick S., Mistree D., Morrison, J.B., Siegel M. (2007) Using system dynamics to model and better understand state stability. MIT Sloan Research Paper. No. 4661-07. P. 1–42. Available at: <https://ssrn.com/abstract=1011230> (accessed date: 06.05.2020).

25. Ledyayev V., Chirikova A., Seltser D. (2014) Who governs? Power in the local Russian community. *Journal of Political Power*. Vol. 7. Is. 2. P. 211–231.

26. Ledyayev V.G., Chirikova A.E. (2019) Governors and local elites in Russia: patterns of interaction. *European politics and society*. Vol. 20. Is. 3. P. 315–332.

27. Ledyayev V.G., Chirikova A. (2017) Power in local Russian communities: patterns of interaction between legislative and executive branches of local government. *Urban Affairs Review*. Vol. 53. Is. 6. P. 990–1024.

28. Ledyayev V.G., Chirikova A.E. (2019) Urban regimes in small Russian towns. *City & Community*. Vol. 18. Is. 3. P. 812–833.

29. Sharafutdinova G., Turovsky R. (2017) The politics of federal transfers in Putin's Russia: Regional competition, lobbying, and federal priorities. *Post-Soviet Affairs*. Vol. 33. Is. 2. P. 161–175.

30. Sorci P. (2015) Measuring the impact of a state's legal and organizational framework on social capital through system dynamics modeling. *Rangsit Journal of Social Sciences and Humanities*. Vol. 2. Is. 2. P. 49–65.

31. Turovsky R., Gaivoronsky Y. (2017) Russia's regions as winners and losers: Political motives and outcomes in the distribution of federal government transfers. *European Politics and Society*. Vol. 18. No. 4. P. 529–551.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-103-110

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ AMPL (1992–2019 ГГ.) И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРОВ, А ТАКЖЕ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Г.С. Евтушенко, гл. научн. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, д-р техн. наук, проф.,
evtushenkogs@extech.ru

А.В. Клишкин, научн. сотр. Института оптики атмосферы СО РАН (Томск),
tosha@asd.iao.ru

М.Е. Левицкий, ген. директор Научно-внедренческого предприятия «Топаз» (Томск),
top@iao.ru

В.Ф. Тарасенко, гл. научн. сотр. Института сильноточной электроники СО РАН (Томск),
д-р физ.-мат. наук, проф., yft@loi.hcei.tsc.ru

М.В. Тригуб, ст. научн. сотр. Института оптики атмосферы СО РАН (Томск),
канд. техн. наук, доц., trigub@iao.ru

Рецензент: А.М. Оришич

С 15 по 20 сентября 2019 г. в Томске прошла очередная, 14-я Международная конференция по импульсным лазерам и применениям лазеров — AMPL (аббревиатура от английского названия Atomic and Molecular Pulsed Lasers). Конференция AMPL [<https://symp.iao.ru/ru/ampl>] является периодическим научным мероприятием и проходит раз в два года в г. Томске. Первая конференция состоялась в 1992 г., а все последующие начиная с 1995 г. проходили по нечетным годам. Конференция AMPL традиционно проводится в середине сентября. Тематика конференции — фундаментальные вопросы лазерной физики, физико-химические процессы в активных средах лазеров, новые типы лазеров и лазерных систем, применение лазеров в науке, технике, медицине, других областях деятельности, проблемы вывода лазерных устройств и технологий на рынок, а также фундаментальные и прикладные вопросы по созданию и применению источников спонтанного излучения (эксилампы). В работе конференции наряду с российскими учеными, специалистами, аспирантами и студентами регулярно участвуют представители ближнего и дальнего зарубежья. В статье приведен краткий обзор прошедших конференций, отмечено, как постепенно расширялась и модифицировалась тематика конференции, отвечая на вызовы получения новых знаний в области фотоники, а также потребностей рынка лазерной техники и технологий. Дан анализ современного состояния фундаментальных и прикладных исследований, обсуждаются тенденции развития лазерных технологий.

Ключевые слова: конференция, лазеры, применение лазеров, фотоника, активные среды, преобразование лазерного излучения, источники спонтанного излучения, эксилампы.

AMPL INTERNATIONAL CONFERENCE (1992–2019) AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF PHYSICS AND TECHNOLOGY OF PULSED LASERS, AS WELL AS THEIR APPLICATIONS

G.S. Evtushenko, Chief Researcher, SRI FRCEC, Ph. D., Professor, evtushenkogs@extech.ru

A.V. Klimkin, Researcher, Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Tomsk), tosha@asd.iao.ru

M.E. Levitsky, General Director, Research and Development Enterprise «Topaz» (Tomsk), top@iao.ru

V.F. Tarasenko, Institute of High Current Electronics SB RAS (Tomsk), Ph. D., Professor, yft@loi.hcei.tsc.ru

M.V. Trigub, Senior Researcher, Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Tomsk), Doctor of Engineering, Associate Professor, trigub@iao.ru

From September 15 up to September 20, 2019, the regular, 14th International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications – AMPL (abbreviation from the English name Atomic and Molecular Pulsed Lasers) was held in Tomsk. AMPL Conference (<https://symp.iao.ru/ru/ampl>), which is a periodic scientific event and takes place every two years in the city of Tomsk. The first conference was held in 1992, and all subsequent ones since 1995 took place on odd years. The AMPL conference is traditionally held in mid-September. Conference topics – fundamental issues of laser physics, physicochemical processes in active laser media, new types of lasers and laser systems, the use of lasers in science, technology, medicine, other fields of activity, problems of bringing laser devices and technologies to the market, as well as fundamental and applied issues on the creation and use of spontaneous radiation sources (excilamps). Along with Russian scientists, specialists, graduate students and students, representatives of near and far abroad regularly participate in the conference. The article provides a brief overview of past conferences, notes how the conference topics were expanded and modified in response to the challenges of gaining new knowledge in the field of photonics, as well as the needs of the laser equipment and technology market. An analysis of the current state of fundamental and applied research is given, and trends in the development of laser technologies are discussed.

Keywords: conference, lasers, laser application, photonics, active media, laser radiation conversion, spontaneous emission sources, excilamps.

Введение

В 2021 г. исполнится 30 лет с момента решения об организации и начале подготовки первой международной конференции AMPL. Серию конференций AMPL инициировали, организуют и проводят не столько организаторы – институты и университеты, сколько группа друзей и коллег, не имеющих административного ресурса, но объединенных любовью к науке и общей идеей. Первые форумы этого цикла проходили в то время, когда многие близкие по тематике серии конференций прервались или прекратились ввиду сократившегося финансирования и AMPL длительное время была единственной по своей тематике, а подготовка мероприятий кооперацией ученых из различных организаций позволила максимально охватить лазерную тематику, и конференция осталась крупнейшим в данной области форумом СНГ.

Следует отметить, что на сегодняшний день фотонные технологии, включающие лазерную тематику, являются наиболее динамично развивающимися в мире, занимая второе место после компьютерных технологий. Это подтверждается и возрастающим интересом к научным конференциям, в частности к международной конференции по тематике импульсных лазеров и применениям лазеров – AMPL.

Организация и итоги проведения первой конференции, или Первый блин не всегда комом

Первая AMPL-конференция состоялась 7–9 сентября 1992 г. и имела название «Импульсные лазеры на переходах атомов и молекул». Организаторами конференции выступили: Институт оптики атмосферы СО РАН (ИОА СО РАН, Томск), Институт сильноточной электроники СО РАН (ИСЭ СО РАН, Томск), Томский государственный университет (ТГУ), Сибирский физико-технический институт (СФТИ, Томск). Научная программа конференции 1992 г. предполагала работу по четырем направлениям: «Газовые лазеры»; «Лазеры

на парах металлов»; «Лазеры на красителях и фотопроцессы в сложных органических молекулах»; «Лазерные системы и их применения». Основным рабочим языком первой и последующих за ней AMPL-конференций был определен английский. Программа конференции включала: приглашенные лекции и доклады; устные доклады; стендовые сообщения с кратким устным представлением; круглый стол, посвященный обсуждению перспектив развития лазерной тематики; посещение лазерных лабораторий ИОА, ИСЭ СО РАН и ТГУ. В первой конференции AMPL приняли участие более 100 специалистов из России, США, Франции, Италии, Японии, Израиля, Болгарии, Германии, Украины, Беларуси, Казахстана, Киргизии, Польши. Следует отметить, что конференция проходила вскоре после распада Советского Союза, и в это время лишь поддержка лабораторий учреждений-организаторов, активная позиция организаторов конференции по поиску спонсоров, оргвзносы участников из дальнего зарубежья позволили успешно провести форум. Первую конференцию также поддерживали представители малого бизнеса: Сибирский филиал концерна BINITEC; МНПО «Зонд»; НВО «Топаз»; МВП «Лазтер»; МП «Лазеры»; НПП «Экотехнология»; НПО «Оптоэлектроника». На конференции прозвучало более 50 докладов по актуальным проблемам физики, техники и применениям лазеров. В их числе — доклады одного из основоположников лазерной физики доктора Томаса Карраса по лазерам на парах металлов с прокачкой активной среды; доктора Татьяны Копыловой (ТГУ, Россия) по генерационным характеристикам новых активных сред жидкостных лазеров; доктора Блау (Израиль) по анализу импеданса мощных коаксиальных лазеров на парах металлов большого активного объема; доктора Бернара Фонтайна о развитии эксимерных лазеров с большой средней мощностью. Профессор Г.Г. Петраш (ФИАН, Россия) сделал обзор по физике и технике импульсных лазеров на парах металлов, а доктор В.Ф. Тарасенко (ИСЭ, Россия) — по импульсным лазерам на плотных газах. Приглашенные лекции и доклады слушали студенты Томского государственного и Томского политехнического университетов. Часть этих студентов потом пришли в лазерную тематику и принимали активное участие в последующих конференциях уже в качестве докладчиков. Лучшие из докладов, представленных на конференции (в их числе — и перечисленные выше), были в виде статей опубликованы в тематическом выпуске журнала «Оптика атмосферы и океана» [1]. Выпуск тематического номера журнала «Оптика атмосферы и океана» поддержал главный редактор журнала, директор ИОА СО РАН академик В.Е. Зувев.

От второй конференции AMPL до тринадцатой

Вторая конференция AMPL прошла в марте 1995 г. И по тематике, и по составу участников она во многом напоминала первую. В ней также приняли участие более 100 участников из разных регионов России и зарубежных стран. Учреждения-организаторы этой конференции были те же, что и первой. Важно отметить, что ее проведение было поддержано Российским фондом фундаментальных исследований, который на долгие годы стал надежным спонсором конференции. Благодаря усилиям двух основоположников создания лазеров на парах металлов в мире — профессора Георгия Петраша (ФИАН, Москва) и доктора Томаса Карраса («Дженерал Электрик», Филадельфия, США) — одним из активных участников организации и проведения конференции 1995 г. стало Международное общество инженеров в области оптики SPIE (International Society for Optical Engineering). Со второй конференции AMPL в 1995 г. и вплоть до 2008 г. SPIE предоставляло возможность участникам конференции бесплатно публиковать материалы своих докладов в тематических выпусках издания *Proceedings of SPIE*. Материалы всех докладов этой и всех последующих конференций опубликованы в виде тезисов, а наиболее интересные представлены также в тематических выпусках журнала «Оптика атмосферы и океана» [2–5] и Общества оптических инженеров SPIE, — полный перечень данных докладов перечислен ниже, они могут быть найдены на сайтах. Тематика конференции AMPL-1995 пополнилась двумя секциями: «Физические процессы в импульсных лазерах» и «Некогерентные источники УФ-

и ВУФ-излучения, преобразование лазерного излучения». К тематике последней относились спектральные и энергетические свойства источников УФ- и ВУФ-излучения, новые рабочие среды, новые лазерные переходы, перспективы использования таких источников. Отметим приглашенные доклады на пленарной секции профессора С.Е. Литтла (университет Сент-Эндрю, Великобритания) о кинетике гибридных лазеров на парах металлов и профессора Г.Н. Герасимова (ВНЦ «ГОИ», Россия) о ВУФ-спектрах димеров криптона, возбуждаемых в криогенной плазме, которые вызвали большой интерес у слушателей. Отличительной чертой этой конференции было и то, что она проводилась весной. Но этот опыт был признан ее участниками неудачным, и в Решении конференции было рекомендовано оргкомитету вернуться к проведению последующих конференций осенью, не изменяя место проведения (г. Томск, Академгородок), с регулярностью раз в два года (по нечетным годам).

Начиная с третьей конференции (AMPL-1997) мероприятие стали поддерживать РАН, СО РАН и профильное Министерство науки и образования РФ. Из приглашенных докладов, представленных на пленарной секции, следует отметить сообщения профессора Ф.К. Тителя («Райс университет», США), профессора Г.В. Майера (ТГУ, Россия), профессора В.Л. Бона (Институт технической физики, Германия) и профессора Д.Г. Идена (Иллинойский университет, США).

Научная программа четвертой конференции AMPL-1999 пополнилась еще одной секцией: «Оптоэлектронные устройства». Конференцию тогда, кроме РФФИ, поддержали Европейское бюро аэрокосмических исследований и разработок (EOARD, Лондон, Великобритания) и Институт инженеров электротехники и электроники (IEEE, Пискатауэй, США). Отметим, что данная конференция была посвящена юбилею Г.Г. Петраша. Из приглашенных докладов, представленных на пленарной секции, следует отметить сообщения профессора В. Хасена (Корпорация «Текстрон Системс», США), профессора А. Ульриха (Институт технической физики, Германия), профессора А.А. Ионина (ФИАН, Россия), доктора Б. Лакура (СИЛАС, Франция) и доктора А.А. Синянского (Федеральный ядерный центр, Россия).

Пятая конференция AMPL-2001. Благодаря активной позиции профессоров Георгия Петраша и Сергея Яковленко в число организаторов мероприятия включились два московских академических института: Физический институт РАН и Институт общей физики РАН. На конференции всегда уделялось большое внимание молодым ученым и специалистам. Так, в 2001 г. в рамках конференции была организована Школа молодых ученых по лазерной физике, в которой приняли активное участие ведущие ученые – как лекторы, так и слушатели (студенты, аспиранты и молодые сотрудники томских университетов – классического и политехнического, томских академических институтов). Именно с 2001 г. большую часть работы по подготовке и проведению конференции взяли на себя молодые члены оргкомитета, они стали активно участвовать в коллективном процессе, в том числе оказывать существенное влияние на облик конференции и принимаемые решения.

Шестая конференция AMPL прошла в Томске с 12 по 16 сентября 2003 г. и была посвящена 40-летию запуска первого лазера в Томске и 125-летию ТГУ. Работу этой конференции поддержал Международный научно-технический центр (МНТЦ, Казахстан). В рамках конференции прошел круглый стол, посвященный работе МНТЦ в России, опыту написания и исполнения проектов научных фондов. Одними из основных целей конференции всегда являются как обмен новыми знаниями, так и сближение фундаментальной и прикладной наук. Особое внимание в рамках форумов уделялось применению лазеров в различных областях науки и техники, обсуждению проблем создания приборов на их основе, новым оптическим технологиям, а также обмену опытом по внедрению и коммерциализации разработок. Конференции AMPL всегда были местом встреч потенциальных партнеров, производителей оптических приборов, заказчиков и исполнителей научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, и в 2003 г. к поддержке конференции стали возвращаться коммерческие предприятия, становясь ее постоянными партнерами, а Научно-внедренческое

предприятие «Топаз» (Томск) стало не только спонсором, но и учредителем и одним из основных организаторов всех последующих форумов. С 2003 г. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН, Томск) стал постоянным учредителем и организатором конференции. Начиная с 2003 г. конференцию трижды поддерживал Сургутский государственный университет, а с 2005 г. — Западно-Сибирский филиал Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства (Томск).

На проведение конференции AMPL-2009 организаторам удалось привлечь самое большое финансирование за все годы проведения конференции (из бюджетов РФФИ, РАН, СО РАН). Это позволило поддержать приезд многих ученых в части оплаты их пребывания в Томске в дни конференции. Материальная поддержка была особенно важна для молодых ученых, которые практически не могли иметь грантов и контрактов для финансирования поездок на конференции. Результатом стало рекордное количество участников — более 300 человек. Кроме этого, была организована первая Школа по лазерам и применениям лазеров — AMPL-School для молодых (до 35 лет) ученых. Школа не разделялась на отдельные параллельные секции, что позволило слушателям расширить свои знания в области фотоники по всем тематикам, охватываемым конференцией AMPL, представить свои работы и получить их экспертную оценку. Школа стала впоследствии регулярной.

В противовес девятой конференции, десятая — AMPL-2011 — не получила финансирования ни одного государственного фонда, и вообще стоял вопрос об ее отмене. Однако заинтересованность мировой научной общественности способствовала проведению данного мероприятия. Конференция прошла на высоком научно-техническом уровне [6] благодаря профессиональной и слаженной работе членов оргкомитета, помощи коммерческих предприятий — производителей и поставщиков научного оборудования — и фонду «Династия», который начал поддерживать конференцию с 2009 г. на постоянной основе. Научная программа конференции пополнилась тематикой, посвященной разрядам с убегающими электронами, прошедшей в 2011 г. в формате круглого стола, а впоследствии ставшей отдельной секцией: «Разряды для лазеров и источников спонтанного излучения». На секции рассматриваются вопросы изучения оптимальных условий накачки известных и новых лазеров, а также источников спонтанного излучения, включая эксилампы, исследований свечения различных кристаллов под воздействием пучков заряженных частиц, в том числе убегающих электронов.

При подготовке 12-й конференции AMPL, которая прошла с 14 по 18 сентября 2015 г., оргкомитетом было принято решение о существенном «ребрендинге» конференции. С одной стороны, были объединены ряд секций, с другой — были определены новые, в частности секция фемтосекундных лазерных систем. Процесс коснулся и названия всей конференции. Изменения были продиктованы существенными изменениями в мировой научной повестке, которые произошли в области фотоники с момента организации первой AMPL, а также значительным расширением тематик, представляемых на конференции. С 2015 г. конференция называется Международной конференцией по импульсным лазерам и применениям лазеров, но с тем же брендом — AMPL. Изменения и некоторая «перезагрузка» позволили привлечь в ряды организаторов заинтересованных и энергичных ученых, представителей бизнес-сообщества, а также повысить привлекательность мероприятия.

В 2015 г. исполнилось 50 лет со дня запуска первого лазера на парах металлов. Поэтому в работе секции А (газовые и плазменные лазеры, лазеры на парах металлов) и, частично, пленарной секции были представлены материалы по истории создания первых лазеров на парах металлов, по современному состоянию в физике и технике данного типа лазеров, с акцентом на новые применения, в частности в электронной промышленности, медицине. Следует особо отметить разработку активных оптических систем визуального контроля изделий и диагностики быстропротекающих процессов в условиях мощной фоновой засветки,

поскольку современные технологии, такие как лазерная обработка материалов, модификация поверхности, получение нанопорошков и др., зачастую используют взаимодействие мощных потоков энергии с поверхностью, что сопровождается фоновой засветкой. Как следствие, визуальный контроль и управление технологическим процессом в режиме реального времени затруднено или вообще невозможно. И здесь на помощь приходят методы и средства активного оптического контроля и диагностики с использованием лазерных сред, обеспечивая хорошее пространственное и временное разрешение.

XIV Конференция AMPL-2019 (крайняя, но не последняя)

В очередной раз конференция собрала рекордное число участников. Научная программа была расширена секцией «Биофотоника», прошедшей в 2017 г. в формате круглого стола. На секции рассматривались вопросы взаимодействия интенсивного оптического излучения с органическим веществом и биологическими объектами, лазерно-оптические методы диагностики и лечения. Состоялся круглый стол по тематике применения углерода в квантовой электронике, фотонике и оптоэлектронике, где алмаз выступает в качестве рабочего тела твердотельных лазеров и источников спонтанного УФ-излучения. В рамках AMPL-School состоялся круглый стол, посвященный возможностям карьерного и профессионального роста молодых ученых. Профессор Игорь Меглинский (университет Оулу, Финляндия) представил лекцию, посвященную информационным технологиям в жизни современного человека. Кроме этого, он поделился своим опытом поиска финансирования научных исследований, осветил некоторые моменты, связанные с поиском позиций в европейских научных организациях. Подробнее о результатах работы изложено во вводной статье к очередному тематическому выпуску журнала «Оптика атмосферы и океана» [4].

Заключение

Конференция AMPL всегда организовывалась и проводилась силами ученых и для ученых, инженеров, аспирантов и студентов. Почти за тридцать лет она прошла большой путь от молодого малоизвестного мероприятия в далекой Сибири до широко известного в среде «лазерщиков» форума международного уровня в Сибирских Афинах. Большинство тех, кто побывали на конференции, приезжают вновь. Оргкомитет всегда стремился сохранить теплую дружескую обстановку, создавшуюся еще с самых первых заседаний, при этом стремясь соответствовать ее международному уровню.

В целом следует отметить разнообразие сфер использования лазеров и эффективных источников некогерентного излучения и устройств на их основе, от лабораторных исследований и разработок до реального контроля и диагностики материалов, изделий, оптических параметров атмосферы, озер, морей и океанов, очистки воды, создания бактерицидных текстильных материалов, способов и средств доставки наночастиц, решения глобальных экологических и энергетических проблем современности. На AMPL предоставлялась возможность аспирантам и студентам, а также молодым ученым представить свои первые устные доклады на английском языке и участвовать в конкурсах на лучший доклад в двух номинациях (устные и стендовые). При этом в конкурсную комиссию входили как известные ученые из различных стран, так и молодые. Конференция способствовала росту кадров высшей квалификации (кандидатов и докторов наук). Трудно подсчитать точно, но в целом в серии конференций AMPL приняли участие несколько тысяч человек из России, Украины, Беларуси, Казахстана, Киргизии, Узбекистана, Азербайджана, Литвы, Эстонии, Франции, Германии, США, Сербии, Японии, Великобритании, Италии, Болгарии, Канады, Австралии, Индии, Китая, Ирана, Турции, Израиля, Испании, Вьетнама, Египта, других стран. Активное участие в работе международного оргкомитета принимали такие известные ученые, как Гарри Иден и Франк Титтель (США), Никола Саботинов (Болгария), Крисс Литтл (Великобритания), Керим Алахвердиев (Азербайджан), Хьюберт Пике и Бернар Лакур (Франция), Андреас Ульрих и Йохан Визер (Германия), Милан Тртица (Сербия), Тао Шао и Чжу Дзингуо (Китай), Ричард Милдрен (Австралия) и др. Конференция стала хорошей школой для молодых

участников, удобной площадкой для обмена информацией, представления и апробации результатов своих работ. За прошедшие годы более 15 ее участников стали докторами наук, профессорами, более 50 — кандидатами наук, доцентами, двое — членами национальных академий. К сожалению, за это время мы понесли и потери в среде активных членов оргкомитета — высокопрофессиональных ученых и учителей. Среди них — профессора Г.Г. Петраш, М.Ф. Сэм, С.И. Яковленко, И.И. Климовский, В.М. Клишкин, А.А. Синянский, А.М. Янчарина. Однако конференция будет жить и продолжаться, поскольку в оргкомитет постоянно приходят молодые инициативные сотрудники академических НИИ и университетов г. Томска, представители других учреждений России, зарубежные ученые. Более подробно с материалами и итогами конференции AMPL за все годы ее проведения можно ознакомиться в 18 тематических выпусках журнала «Оптика атмосферы и океана» (1993. Т. 6. № 3, 6; 1995. Т. 8. № 11; 1997. Т. 10. № 11; 1998. Т. 11. № 2–3; 1999. Т. 12. № 11; 2000. Т. 13. № 3; 2001. Т. 14. № 11; 2002. Т. 15. № 3; 2004. Т. 17. № 2–3; 2006. Т. 19. № 2–3; 2008. Т. 21. № 08; 2009. Т. 22. № 11; 2012. Т. 25. № 3; 2014. Т. 27. № 4; 2016. Т. 29. № 2; 2018. Т. 31. № 3; 2020. Т. 33. № 3), в тематической серии трудов Общества оптических инженеров *Proceedings of SPIE* (1995, V. 2619; 1997, V. 3403; 1999, V. 4071; 2001, V. 4747; 2003, V. 5483; 2005, V. 6263; 2008, V. 6938; 2018, V. 106140; 2019, V. 11322), в журналах «Квантовая электроника» (2000. Т. 30. № 6) и «Известия ТПУ» (2006. Т. 309. № 4; 2008. Т. 312. № 2), а также в коллективной монографии [7].

Авторы данного краткого обзора выражают искреннюю благодарность членам оргкомитетов различных лет, всем участникам проведенных AMPL, которые внесли вклад в развитие физики, техники и применения лазеров и своим участием сделали конференцию известной в мировом сообществе.

Решением оргкомитета очередная XV AMPL пройдет в Томске с 12 по 17 сентября 2021 г. Приглашаем заинтересованных ученых, инженеров, аспирантов и студентов принять в ней участие. Следите за новостями на сайте Института оптики атмосферы СО РАН [<https://symp.iao.ru/ru/>].

Список литературы

1. Евтушенко Г.С. Предисловие редактора // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. № 03. С. 227.
2. Клишкин А.В., Тарасенко В.Ф. XI Международная конференция по импульсным лазерам // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 04. С. 275–279.
3. Клишкин А.В., Тарасенко В.Ф. Новое в лазерной тематике — по материалам XII конференции AMPL // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 2. С. 91–95.
4. Клишкин А.В., Погодаев В.А., Евтушенко Г.С. Лазеры, лазерные системы, применения лазеров — по материалам XIII конференции AMPL // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 03. С. 167–171.
5. Евтушенко Г.С., Клишкин А.В., Погодаев В.А., Тригуб М.В. Фотоника как эффективный инструмент решения фундаментальных и прикладных задач — по материалам 14-й конференции AMPL // Оптика атмосферы и океана. 2020. Т. 33. № 3. С. 163–168.
6. Гавриловская Т.И., Киселева Е.К., Клишкин А.В., Солдатов А.Н. Лазерное биеннале за Уралом. По материалам конференции AMPL-2011 // Фотоника. 2012. Т. 35. № 5. С. 12–25.
7. Импульсные лазеры на переходах атомов и молекул / под ред. В.Ф. Тарасенко. Томск: STT, 2014. 439 с.

References

1. Evtushenko G.S. (1993) *Predislovie redaktora. Optika atmosfery i okeana* [Editor's Note. Atmospheric and Ocean Optics. V. 6. No. 03. P. 227.
2. Klimkin A.V., Tarasenko V.F. (2014) *XI Mezhdunarodnaya konferentsiya po impul'snym lazeram* [XI International Conference on Pulsed Lasers] *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Ocean Optics]. Vol. 27. No. 04. P. 275–279.

3. Klimkin A.V., Tarasenko V.F. (2016) *Novoe v lazernoy tematike – po materialam XII konferentsii AMPL* [New in laser topics – based on the materials of the XII conference AMPL] *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the atmosphere and ocean]. Vol. 29. No. 2. P. 91–95.
4. Klimkin A.V., Pogodaev V.A., Evtushenko G.S. (2018) *Lazery, lazernye sistemy, primeneniya lazerov – po materialam XIII konferentsii AMPL* [Lasers, laser systems, laser applications – based on the materials of the XIII AMPL conference] *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Ocean Optics]. Vol. 31. No. 03. P. 167–171.
5. Evtushenko G.S., Klimkin A.V., Pogodaev V.A., Trigub M.V. (2020) *Fotonika kak effektivnyy instrument resheniya fundamental'nykh i prikladnykh zadach – po materialam 14-y konferentsii AMPL* [Photonics as an effective tool for solving fundamental and applied problems – based on the materials of the 14th AMPL conference] *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Ocean Optics]. V. 33. No. 3. P. 163–168.
6. Gavrilovskaya T.I., Kiseleva E.K., Klimkin A.V., Soldatov A.N. (2012) *Lazernoe biennale za Uralom. Po materialam konferentsii AMPL-2011* [Laser Biennale beyond the Urals. Based on the materials of the AMPL-2011 conference] *Fotonika* [Photonics]. Vol. 35. No. 5. P. 12–25.
7. *Impul'snye lazery na perekhodakh atomov i molekul. Pod red. V.F. Tarasenko* [Pulsed lasers on transitions of atoms and molecules (2014) Ed. V.F. Tarasenko] *STT* [STT]. Tomsk. P. 439.

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-111-117

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ В НЕФТЕКУМСКОМ ГОРОДСКОМ ОКРУГЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

А.В. Лысенко, зав. каф. Северо-Кавказского федерального университета, д-р геогр. наук, доц., lysenkostav@yandex.ru

И.О. Лысенко, проф. каф. Ставропольского государственного аграрного университета, д-р биол. наук, доц., lysenkostav@yandex.ru

Т.В. Осипова, вед. аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, osipovav@extech.ru

Рецензент: В.М. Питулько

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) занимают незначительные площади территории Нефтекумского городского округа Ставропольского края. В связи с этим актуальным является обоснование необходимости создания на его территории ООПТ и, таким образом, придание устойчивости природным ландшафтам округа. Устойчивость ландшафтов определяли на основании эколого-ландшафтного принципа. Показатели стабильности ландшафтов получали, рассчитывая значения коэффициентов экологической стабильности ландшафта. Для Нефтекумского городского округа Ставропольского края данные исследования проводились впервые. В результате исследований установлено, что репрезентативность и природоохранная ценность существующих на территории Нефтекумского городского округа ООПТ не соответствуют требованиям, предъявляемым к территориальной организации экосистем данного типа, ландшафты условно стабильны и требуют частичного преобразования нестабильных элементов ландшафта в стабильные, что возможно при организации новой ООПТ на территории округа.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, организация особо охраняемых природных территорий, устойчивость ландшафтов, эколого-ландшафтный принцип, степень уязвимости территории, оптимальность организации особо охраняемых природных территорий.

SUBSTANTIATION OF THE NEED FOR ORGANIZATION OF A SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORY IN THE NEFTECUM CITY DISTRICT OF STAVROPOL REGION

A.V. Lysenko, Head of Department, North Caucasian Federal University, Ph. D., Associate Professor, lysenkostav@yandex.ru

I.O. Lysenko, Professor, Stavropol State Agrarian University, Ph. D., Associate Professor, lysenkostav@yandex.ru

T.V. Osipova, Leading Analyst, SRI FRCEC, osipovav@extech.ru

Specially protected natural territories (SPNA) occupy small areas of the Neftekumsky urban district of the Stavropol Territory. In this regard, it is relevant to justify the need to create protected areas on its territory thus making the natural landscapes of the district sustainable. The stability of landscapes was determined on the basis of the ecological-landscape principle. The indicators of landscape stability were obtained by calculating the values of the coefficients of ecological stability

of the landscape. For the Neftekumsky urban district of the Stavropol Territory, these studies were conducted for the first time. As a result of the studies, it was established that the representativeness and environmental value of the protected areas existing in the Neftekum urban district do not meet the requirements for the territorial organization of ecosystems of this type, the landscapes are conditionally stable and require the partial transformation of unstable landscape elements into stable ones, which is possible when organizing a new protected area in the territory counties.

Keywords: specially protected natural territories, organization of specially protected natural territories, landscape sustainability, ecological-landscape principle, degree of territory vulnerability, optimality of organization of specially protected natural territories.

Введение

Стратегической целью государственной политики в области экологического развития является решение социально-экономических задач, обеспечивающих экологически ориентированный рост экономики, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов для удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, реализации права каждого человека на благоприятную окружающую среду, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Приоритетом указанной политики является сохранение естественных экологических систем, природных ландшафтов и природных комплексов, а одним из механизмов ее реализации — укрепление охраны и развитие системы особо охраняемых природных территорий федерального, регионального и местного значения [1].

ООПТ относятся к объектам общенационального достояния и включают государственные природные заповедники, национальные и природные парки, государственные природные заказники, памятники природы, дендрологические парки и ботанические сады. Отношения в области организации, охраны и использования ООПТ регулируются Федеральным законом от 14.03.1995 № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях».

На сегодняшний день в Российской Федерации насчитывается около 12 тыс. ООПТ общей площадью 237,7 млн га (с учетом морской акватории), причем на долю ООПТ регионального и местного значения приходится 97,5 % от их общего числа и 69,9 % от суммарной площади. За период 2010–2018 гг. общее количество ООПТ увеличилось на 7 ед. (или на 0,6 %), а общая площадь, занятая ими, — на 33,1 млн га (или на 16 %). Наибольшее количество ООПТ расположено в Центральном федеральном округе (32 % от общего количества ООПТ), наименьшее — в Северо-Кавказском федеральном округе (5 % от общего количества ООПТ) [2]. Последнее определяет актуальность задачи развития ООПТ Северного Кавказа, в частности на территории Ставропольского края.

Природные условия Ставропольского края многообразны. На его территории можно найти практически все климатические пояса. Сложен и мозаичен рельеф, который определяет микроклиматические условия местности. Несмотря на наличие разветвленной сети ООПТ на Ставрополье, ее общая площадь составляет всего 106,53 тыс. га (1,6 % от общей площади Ставропольского края). В основном это региональные заказники и памятники природы. Они распределены по территории края неравномерно. Скорее всего, это связано с хаотичностью процесса организации ООПТ краевого значения в прошлом и отсутствием четкой схемы их образования в настоящее время.

Анализ схемы развития и размещения ООПТ в Ставропольском крае, разработанной в 2008 г., свидетельствует о концентрации ООПТ в пределах лесных и лесостепных ландшафтов и незначительном их количестве в степях и полупустынях, к территории которых относится Невтекумский городской округ. Эти и другие причины создают предпосылки для подготовки обоснования организации новой ООПТ в Невтекумском городском округе Ставропольского края, что и придает теме актуальность.

Целью настоящего исследования являлось обоснование значимости сохранения природных ландшафтов в Нефтекумском городском округе Ставропольского края и создания на его территории ООПТ регионального значения.

Характеристика района исследований

Нефтекумский городской округ расположен в пределах двух ландшафтов полупустынной провинции: Курско-Прикаспийского культурно-природного и Нижнекумско-Прикаспийского культурно-природного ландшафтов [3, с. 264].

Оба ландшафта характеризуются сочетанием окультуренных территориальных комплексов на орошаемых землях в западных районах и природных территориальных комплексов, нарушенных выпасом на востоке. Главный фактор антропогенных воздействий — значительный рост влагооборота (обводнение и орошение).

В настоящее время территория Нефтекумского городского округа освоена на 95 %, что привело к значительной трансформации естественных ландшафтов (коэффициент трансформации 0,2–0,3) и обострению экологических проблем.

Общая площадь Нефтекумского городского округа составляет 3797 км² (379,7 тыс. га), из которых 2369,36 км² (236,936 тыс. га) сельскохозяйственных угодий, из них пашни — 96,7 тыс. га, в том числе 21,6 тыс. га орошаемых земель. В границы Нефтекумского городского округа Ставропольского края входят три региональных заказника общей площадью 5294,0 га (рис. 1).

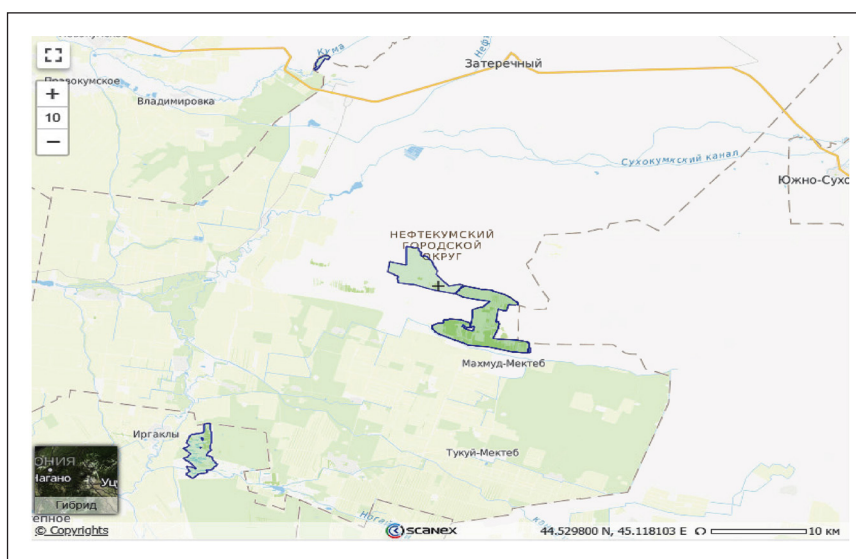


Рис. 1. Карта ООПТ Нефтекумского городского округа Ставропольского края (источник: официальный сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края)

Материалы и методы исследований

При проведении исследований применяли методы анализа, сравнения, фотографирования, графические и картографические методы.

Обоснование необходимости организации ООПТ на территории Нефтекумского городского округа осуществляли путем анализа показателей стабильности ландшафтов. Данные для анализа показателей стабильности ландшафтов получали, рассчитывая значения

коэффициентов экологической стабильности ландшафта — КЭСЛ₁ и КЭСЛ₂ — в соответствии с методикой, разработанной В.А. Барановым (2012) [4, с. 61–63].

Современное состояние эколого-ландшафтной составляющей охраняемых природных территорий Нефтекумского района Ставропольского края оценивали расчетными методами:

– для определения размеров ООПТ, степени уязвимости территории (Р/А), степени экологической оптимальности территории (А/Р) использовали теорию островной биогеоэкологии [4, с. 61–63];

– степень оптимальности формы ООПТ определяли путем сравнения ее с кругом, для этого находили индекс формы участка (D) по методике, предложенной В.Е. Соколовым с соавторами (1997) [4, с. 11].

Собственные исследования

Для оценки состояния устойчивости ландшафтов Нефтекумского городского округа рассчитывали КЭСЛ₁ и КЭСЛ₂. Метод оценки устойчивости ландшафта с помощью коэффициента КЭСЛ₁ основан на сопоставлении площадей земель различного назначения с учетом их положительного или отрицательного влияния на устойчивость ландшафта. Расчеты проводили в соответствии с методикой, разработанной В.А. Барановым [5].

Расчет коэффициента КЭСЛ₁ основан на определении и сопоставлении площадей, занятых различными элементами ландшафта, с учетом их положительного или отрицательного влияния на окружающую среду. Он рассчитывается по формуле:

$$\text{КЭСЛ}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n F_{\text{ст}}}{\sum_{i=1}^n F_{\text{ннс}}} \quad (1)$$

где $F_{\text{ст}}$ — площади, занятые стабильными элементами ландшафта — сельскохозяйственными культурами и фитоценозами, оказывающими на него положительное влияние; $F_{\text{ннс}}$ — площади, занятые нестабильными элементами ландшафта (ежегодно обрабатываемые пашни, земли с неустойчивым травяным покровом, склонами, площадями под застройкой и дорогами, зарастающими или заиленными водоемами, местами добычи полезных ископаемых, другими участками, подвергающимися антропогенному опустошению).

Биотические элементы ландшафта оказывают неодинаковое влияние на его стабильность. Для оценки ландшафта необходимо учитывать не только их площади, но и внутренние свойства, а также качественное состояние (влажность и профиль биотопа, структура биомассы, геологическое строение, местоположение и морфология поверхности). Для этого оценивается КЭСЛ₂, который рассчитывается по формуле:

$$\text{КЭСЛ}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot K_{\text{эз}} \cdot K_r}{F_t} \quad (2)$$

где f_i — площадь биотического элемента; $K_{\text{эз}}$ — коэффициент, характеризующий экологическое значение отдельных биотических элементов; K_r — коэффициент геолого-морфологической устойчивости рельефа (1,0 — стабильный, 0,7 — нестабильный, например рельеф песков, склонов, оползней); F_t — площадь всей территории ландшафта.

Структуру землепользования для расчета КЭСЛ₁ брали из паспорта Нефтекумского городского округа Ставропольского края и других литературных источников (табл. 1).

Таблица 1

Структура землепользования Нефтекумского городского округа Ставропольского края

№ п/п	Виды землепользования	Площадь, га
	Общая земельная площадь Нефтекумского городского округа	379 700
	Из них:	
1	Земли сельскохозяйственного назначения	331 100
	Пашня	96 700
	Пастбища и сенокосы	227 483
	Защитные лесные насаждения	6917
2	Земли населенных пунктов	11 212
	Из них:	
	Городских	3104
	Сельских	828
3	Земли предприятий, промышленности, транспорта и связи	25 516
4	Земли лесного фонда	10 316
5	Земли водного фонда	1083
6	Пески	399
7	Оползни, овраги	74

Анализ имеющейся информации свидетельствует о том, что в границы территории Нефтекумского городского округа входят как элементы, оказывающие положительное влияние на стабилизацию ландшафта (пастбища, сенокосы, защитные лесные насаждения (ЗЛН), леса, водные объекты), общая площадь которых занимает 246 272 га, так и антропогенно нарушенные территории, оказывающие негативное воздействие на устойчивость ландшафтов округа (пашни, земли населенных пунктов и предприятий, промышленности, транспорта, связи) общей площадью 133 428 га.

На основе сведений о площадях элементов, стабилизирующих и дестабилизирующих ландшафты Нефтекумского городского округа, рассчитали качественную составляющую экологической стабильности ландшафта (КЭСЛ₁), которая составила 1,84. При сравнении расчетного показателя со шкалой коэффициента экологической стабильности ландшафта определили, что ландшафты Нефтекумского городского округа можно охарактеризовать как условно стабильные.

Поскольку биотические элементы ландшафта оказывают неодинаковое влияние на его стабильность, при оценке целесообразно учитывать не только площадь этих элементов, но и их качественное состояние: особенности рельефа, качество почв, устойчивость материнских пород, состояние растительности и продуктивности биомасс и др.

Оценку качественных характеристик абиотических и биотических элементов ландшафта Нефтекумского городского округа Ставропольского края осуществляли на основании расчета КЭСЛ₂ и путем сопоставления их с данными табл. 2.

Рассчитанный нами показатель КЭСЛ₂ для ландшафтов Нефтекумского городского округа составил 0,44, что характеризует вышеуказанный ландшафт как малостабильный.

На основании ландшафтно-экологического подхода изучали показатели, характеризующие репрезентативность и природоохранную ценность ООПТ Нефтекумского городского округа (табл. 3).

Таблица 2

Показатели, характеризующие внутренние свойства и качественное состояние биотических элементов ландшафтов Нефтекумского городского округа Ставропольского края

№ п/п	Виды землепользования	Показатели			
		f_i , га	$K_{эз}$	K_r	F_i , га
1	Пашня	96 700	0,14	0,7	168 159,12
2	Пастбища и сенокосы	227 483	0,68	1,0	
3	Защитные лесные насаждения	6917	0,43	1,0	
4	Населенные пункты	11 212	0	0,7	
5	Застройка (промышленные предприятия, инфраструктура транспорта и связи)	25 516	0	0,7	
6	Лесной фонд	10 316	1,0	1,0	
7	Водный фонд	1083	0,79	1,0	
8	Пески	399	0,1	0,7	
9	Оползни, овраги	74	0,05	0,7	

Таблица 3

Показатели, характеризующие репрезентативность и природоохранную ценность ООПТ Нефтекумского городского округа

№ п/п	Название ООПТ	Индекс формы участка территории	Экологическая проницаемость границ заказников	Степень экологической оптимальности территории
1	Восточный	2,07	1,27	0,78
2	Дюна	1,18	0,9	1,07
3	Бажиган	1,49	17,0	0,059

Изучение степени экологической оптимальности территории заказников показало, что все полученные значения гораздо меньше 5, среднее расстояние от любой внутренней точки до границы ООПТ невелико, следовательно, природные комплексы неустойчивы к внешним воздействиям, а сохраняемая биота в значительной степени подвержена воздействию разных случайностей. Высокой оказалась и экологическая проницаемость границ для всех заказников, что негативно сказывается на природоохранной ценности заказников.

Применяемый нами ландшафтно-экологический подход при оценке ООПТ Нефтекумского городского округа позволил установить, что их репрезентативность и природоохранная ценность не соответствуют требованиям, предъявляемым к территориальной организации экосистем данного типа.

Выводы

1. Репрезентативность и природоохранная ценность существующих на территории Нефтекумского городского округа ООПТ не соответствуют требованиям, предъявляемым к территориальной организации экосистем данного типа.

2. Анализ коэффициентов экологической стабилизации ландшафтов Нефтекумского городского округа Ставропольского края свидетельствует об их условной стабильности.

3. В целях сохранения устойчивости природно-территориальных комплексов Нефтекумского городского округа Ставропольского края необходимо найти возможность трансформации хотя бы некоторых нестабильных элементов ландшафта в стабильные, что возможно при организации новой ООПТ на территории округа.

Список литературы

1. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Президентом РФ 30.04.2012). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129117 (дата обращения: 08.04.2020).
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». URL: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2018 (дата обращения: 08.04.2020).
3. Шальнев В.А. Ландшафты Северного Кавказа: эволюция и современность. Ставрополь: СГУ, 2004. 264 с.
4. Иванов А.Н., Чижова В.П. Охраняемые природные территории: учеб. пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. С. 61–63.
5. Баранов В.А. Теоретические основы экологической оптимизации ландшафта // Сельское, лесное и водное хозяйство. 2012. № 9. URL: <http://agro.snauka.ru/2012/09/520> (дата обращения: 08.04.2020).
6. Соколов В.Е., Филонов К.П., Нухимовская Ю.Д. Экология заповедных территорий России. М.: Янус-К, 1997. С. 11.

References

1. *Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda (utv. Prezidentom RF 30.04.2012)* [The basics of state policy in the field of environmental development of the Russian Federation for the period until 2030 (approved by the President of the Russian Federation on April 30, 2012)]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129117 (accessed: 08.04.2020).
2. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu»* [State report «On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2018»]. Available at: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2018 (accessed: 08.04.2020).
3. Shalnev V.A. (2004) *Landshafty Severnogo Kavkaza: evolyutsiya i sovremennost'* [Landscapes of the North Caucasus: evolution and modernity] *SGU [SSU]*. Stavropol. P. 264.
4. Baranov V.A. (2012) *Teoreticheskie osnovy ekologicheskoy optimizatsii landshafta* [Theoretical foundations of ecological landscape optimization] *Sel'skoe, lesnoe i vodnoe khozyaystvo* [Agriculture, Forestry and Water Management]. No. 9. Available at: <http://agro.snauka.ru/2012/09/520> (accessed: 08.04.2020).
5. Ivanov A.N., Chizhova V.P. (2003) *Okhranyaemye prirodnye territorii: ucheb. Posobie* [Protected areas: textbook] *Izd-vo Mosk. un-ta* [Moscow State University Publishing House]. Moscow. P. 61–63.
6. Sokolov V.E., Filonov K.P., Nukhimovskaya Yu.D. (1997) *Ekologiya zapovednykh territoriy Rossii* [Ecology of reserved territories of Russia] *Yanus-K* [Janus-K]. Moscow. P. 11.

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-118-131

ДОСТИЖИМОСТЬ ИНДИКАТОРОВ ПОДПРОГРАММЫ «РАЗВИТИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КАПИТАЛА» ГОСПРОГРАММЫ «НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ» С УЧЕТОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.П. Зубарев, ст. научн. сотр. ФГБНУ «Дирекция научно-технических программ», канд. физ.-мат. наук, Zubarev@fcntp.ru

А.К. Скуратов, ст. научн. сотр. ФГБНУ «Дирекция научно-технических программ», д-р техн. наук, проф., skuratov@fcntp.ru

Рецензент: И.А. Тугаринов

Целью исследования является оценка достижимости части индикаторов подпрограммы «Развитие национального интеллектуального капитала» Государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» с учетом математического моделирования демографических процессов. Объект исследования — образовательная структура населения России в соответствии с Международной стандартной классификацией образования в редакции 2011 г. В работе использованы данные Росстата и нормативные документы Министерства науки и высшего образования. В качестве инструмента исследования образовательной структуры населения России предложена балансовая математическая модель в виде дифференциальных уравнений, описывающих изменения в образовательных уровнях во времени и в различных возрастных группах. Проведены численные эксперименты, позволившие дать прогноз изменений выпусков бакалавров, магистров, специалистов и кандидатов наук до 2031 г. На основе данного прогноза сделаны выводы о достижимости индикаторов вышеназванной Госпрограммы. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках реализации Государственного задания ФГБНУ «Дирекция научно-технических программ» № 075-01395-20-00.

Ключевые слова: государственная программа, международная стандартная классификация образования, уровни третичного образования, исследователи, математическое моделирование, демография, индикаторы госпрограммы.

REACHABILITY OF THE INDICATORS OF THE «DEVELOPMENT OF NATIONAL INTELLECTUAL CAPITAL» SUBPROGRAMME OF THE STATE PROGRAM «SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION» TAKING INTO ACCOUNT THE MATHEMATICAL MODELING OF DEMOGRAPHIC PROCESSES

A.P. Zubarev, Senior Researcher, FSBI Directorate of Scientific and Technological Programs, Doctor of Physics and Mathematics, Zubarev@fcntp.ru

A.K. Skuratov, Senior Researcher, FSBI Directorate of Scientific and Technological Programs, Ph.D., Professor, skuratov@fcntp.ru

The aim of the study is to assess the reachability of some indicators of the subprogram «Development of national intellectual capital» of the State program «Scientific and technological development of the Russian Federation» taking into account mathematical modeling of demographic

processes. The object of the study is the educational structure of the Russian population in accordance with the International Standard Classification of Education as amended in 2011. The work uses the data of the Federal State Statistics Service and regulatory documents of the Ministry of Science and Higher Education. A balance mathematical model in the form of differential equations describing changes in educational levels over time and in different age groups is proposed as a tool for studying the educational structure of the population of Russia. Numerical experiments were conducted that made it possible to forecast changes in the graduations of bachelors, masters, specialists and candidates of sciences until 2031. Based on this forecast, conclusions were drawn about the attainability of indicators of the above state program. This work was supported by the Ministry of Education and Science of Russia as part of the implementation of the State task of the Federal State Budgetary Scientific Institution Directorate of Scientific and Technological Programs No. 075-01395-20-00.

Keywords: state program, international standard classification of education, tertiary education levels, researchers, mathematical modeling, demography, state program indicators.

Введение

Постановлением Правительства Российской Федерации от 29.03.2019 № 377 утверждена Государственная программа Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (ГП НТР). С 15.04.2020 действует редакция ГП НТР, утвержденная Постановлением Правительства Российской Федерации от 31.03.2020 № 390 [1]. ГП НТР разработана с учетом целевых показателей национальных проектов «Наука», «Образование» и «Цифровая экономика». В ГП НТР предусмотрена гармонизация ассигнований федерального бюджета на научные исследования и достижение соответствующих результатов, предусмотренных в других государственных программах. В ГП НТР включены пять подпрограмм: «Развитие национального интеллектуального капитала», «Обеспечение глобальной конкурентоспособности российского высшего образования», «Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства», «Формирование и реализация комплексных научно-технических программ по приоритетам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, а также научное, технологическое и инновационное развитие по широкому спектру направлений», «Инфраструктура научной, научно-технической и инновационной деятельности». В ГП НТР входит и Федеральная целевая программа (ФЦП) «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Таким образом, ГП НТР во многом является продолжением целого ряда федеральных целевых программ и нацелена на достижение индикаторов, которые определены в этих программах. Выполнение ГП НТР рассчитано на реализацию в 2019–2030 гг.

В подпрограмме ГП НТР № 1 «Развитие национального интеллектуального капитала» установлены целевые индикаторы:

- 1) доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности российских исследователей. В 2030 г. значение данного индикатора должно составить 51,5 %;
- 2) численность исследователей в возрасте до 39 лет (включительно), имеющих ученую степень кандидата наук. В 2030 г. значение данного индикатора должно составить 28,5 тыс. чел.;
- 3) количество грантов для поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых.

Кроме того, в паспорте ГП НТР среди ожидаемых результатов реализации подпрограммы № 1 «Развитие национального интеллектуального капитала» указывается «...рост количества занятых исследованиями, разработками и технологическим предпринимательством более чем на 10 процентов». Если достижимость индикатора № 3 «Количество грантов...» зависит от объемов бюджетного финансирования, то достижимость индикаторов № 1 и 2, а также количества исследователей во многом определяется демографической ситуацией.

Цель исследования, терминология и методика

Целью настоящей статьи является математический расчет достижимости индикаторов, которые непосредственно связаны с демографией. Научными исследователями могут быть люди, находящиеся на третичной ступени образования. В настоящей работе для определения изменений в образовательных уровнях во времени и в различных возрастных группах была применена балансовая математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений. Полученные решения использовались при прогнозировании числа научных исследователей для различных уровней третичной ступени образования и различных возрастных групп до 2030 г. В действующей Международной стандартной классификации образования в редакции 2011 г. (МСКО-2011) третичную ступень образования составляют уровни: 6-й (бакалавры), 7-й (магистры и специалисты), 8-й (кандидаты и доктора наук) [2, 3].

В настоящей статье рассмотрена упрощенная схема образовательной системы общества, представленная на рис. 1.

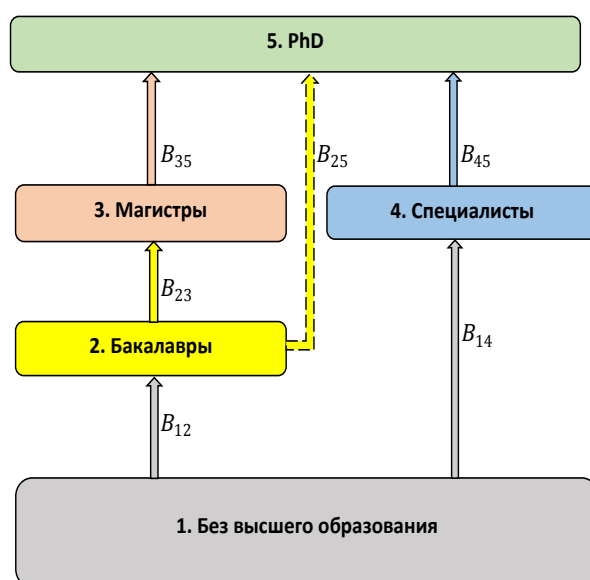


Рис. 1. Упрощенная схема образовательной системы

В работе была использована следующая терминология: все совокупности людей, входящие в ячейки рис. 1, называются группами. То есть человек без высшего образования входит в группу 1, бакалавр — в группу 2, магистр — в группу 3, специалист — в группу 4, кандидаты и доктора наук (Ph. D.) — в группу 5. Несмотря на то что магистры и специалисты по образовательному уровню считаются равнозначными, они были выделены в отдельные группы, так как, например, согласно действующим нормам нельзя из группы 1 перейти в группу 3, а в группу 4 — можно. Особенностью схемы, представленной на рис. 1, является то, что фактически существующие в России две ученые степени (кандидата и доктора наук) объединены в одну группу, обозначенную как 5-я — Ph. D. Таким термином, например, в США классифицируются научные и научно-педагогические кадры высшей ученой степени, которая следует сразу за степенью магистра наук. Люди, закончившие вуз с дипломом «специалист», выделены в группу 4. Они, как и магистры, имеют право переходить в высшую категорию — группу 5 (Ph. D.) — и через аспирантуру, и через соискательство без аспирантуры [4]. На рис. 1 учтено также то обстоятельство, что до 2007 г. бакалавры имели право поступать

в аспирантуру (и, соответственно, защищать кандидатскую степень), а до 2014 г. они могли участвовать в соискательстве ученой степени кандидата, но только без аспирантуры.

Рассмотрим движение людей в схеме, представленной на рис. 1. Пусть t — время (календарные годы); x — возраст (лет); $S_1(x, t)$ — количество людей в России без высшего образования в момент времени t и возраста x ; $S_2(x, t)$ — количество людей с дипломом бакалавра; $S_3(x, t)$ — количество людей с дипломом магистра; $S_4(x, t)$ — количество людей с дипломом специалиста; $S_5(x, t)$ — количество людей, имеющих ученую степень (кандидата и доктора наук). Идеология использованной в настоящей работе математической модели основана на балансе: сумма всего числа людей в группах от 1-й до 5-й (см. рис. 1) должна быть равна общему населению страны. То есть, например, если бакалавр защищается как магистр, то из бакалавров он удаляется, становясь магистром. Аналогично, если магистр получает диплом кандидата (успешно защищает кандидатскую диссертацию), то из магистров он удаляется, становясь Ph.D. С учетом таких демографических процессов, как смертность и международная миграция, и переходов с уровня на уровень в схеме, представленной на рис. 1, математически движение населения по образовательной системе можно записать в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial S_1}{\partial t} + \frac{\partial S_1}{\partial x} = -\mu_1 S_1 - \varphi_1 S_1 - B_{12} S_1 - B_{14} S_1, \quad (1)$$

$$\frac{\partial S_2}{\partial t} + \frac{\partial S_2}{\partial x} = -\mu_2 S_2 - \varphi_2 S_2 + B_{12} S_1 - B_{23} S_2 - B_{25} S_2, \quad (2)$$

$$\frac{\partial S_3}{\partial t} + \frac{\partial S_3}{\partial x} = -\mu_3 S_3 - \varphi_3 S_3 + B_{23} S_2 - B_{35} S_3, \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_4}{\partial t} + \frac{\partial S_4}{\partial x} = -\mu_4 S_4 - \varphi_4 S_4 + B_{14} S_1 - B_{45} S_4, \quad (4)$$

$$\frac{\partial S_5}{\partial t} + \frac{\partial S_5}{\partial x} = -\mu_5 S_5 - \varphi_5 S_5 + B_{25} S_2 + B_{35} S_3 + B_{45} S_4. \quad (5)$$

В уравнениях (1)–(5) $\mu_k, \varphi_k, k = 1, 2, 3, 4, 5$ — коэффициенты смертности и международной миграции для людей соответствующей группы. Отметим, что коэффициенты смертности μ_k всегда положительны, а миграции φ_k могут быть как положительными (оттоки из страны), так и отрицательными (притоки в страну). Коэффициенты переходов в (1)–(5): B_{12} (из 1-й во 2-ю) — из «без высшего образования» в «бакалавры», B_{14} (из 1-й в 4-ю) — из «без высшего образования» в «специалисты», B_{23} (из 2-й в 3-ю) — из «бакалавров» в «магистры», B_{25} (из 2-й в 5-ю) — из «бакалавров» в Ph.D., B_{35} (из 3-й в 5-ю) — из «магистров» в Ph.D., B_{45} (из 4-й в 5-ю) — из «специалистов» в Ph.D. Левые части уравнений (1)–(5) — обычная форма записи в эволюционных дифференциальных уравнениях при рассмотрении вопросов демографии [5, 6].

Математические методы в демографии для решения проблем возрастного распределения населения стали разрабатываться более века назад (например, [7, 8] — при помощи алгебраических и интегральных уравнений, отражающих баланс между смертностью и рождаемостью). В настоящей работе был выделен общий демографический фон населения России, в качестве чего использовались данные Росстата, в том числе и прогноз до 2030 г. Действительно, введем обозначение: пусть $R(x, t)$ — все население (количество людей) в России в момент времени t (год) в возрасте x (лет). Выполним в (1)–(5) подстановку:

$$S_k(x, t) = R(x, t) Y_k(x, t), \quad k = 1, \dots, 5. \quad (6)$$

Функции $Y_k(x, t)$ являются долями k -й группы схемы рис. 1 среди всего населения. Введем обозначения: $A_k = \mu_k + \varphi_k$, $k = 1, \dots, 5$ и $\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} = \hat{L}$. Допустим, что смертность и миграционные характеристики людей одного возраста, находящихся на третичной ступени образования, одинаковы: $A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = A_{HE}$, тогда нетрудно показать, что:

$$\hat{L}Y_1 = -aY_1^2 + (a - B_{12} - B_{14})Y_1, \quad (7)$$

$$\hat{L}Y_2 = -(B_{23} + B_{25} + aY_1)Y_2 + B_{12}Y_1, \quad (8)$$

$$\hat{L}Y_3 = -(B_{35} + aY_1)Y_3 + B_{23}Y_2, \quad (9)$$

$$\hat{L}Y_4 = -(B_{45} + aY_1)Y_4 + B_{14}Y_1, \quad (10)$$

$$\hat{L}Y_5 = -aY_1Y_5 + B_{25}Y_2 + B_{35}Y_3 + B_{45}Y_4, \quad (11)$$

$$\text{где: } a = A_{HE} - A_1; \quad A_{HE} = A_2 = A_3 = A_4 = A_5. \quad (12)$$

Таким образом, представление (6) позволило, выделив общий нестационарный демографический фон $R(x, t)$, оставить только нестационарность, связанную с перераспределением во времени между $Y_k(x, t)$, поскольку очевидно, что выполняется баланс $Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 = 1$. Краевые условия при $x = 0$ задаются исходя из факта, что в нулевом возрасте нет бакалавров, магистров, специалистов и Ph. D. Для демографических проблем на решения необходимо накладывать также начальные условия по времени, которые логично связать со временем проведения общенациональной переписи населения. В случае если все движение в модели, представленной на рис. 1, начинается только с некоторого возраста $x_0 > 0$, то краевое условие будет выглядеть как $Y_1(x = x_0, t) = 1$. На практике x_0 возможно связать с характерным возрастом получения диплома бакалавра – на нижнем уровне третичной ступени образования. Были проведены исследования системы уравнений (7)–(11). Нетрудно заметить, что в первое уравнение этой системы входит только Y_1 , во второе – только Y_1 и Y_2 , в третье – Y_1, Y_2, Y_3 и т.д. То есть, найдя решение первого уравнения (7), его можно использовать как подстановку во второе (8) и т.д. Оказалось, что решение (7) при начальных и краевых условиях (так называемая смешанная задача, [9], – не нарушая общности, запишем, что $Y_1(x = 0, t) = 1$ и $Y_1(x, t = 0) = Y_1^0(x)$) можно выписать в квадратурах. Выполним в уравнение (7) подстановку $Y_1 = z/w$, тогда для z и w получим уравнения:

$$\hat{L}z = fz: \quad x > 0; \quad t > 0; \quad z(x = 0, t) = 1; \quad z(x, t = 0) = Y_1^0(x), \quad (13)$$

$$\hat{L}w = az: \quad x > 0; \quad t > 0; \quad w(x = 0, t) = 1; \quad w(x, t = 0) = 1, \quad (14)$$

где принято обозначение: $f = a - B_{12} - B_{14}$.

Решение задачи (13) и через него решение задачи (14) в квадратурах можно записать последовательно в виде:

$$z(x, t) = Y_1^0(x-t)^{\theta(x-t)} \exp \left\{ \int_0^x d\xi \cdot \theta(t-x+\xi) f(\xi, t-x+\xi) \right\}, \quad (15)$$

$$w(x, t) = 1 + \int_0^x d\xi \cdot \theta(t - x + \xi) a(\xi, t - x + \xi) z(\xi, t - x + \xi), \quad (16)$$

где функция $\theta(x)$ – тэта-функция Хэвисайда: $\theta(x) = 0$, если $x < 0$, и $\theta(x) = 1$, если $x \geq 0$.

Непосредственной подстановкой убеждаемся, что (15) и (16) удовлетворяют (13) и (14) соответственно (используем свойства $\theta(x)$ и то, что функция Y_1^0 всегда положительна).

Для получения численных значений функций $Y_k(x, t)$ была использована схема бегущего счета «правый верхний уголок» [9], шаблон которой представлен на рис. 2.

По горизонтали шаблона – изменение по x , по вертикали – по t . Конечно-разностное представление оператора $\hat{L}$ имеет вид:

$$\hat{L}Y_k = \frac{Y_k(n, j+1) - Y_k(n, j)}{\Delta t} + \frac{Y_k(n, j+1) - Y_k(n-1, j+1)}{\Delta x}. \quad (17)$$

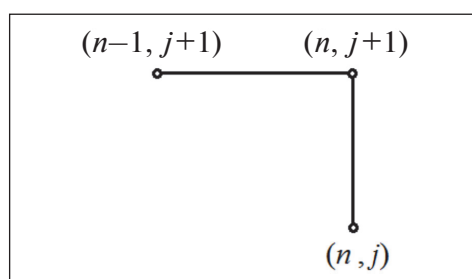


Рис. 2. Шаблон разностной схемы бегущего счета «правый верхний уголок»

Особенностью выбранной схемы является ее безусловная устойчивость по начальным и краевым данным. Использование метода бегущего счета позволяет находить решение (7)–(11) послойно, переходя от слоя с известными значениями к следующему слою и т.д. Для «нулевых» слоев с известными значениями $Y_k(x, t)$ были использованы данные переписи населения России за 2010 г. [10]. Вычисление всех коэффициентов B и a как функций x и t в (7)–(11) производилось минимизацией расхождений расчетных выпусков бакалавров, магистров, специалистов и Ph.D., моделируемых гладкими ограниченными функциями, с их истинными значениями из [3, 11, 12]. Например, модельный переход за время Δ с уровня 1 на уровень 2 схемы, изображенной на рис. 1, равен $B_{12}Y_1R\Delta$, где $R = R(x, t)$ – количество людей в России возраста x для времени t . B_{12} представлялось в виде:

$$B_{12}(x, t) = X_{12}(x)T_{12}(t), \quad (18)$$

$$X_{12}(x) = \Theta(x - x_{12}) \frac{(x - x_{12})^{p_{12}} \exp(-a_{12}(x - x_{12}))}{\max[(x - x_{12})^{p_{12}} \exp(-a_{12}(x - x_{12}))]}; \quad p_{12} > 0; \quad a_{12} > 0, \quad (19)$$

$$T_{12}(t) = \frac{c_{12}e^{\gamma_{12}(t_2 - t)} + d_{12}}{e^{\gamma_{12}(t_2 - t)} + 1}; \quad c_{12} > 0; \quad d_{12} > 0. \quad (20)$$

Аналогичным образом представлялись другие коэффициенты в (7)–(11). Математически приближение модельных значений выпусков к фактическим осуществлялось эволюционным (генетическим) методом поиска решения.

Результаты исследования

Если использовать демографический прогноз Росстата до 2031 г., то можно на основе полученных результатов сделать прогноз выпусков бакалавров, магистров, специалистов и Ph.D. На рис. 3–6 представлены полученные результаты до 2031 г. в тыс. чел. Также показаны фактические значения.



Рис. 3. Бакалавры

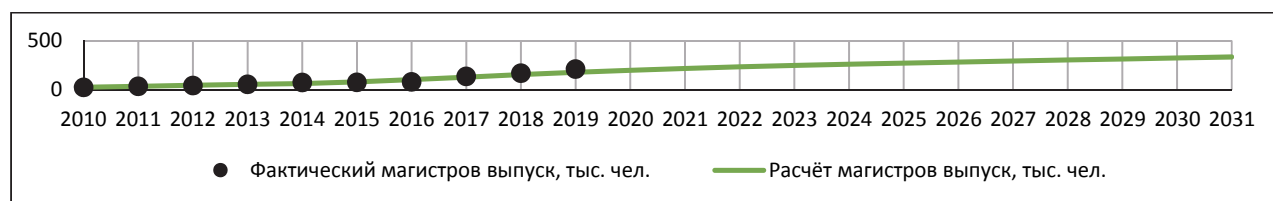


Рис. 4. Магистры

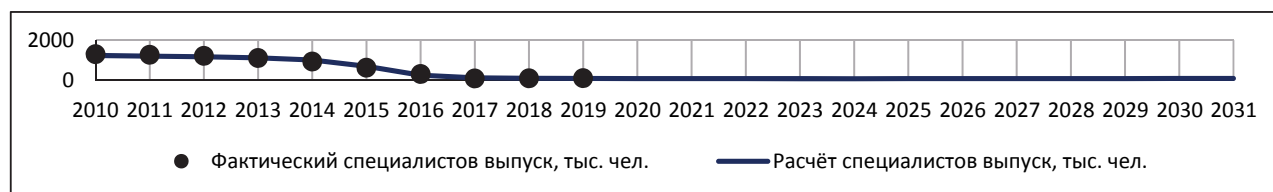


Рис. 5. Специалисты

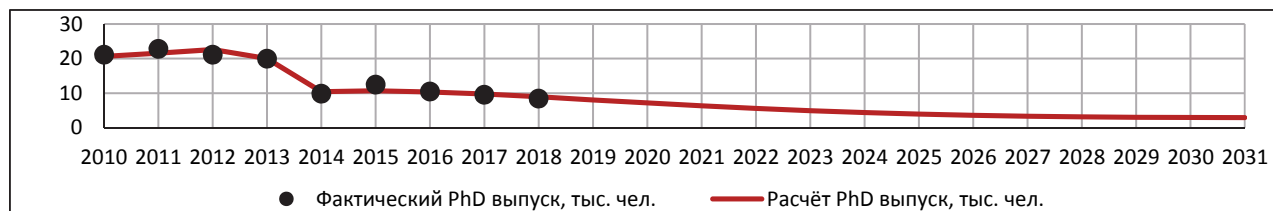


Рис. 6. Ph.D.

Выпуск бакалавров в 2031 г. составит 770 тыс. чел. и немного увеличится по сравнению с 2019 г., когда он составлял 660 тыс. Рост — 17 %.

Выпуск магистров в 2031 г. составит 330 тыс. чел. и значительно увеличится по сравнению с 2019 г., когда он составлял 210 тыс. Рост — 57 %.

Выпуск специалистов в 2031 г. составит 90 тыс. чел. и немного уменьшится по сравнению с 2019 г., когда он составлял 110 тыс. Снижение — 18 %.

Выпуск Ph.D. в 2031 г. составит 3 тыс. чел. и значительно уменьшится по сравнению с 2018 г., когда он составлял 8,5 тыс. Снижение — 65 %.

Рассмотренная в работе модель позволяет рассчитать выпуски бакалавров, магистров, специалистов и Ph.D. для каждого возраста по годам. Модель показывает, что для каждого возраста число людей, находящихся на различных уровнях третичной ступени образования, будет меняться. В табл. 1–4 показаны рассчитанные по модели количества людей на различных уровнях третичной ступени образования, тыс. чел.

Таблица 1

Бакалавры в России, тыс. чел., расчет по модели

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2010	0,0	313,8	377,5	238,6	123,2	45,3	31,4	20,4	13,5	8,1	4,5	9,1	1185,4
2011	0,0	314,1	394,5	248,6	146,5	54,7	33,4	22,4	14,1	9,2	3,9	9,3	1250,7
2012	0,0	312,2	404,3	254,8	164,6	66,7	35,9	24,6	14,8	9,8	3,9	9,4	1301,1
2013	0,0	310,6	407,5	263,0	176,9	81,4	39,3	26,8	15,9	10,3	4,6	9,0	1345,1
2014	0,0	377,5	424,4	274,7	187,4	96,4	43,9	29,1	17,3	10,8	5,4	8,5	1475,3
2015	0,0	713,1	546,0	297,7	198,5	113,5	50,9	31,9	19,0	11,5	6,7	8,2	1996,9
2016	0,0	1061,4	753,6	329,4	209,1	127,9	60,1	34,2	21,2	12,2	7,6	7,9	2624,6
2017	0,0	1294,2	981,2	386,7	218,6	141,5	69,9	37,1	23,3	13,0	8,1	8,0	3181,7
2018	0,0	1426,6	1192,4	469,5	234,8	152,9	81,5	40,6	25,6	14,1	8,6	8,3	3655,1
2019	0,0	1517,1	1350,0	571,2	260,4	164,9	93,2	45,0	27,9	15,4	9,1	8,6	4062,8
2020	0,0	1565,8	1483,2	697,0	295,8	177,6	105,5	50,6	30,2	16,8	9,6	9,2	4441,3
2021	0,0	1596,9	1569,1	835,9	342,0	194,0	117,6	58,6	32,5	18,9	10,3	9,7	4785,4
2022	0,0	1630,5	1630,0	954,1	408,4	210,9	130,1	66,9	35,1	21,0	11,1	10,2	5108,3
2023	0,0	1680,6	1667,3	1047,9	490,5	235,7	142,1	76,7	38,2	23,1	12,1	10,9	5425,1
2024	0,0	1725,0	1726,7	1106,9	578,9	270,4	156,3	86,8	42,0	25,2	13,4	11,5	5743,1
2025	0,0	1791,2	1755,7	1156,6	675,4	312,6	171,8	97,9	46,7	27,3	14,7	12,4	6062,4
2026	0,0	1836,2	1804,5	1183,9	775,6	363,9	192,7	109,2	53,5	29,3	16,6	13,4	6378,9
2027	0,0	1889,8	1846,7	1206,7	853,4	431,0	214,8	121,7	60,6	31,6	18,5	14,5	6689,4
2028	0,0	1929,1	1918,2	1222,8	909,8	508,5	244,9	134,6	69,1	34,1	20,4	15,7	7007,1
2029	0,0	1974,4	1987,2	1261,7	940,4	586,5	284,7	150,2	78,0	37,2	22,3	17,3	7339,8
2030	0,0	2031,1	2063,2	1283,1	965,7	668,0	330,4	167,9	88,2	41,2	24,1	19,0	7681,9
2031	0,0	2096,8	2113,3	1320,9	976,1	749,3	383,0	191,5	99,0	47,0	25,8	21,2	8023,8

Таблица 2

Магистры в России, тыс. чел., расчет по модели

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2010	0,0	106,4	214,2	165,8	73,0	28,1	17,4	11,1	7,1	4,3	2,3	4,5	634,2
2011	0,0	76,9	208,3	193,8	96,0	35,2	19,7	12,0	7,7	4,8	2,1	4,5	661,0
2012	0,0	54,6	206,1	217,3	122,2	45,7	22,4	13,4	8,2	5,0	2,2	4,6	701,7

Окончание табл. 2

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2013	0,0	38,1	201,1	240,8	149,7	60,4	25,9	15,1	8,9	5,3	2,5	4,5	752,3
2014	0,0	27,7	192,3	263,4	179,3	78,3	30,8	17,2	9,7	5,7	2,9	4,2	811,5
2015	0,0	24,2	194,6	286,8	211,1	101,3	38,3	19,9	10,9	6,1	3,6	4,1	900,8
2016	0,0	24,2	207,4	303,9	242,2	125,4	48,6	22,8	12,4	6,6	4,1	4,0	1001,5
2017	0,0	26,8	232,8	331,5	269,1	151,6	61,1	26,3	14,1	7,2	4,3	4,1	1129,0
2018	0,0	29,8	266,4	368,4	299,3	177,9	76,9	30,8	16,1	8,0	4,6	4,3	1282,3
2019	0,0	34,0	302,5	413,5	334,4	206,2	94,7	36,6	18,5	9,0	4,9	4,5	1458,7
2020	0,0	36,6	337,7	476,9	374,5	235,8	115,4	44,1	21,1	10,1	5,3	4,8	1662,3
2021	0,0	38,2	363,2	552,7	419,2	269,8	138,0	54,9	24,2	11,8	5,8	5,1	1882,8
2022	0,0	39,7	387,5	626,0	482,2	302,2	162,6	67,2	27,9	13,7	6,4	5,4	2120,8
2023	0,0	42,0	408,0	692,0	558,7	342,3	187,9	82,3	32,4	15,9	7,2	5,8	2374,3
2024	0,0	42,9	434,1	744,1	641,7	392,4	216,6	99,0	38,0	18,3	8,2	6,3	2641,7
2025	0,0	45,4	451,6	790,7	737,0	449,0	247,2	118,3	45,2	21,0	9,4	6,9	2921,7
2026	0,0	46,4	469,0	821,5	840,1	514,1	285,0	139,4	55,3	24,0	11,2	7,6	3213,6
2027	0,0	49,3	487,4	852,7	927,1	599,2	323,0	162,9	66,4	27,5	13,1	8,4	3517,0
2028	0,0	50,9	511,6	880,6	996,5	697,0	371,0	187,4	80,1	31,6	15,2	9,4	3831,3
2029	0,0	51,5	532,0	924,7	1043,5	796,5	431,2	216,3	95,2	36,7	17,6	10,7	4155,9
2030	0,0	51,8	558,7	955,8	1085,6	903,6	498,5	248,1	112,7	43,1	20,2	12,3	4490,3
2031	0,0	53,2	577,4	994,6	1111,2	1013,9	574,4	288,3	132,1	52,0	22,9	14,4	4834,3

Таблица 3

Специалисты в России, тыс. чел., расчет по модели

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2010	0,0	1926,6	3687,6	3184,9	2752,9	2400,3	2749,2	2527,6	2122,7	1564,1	916,2	2019,4	25 851,5
2011	0,0	1997,3	3811,6	3418,4	2810,3	2473,6	2609,4	2608,0	2109,6	1713,3	793,9	2026,5	26 371,8
2012	0,0	1989,2	4044,4	3574,2	2922,7	2545,7	2503,9	2646,5	2109,2	1746,1	796,5	2017,7	26 896,2
2013	0,0	1903,8	4259,2	3752,3	3035,5	2649,6	2419,5	2641,2	2126,9	1759,5	902,2	1929,2	27 378,9
2014	0,0	1763,6	4363,8	3954,4	3187,9	2745,5	2369,2	2605,7	2173,4	1764,9	1046,9	1801,1	27 776,3
2015	0,0	1488,9	4382,2	4181,5	3384,7	2901,0	2400,9	2576,0	2226,8	1784,4	1248,9	1721,2	28 296,6
2016	0,0	1020,1	4061,1	4269,2	3569,6	2991,0	2463,6	2464,0	2285,2	1786,0	1378,5	1644,6	27 932,9
2017	0,0	672,2	3534,4	4373,2	3705,6	3108,8	2534,8	2370,2	2312,4	1791,4	1416,0	1650,4	27 469,3
2018	0,0	449,0	2931,1	4385,1	3872,4	3209,0	2645,4	2291,3	2307,5	1806,0	1438,3	1677,8	27 013,0
2019	0,0	323,4	2344,5	4236,5	4047,0	3336,6	2747,5	2242,1	2277,8	1840,9	1450,6	1705,3	26 552,0
2020	0,0	240,6	1837,6	4029,9	4190,2	3469,1	2864,2	2233,9	2214,1	1849,7	1445,1	1763,1	26 137,4
2021	0,0	189,2	1396,3	3721,8	4240,3	3629,4	2961,9	2294,8	2123,7	1893,0	1452,4	1811,2	25 713,9
2022	0,0	160,4	1075,6	3300,7	4305,7	3739,0	3079,2	2362,7	2048,5	1912,0	1460,4	1851,5	25 295,7
2023	0,0	146,4	840,5	2824,8	4290,3	3877,5	3175,2	2467,2	1985,1	1905,8	1474,1	1893,2	24 880,1
2024	0,0	137,3	688,9	2353,1	4140,7	4024,7	3295,9	2566,4	1948,8	1881,3	1502,8	1925,0	24 465,0
2025	0,0	136,1	570,8	1930,1	3936,0	4122,7	3402,5	2680,1	1948,6	1835,3	1511,2	1974,9	24 048,3

Окончание табл. 3

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2026	0,0	135,4	490,3	1544,2	3661,3	4147,9	3540,2	2773,2	2006,5	1763,7	1546,6	2018,8	23 628,0
2027	0,0	138,6	436,8	1250,1	3287,0	4193,5	3626,3	2880,6	2068,8	1704,6	1562,0	2054,0	23 202,3
2028	0,0	139,8	407,3	1021,4	2861,1	4169,3	3738,6	2965,5	2162,2	1655,6	1557,1	2091,7	22 769,6
2029	0,0	140,6	387,7	866,0	2432,5	4026,2	3859,2	3070,3	2249,9	1629,1	1537,9	2130,2	22 329,6
2030	0,0	143,1	380,5	735,1	2043,8	3838,8	3934,8	3159,7	2349,6	1632,3	1501,4	2164,3	21 883,3
2031	0,0	148,2	374,2	639,5	1681,0	3592,0	3946,0	3276,6	2431,7	1683,9	1445,1	2213,7	21 431,8

Таблица 4

Ph. D. в России, тыс. чел., расчет по модели

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2010	0,0	15,2	38,6	62,0	86,3	72,9	55,9	63,8	84,5	70,9	48,2	132,2	730,7
2011	0,0	10,8	44,2	65,8	83,6	77,6	58,9	60,0	78,4	76,6	40,0	129,1	725,0
2012	0,0	7,5	48,9	70,8	82,5	80,7	61,5	58,1	72,6	76,3	38,3	125,2	722,4
2013	0,0	4,9	50,0	76,2	81,5	83,5	63,6	57,4	67,5	74,4	42,2	117,2	718,4
2014	0,0	3,1	44,0	78,3	81,4	85,0	65,7	57,6	63,9	71,7	48,0	107,5	706,2
2015	0,0	2,0	39,3	80,3	82,7	87,4	69,1	58,9	61,0	68,9	56,1	100,7	706,4
2016	0,0	1,1	34,1	78,9	83,7	87,1	72,7	58,8	59,1	65,1	60,6	94,1	695,3
2017	0,0	0,7	28,8	77,9	84,0	87,1	75,5	59,2	57,7	61,5	60,5	91,5	684,4
2018	0,0	0,4	23,6	75,4	85,1	86,4	78,7	59,6	56,6	58,3	59,4	90,0	673,5
2019	0,0	0,2	19,1	70,7	86,2	86,4	80,8	60,5	55,8	56,1	57,7	88,6	662,1
2020	0,0	0,2	15,1	65,8	86,8	86,4	82,7	61,9	54,7	53,5	54,8	88,6	650,6
2021	0,0	0,1	11,6	59,9	85,5	87,0	83,5	64,8	53,4	52,3	52,5	88,0	638,4
2022	0,0	0,1	9,0	52,8	84,7	86,6	84,3	67,3	52,6	51,3	50,3	87,0	626,0
2023	0,0	0,0	7,2	45,3	82,6	87,0	84,3	70,2	52,1	50,1	48,3	85,9	613,2
2024	0,0	0,0	6,1	38,2	78,4	87,6	84,8	72,5	52,2	49,0	47,0	84,4	600,2
2025	0,0	0,0	5,2	31,9	73,6	87,4	84,7	74,7	53,0	47,7	45,3	83,4	587,0
2026	0,0	0,0	4,5	26,2	67,9	85,8	85,2	75,9	55,2	46,0	44,6	82,2	573,6
2027	0,0	0,0	4,1	22,0	60,9	85,0	84,7	77,1	57,2	44,8	43,8	80,6	560,1
2028	0,0	0,0	3,9	18,7	53,2	83,1	84,8	77,4	59,7	43,9	42,8	79,0	546,5
2029	0,0	0,0	3,7	16,7	45,7	79,1	85,2	78,0	61,7	43,6	41,7	77,5	532,9
2030	0,0	0,0	3,7	15,0	39,0	74,7	84,8	78,2	63,7	44,0	40,4	76,0	519,4
2031	0,0	0,0	3,7	13,7	32,9	69,5	83,2	78,8	64,9	45,6	38,7	75,1	506,0

Обсуждение полученных результатов

В качестве эмпирических данных использовались данные [11] о распределении исследователей по возрастным группам в 2010–2018 гг. и о распределении исследователей, имеющих ученую степень, по возрастным группам в 2010–2017 гг. При помощи эволюционного поиска решения данные табл. 1–4 использовались для решения оптимизационной задачи: какую долю

составляют люди с каждого уровня образования третичной ступени, являющиеся исследователями. На рис. 7 показаны модельные и фактические количества исследователей, тыс. чел.

В 2018 г. фактическое количество исследователей составило 348 тыс. чел. Прогнозное значение в 2030 г. составит 390 тыс. чел. То есть модель показывает, что увеличение количества исследователей к 2030 г. на 10 % (ожидаемый результат ГП НТР) по сравнению с 2018 г. достижимо.

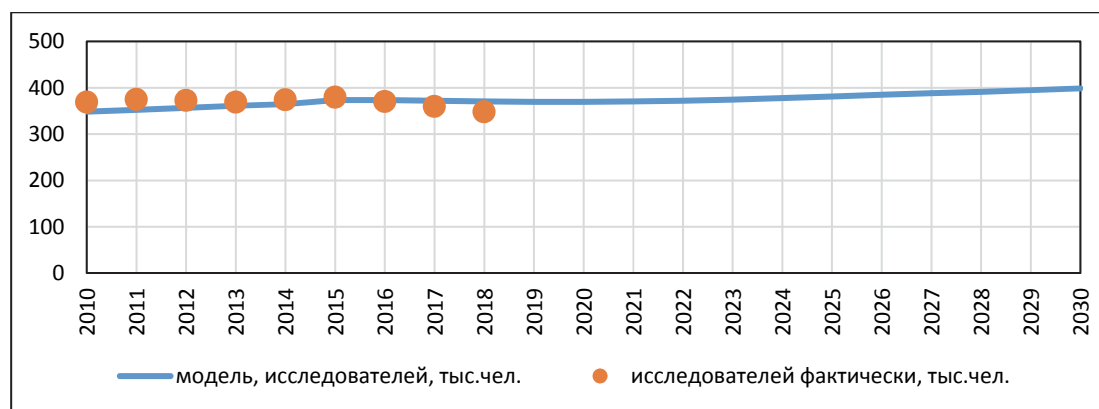


Рис. 7. Модельные и фактические количества исследователей

Иначе обстоит с достижением в 2030 г. уровня 51,5 %-ной доли исследователей 39 лет и младше среди всех исследователей. На рис. 8 показаны фактические, модельные и ожидаемые по ГП НТР значения доли исследователей в возрасте 39 лет и младше по годам в процентах.

Из рис. 8 видно, что доля исследователей возраста 39 лет и младше будет снижаться, вопреки установкам ГП НТР.

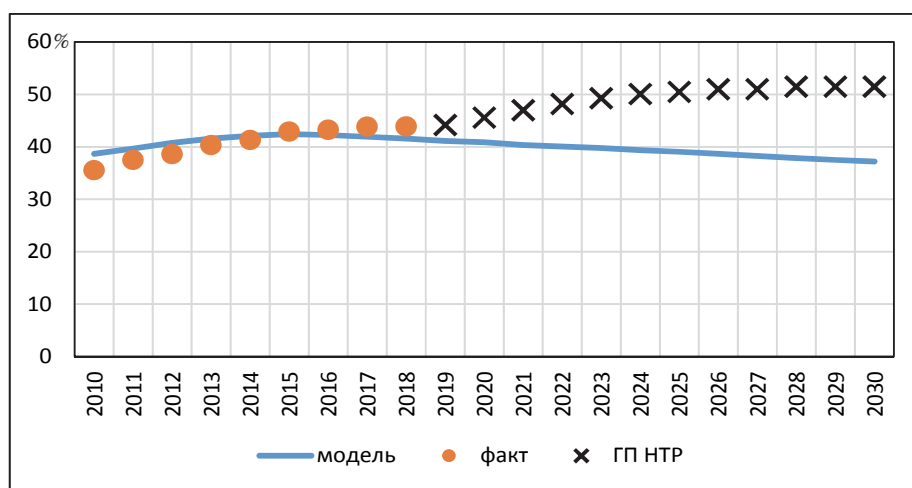


Рис. 8. Модельные, фактические и ожидаемые по ГП НТР доли исследователей в возрасте 39 лет и младше

На рис. 9 показаны фактические, модельные и ожидаемые по ГП НТР значения количества исследователей — Ph. D., т. е. кандидатов и докторов наук, в возрасте 39 лет и младше, тыс. чел.

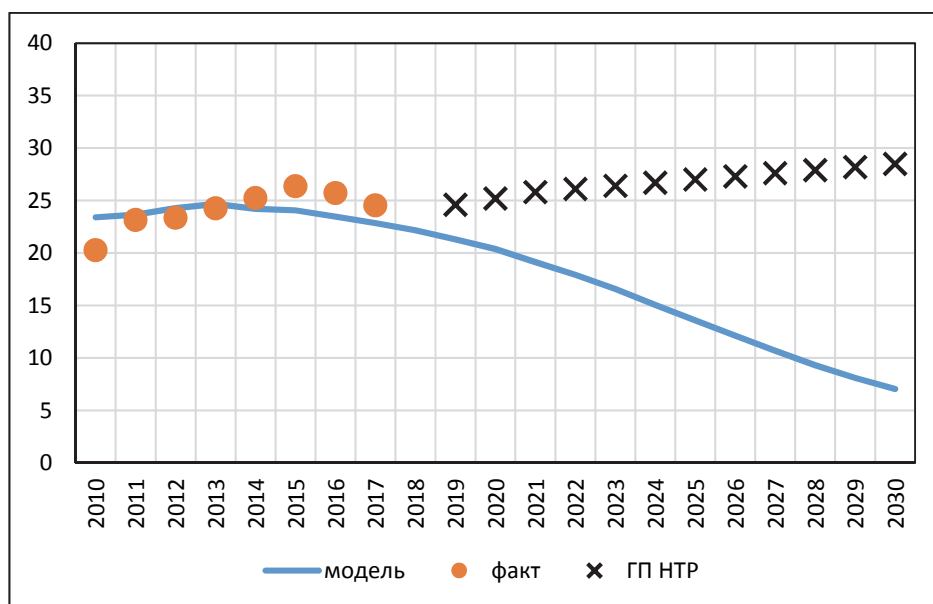


Рис. 9. Количество исследователей – Ph.D. – в возрасте 39 лет и младше

В 2017 г. количество «молодых» (в возрасте 39 лет и младше) исследователей – Ph.D. – составляло 24,5 тыс. чел. В 2030 г. модельное значение этого показателя составит 7,1 тыс. чел. Модель показывает, что количество исследователей – Ph.D. – возраста 39 лет и младше до 2030 г. будет снижаться.

Заключение

В качестве выводов по факту проведенных исследований можно обоснованно предположить, что индикаторы ГП НТР, которые зависят не только от мер государственной поддержки исследований и разработок, но и от складывающейся неблагоприятной демографической ситуации, достигнуты не будут. Очевидно, что для достижения таких индикаторов должны быть предприняты дополнительные усилия со стороны исполнителей ГП НТР. Вместе с тем рост количества занятых исследованиями, разработками и технологическим предпринимательством более чем на 10 % по отношению к началу реализации ГП НТР возможен, что отражает мировую тенденцию к усилению роли науки в развитии общества.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 29.03.2019 № 377 «Об утверждении Государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (ред., утв. Постановлением Правительства РФ от 31.03.2020 № 390). URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=350194&fld=134&dst=100047,0&rnd=0.02430725466004313#020087617666097435> (дата обращения: 30.04.2020).
2. Международная стандартная классификация образования МСКО-2011/ Институт статистики ЮНЕСКО. 87 с. URL: <http://asv.mgsu.ru/universityabout/UMO-ASV/dokumenty/intrerdok/MSKO-2011.pdf> (дата обращения: 30.04.2020).
3. Индикаторы образования: стат. сб. НИУ ВШЭ. 2018. URL: <https://www.hse.ru> (дата обращения: 27.04.2020).
4. Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней».

5. Зубарев А.П., Скуратов А.К., Реймер К., Чернова И.Н. Моделирование возрастной структуры и мобильности научных кадров // Математическое моделирование. 2018. Т. 30. № 3. С. 67–82.
6. Орлов Ю.Н., Суслин В.М. Кинетические уравнения в нелинейных моделях демографии / Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2001. 047.
7. Lotka A.J. Relation between birth rate and death rates // Science. 1907. V. 26.
8. Lotka A.J., Sharpe F.R. A problem in age-distribution // Philosophical Magazine. 1911. V. 21.
9. Калиткин Н.Н., Корякин П.В. Численные методы: в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учеб. для студентов учреждений выс. проф. обр. М.: Академия, 2013. 304 с.
10. Всероссийская перепись населения 2010 г. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (дата обращения: 30.04.2020).
11. Статистические сборники ВШЭ. Индикаторы науки. URL: <https://www.hse.ru/primarydata/in2019> (дата обращения: 30.04.2020).
12. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Форма ВПО-1 «Сведения о деятельности образовательного учреждения, реализующего программы высшего профессионального образования». URL: <https://minobrnauki.gov.ru/ru/activity/statan/stat/highed> (дата обращения: 30.04.2020).

References

1. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 29.03.2019 No. 377 «Ob utverzhdenii Gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii «Nauchno-tekhnologicheskoe razvitie Rossiyskoy Federatsii» (red., utv. Postanovleniem Pravitel'stva RF ot 31.03.2020 No. 390)* [Decree of the Government of the Russian Federation of March 29, 2019 No. 377 «On approval of the State Program of the Russian Federation «Scientific and technological development of the Russian Federation» (as amended, approved by Decree of the Government of the Russian Federation of March 31, 2020 No. 390)]. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=350194&fld=134&dst=100047,0&rnd=0.02430725466004313#020087617666097435> (accessed: 30.04.2020).
2. *Mezhdunarodnaya standartnaya klassifikatsiya obrazovaniya MSKO-2011* [International Standard Classification of Education ISCED-2011] *Institut statistiki YuNESKO* [Institute of UNESCO Statistics]. 87 p. Available at: <http://asv.mgsu.ru/universityabout/UMO-ASV/dokumenty/intredok/MSKO-2011.pdf> (accessed: 30.04.2020).
3. *Indikatory obrazovaniya: stat. sb. NIU VShE* [Education indicators: stat. Sat HSE] (2018). Available at: <https://www.hse.ru> (accessed: 27.04.2020).
4. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 24.09.2013 No. 842 «O poryadke prisuzhdeniya uchenykh stepeney»* [Decree of the Government of the Russian Federation of September 24, 2013 No. 842 «On the procedure for awarding academic degrees»].
5. Zubarev A.P., Skuratov A.K., Reimer K., Chernova I.N. (2018) *Modelirovanie vozrastnoy struktury i mobil'nosti nauchnykh kadrov* [Modeling the age structure and mobility of scientific personnel] *Matematicheskoe modelirovanie* [Mathematical modeling]. Vol. 30. No. 3. P. 67–82.
6. Orlov Yu.N., Suslin V.M. (2001) *Kineticheskie uravneniya v nelineynykh modelyakh demografii* [Kinetic equations in nonlinear demographic model] *Preprinty IPM im. M.V. Keldysha RAN* [KIAM Preprints M.V. Keldysh RAS]. 047.
7. Lotka A.J. (1907) Relation between birth rate and death rates. Science. V. 26.
8. Lotka A.J., Sharpe F.R. (1911) A problem in age-distribution. Philosophical Magazine. V. 21.
9. Kalitkin N.N., Koryakin P.V. (2013) *Chislennyye metody: v 2 kn. Kn. 2. Metody matematicheskoy fiziki: ucheb. dlya studentov uchrezhdeniy vys. prof. obr.* [Numerical methods: in 2 books. Prince 2. Methods of mathematical physics: textbook for students of institutions of higher prof. education] *Akademiya* [Akademiya]. Moscow. P. 304.
10. *Vserossiyskaya perepis' naseleniya 2010 g.* [All-Russian Population Census 2010]. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (accessed: 30.04.2020).
11. *Statisticheskie sborniki VShE. Indikatory nauki* [HSE Statistical Collections. Indicators of science]. Available at: <https://www.hse.ru/primarydata/in2019> (accessed: 30.04.2020).

12. *Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii. Forma VPO-1 «Svedeniya o deyatelnosti obrazovatel'nogo uchrezhdeniya, realizuyushchego programmy vysshego professional'nogo obrazovaniya»* [The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Form VPO-1 «Information on the activities of an educational institution implementing a program of higher professional education»]. Available at: <https://minobrnauki.gov.ru/ru/activity/statan/stat/highed> (accessed: 30.04.2020).

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-132-143

МЕТОД УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА РАСТЕНИЯ-ФИТОСОРБЕНТЫ ФИЗИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

Л.Н. Ольшанская, проф. каф. Саратовского государственного технического университета (ФГБОУ ВО СГТУ) им. Гагарина Ю.А., д-р хим. наук, проф., ecos123@mail.ru

Р.Ш. Валиев, инж. Саратовского государственного технического университета ФГБОУ ВО СГТУ им. Гагарина Ю.А., канд. биол. наук, rw_84@mail.ru

Т.В. Осипова, вед. аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, osipovatv@extech.ru

Рецензент: В.М. Питулько

Статья посвящена проблеме повышения эффективности очистки природных и сточных вод от ионов тяжелых металлов методом электрохимической фитореимедиаии. Представлены результаты исследований по управлению процессами фитореимедиаии путем воздействия на высшие водные растения внешними физическими полями (постоянное магнитное поле, сочетанное воздействие постоянного магнитного поля и геомагнитного поля, постоянного магнитного поля и слабых электрических (j) полей). Экспериментально подтвержден эффект ускорения процесса сорбции ионов тяжелых металлов при воздействии внешних физических полей на растения ряски малой (Lemna minor). Определены рациональные условия для управления процессами избирательности и увеличения скорости электрохимической фитореимедиаии и полноты извлечения ионов тяжелых металлов из загрязненных вод с помощью высших водных растений. Предложена принципиальная технологическая схема очистки сточных вод от тяжелых металлов методом фитореимедиаии с использованием биопруда/отстойника, заселенного высшими водными растениями.

Ключевые слова: очистка сточных вод, фитореимедиаия, тяжелые металлы, высшие водные растения, ряска малая, постоянное магнитное поле, геомагнитное поле, слабые электрические поля, биопотенциал, диффузия катионов, биопруд.

A METHOD FOR ACCELERATING ELECTROCHEMICAL PHYTOREMEDIATION OF WASTEWATER FROM HEAVY METAL IONS WHEN EXPOSED TO PHYTOSORBENT PLANTS BY PHYSICAL FIELDS

L.N. Olshanskaya, Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Ph. D., Professor, ecos123@mail.ru

R.Sh. Valiev, Engineer, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Doctor of Biology, rw_84@mail.ru

T.V. Osipova, Leading Analyst, SRI FRCEC, osipovatv@extech.ru

The article is devoted to the problem of increasing the efficiency of purification of natural and waste waters from heavy metal ions by the method of electrochemical phytoremediation. The results of studies on the management of phytoremediation processes by exposure to higher aquatic plants by external physical fields (constant magnetic field, combined exposure to a constant magnetic field

*and geomagnetic field, constant magnetic field and weak electric (j) fields) are presented. The effect of accelerating the sorption of heavy metal ions under the influence of external physical fields on plants of *Lemna minor* has been experimentally confirmed. Rational conditions for controlling the processes of selectivity and increasing the rate of electrochemical phytoremediation and the completeness of the extraction of heavy metal ions from contaminated waters using higher aquatic plants are determined. A flow chart of the treatment of wastewater from heavy metals by the phytoremediation method using a biopond/settler populated by higher aquatic plants is proposed.*

Keywords: wastewater treatment, phytoremediation, heavy metals, higher aquatic plants, *Lemna minor*, constant magnetic field, geomagnetic field, weak electric fields, biopotential, cation diffusion, biopond.

Введение

Анализ тенденций научно-технического и технологического развития показывает, что проблема загрязнения водных ресурсов давно волнует ученых всего мира. Для многих стран эта проблема создает угрозу национальной безопасности, и для ее решения разрабатываются новые и совершенствуются существующие методы и технологии очистки и доочистки загрязненных сточных вод (СВ). В нашей стране, по данным Российского статистического ежегодника, общий объем сброса сточных вод в 2017 г. составил 42,6 млрд м³, в 2018 г. — 40,1 млрд м³. При этом содержание в сточных водах тяжелых металлов (ТМ) — свинца и ртути — составило 6,2 и 4,2 т соответственно [1].

Несмотря на достаточно крупные государственные инвестиции, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование водных ресурсов (в 2017 г. — 66 496,5 млн руб.; в 2018 г. — 62 749,7 млн руб.), введенные в действие в этот же период новые мощности обеспечили в 2017 г. очистку дополнительно 1,2 млн м³/сут. воды, а в 2018 г. — 0,8 млн м³/сут., что для Российской Федерации нельзя признать достаточным [1].

В связи с повсеместным ужесточением требований к качеству воды многие традиционные методы водоочистки не могут обеспечить необходимую глубину очистки природных и сточных вод и зачастую нерентабельны с экономической точки зрения. Поэтому усилия ученых и специалистов направлены на поиск новых, более эффективных и экономичных методов очистки сточных вод от различных загрязнений, включая ТМ. Одним из таких методов является фиторемедиация — использование высших водных растений (ВВР) и микроорганизмов для очистки загрязненных почв, грунтовых и сточных вод. Фиторемедиация намного дешевле физико-химических методов очистки [2], процесс извлечения поллютантов происходит непосредственно на месте их локализации *in situ*. Источником энергии для процесса является Солнце.

В России исследования и разработки по данной тематике ведутся в различных научно-исследовательских центрах и институтах, специализирующихся на решении проблем защиты окружающей среды. Свой вклад в решение проблемы вносят академии и университеты: Новосибирский институт цитологии и генетики СО РАН разработал технологию очистки СВ различного происхождения с помощью водяного гиацинта (эйхорния отличная) [3]; в Пермском научно-исследовательском политехническом университете предложено извлекать из очищенных СВ биогенные вещества с помощью валлиснерии спиральной и рдеста курчавого [4]; в Пермском государственном педагогическом университете ВВР используют для очистки олиготрофных сточных и природных вод [5]; ученые Белгородского государственного педагогического университета разработали новый способ биологической очистки сточных вод и устройство для его осуществления [6]. В Саратовском государственном техническом университете им. Гагарина Ю.А. в течение ряда лет проводятся исследования и получены результаты по ускорению процессов очистки природных и сточных вод методом электрохимической фиторемедиации путем воздействия на ВВР (рясковые, эйхорния,

лимнофила, криптокарина) внешними физическими полями (ВФП: постоянное магнитное поле (ПМП), ультрафиолетовое (УФ), инфракрасное (ИК), лазерное излучение) [7–11].

Во всех фиторемедиационных технологиях, особенно в процессах очистки загрязненных вод от ионов тяжелых металлов (ИТМ) огромную роль играет растительная клетка, которая выступает в качестве биоэлектрохимического сенсора-нанореактора, распознающего и извлекающего катионы металлов из сточных и промывных вод.

Растительная клетка представляет собой электрохимически активную мембрану (рис. 1). Для того чтобы проникнуть в клетку, ионы тяжелых металлов, как, впрочем, и любые другие вещества, должны пройти клеточные стенки, которые легко проницаемы для ионов из-за наличия сквозных пор, диаметр которых (3–4 нм) на порядок больше, чем размеры гидратированных ионов (K^+ – 0,54 нм, Cd^{2+} – 0,46 нм, Zn^{2+} – 0,42 нм, Cu^{2+} – 0,38 нм) [12]). Клеточные мембраны обладают сложной структурой и химизмом, которые оказывают влияние на метаболизм ТМ. В клеточной стенке имеются белки, пектины, фосфолипиды, микрофибриллы целлюлозы и др., содержащие фиксированные отрицательно заряженные группы (прежде всего – карбоксильные) [13]. Они определяют катионно-обменную способность и влияют на накопление ионов в клетке.

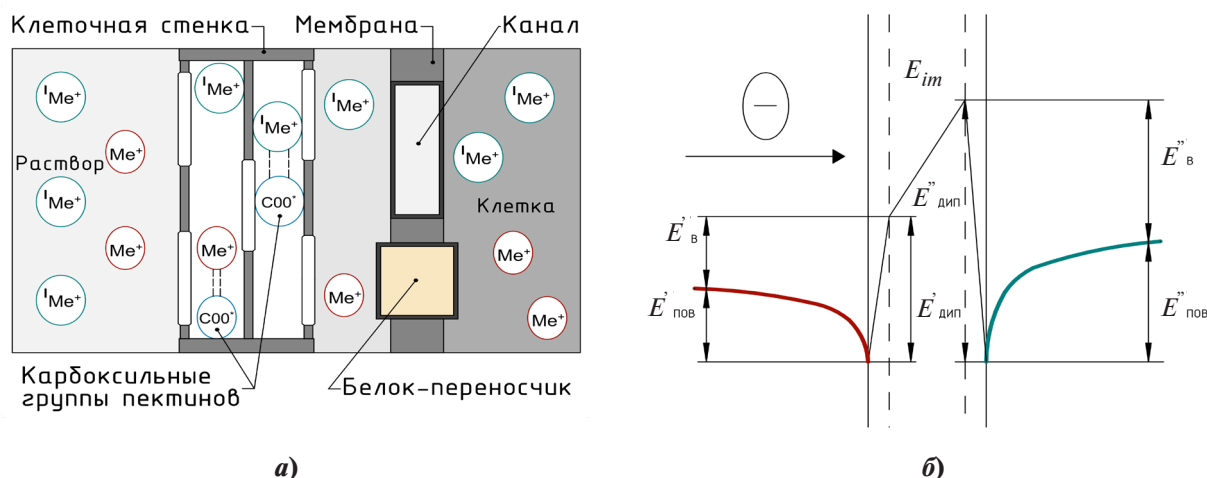


Рис. 1. Принципиальная схема работы биоэлектрохимического нанореактора – растительной клетки (а); распределение потенциалов на клеточной мембране (б):

E_v, E_v'' – граничные потенциалы; $E_{пов}, E_{пов}''$ – поверхностные скачки потенциала; $E_{им}$ – внутримембранный потенциал; $E_{дип}, E_{дип}''$ – дипольные потенциалы

Перенос ионов, крупных полярных молекул и др. обеспечивается преимущественно посредством специальных интегральных белков [14]. Перенос может протекать как по градиенту его электрохимического потенциала, так и против него. В первом случае от клетки не требуются затраты энергии, процесс протекает пассивно и представляет собой диффузию. Если вещество переносится против градиента, то это активный транспорт, и клетка вынуждена затратить для его осуществления метаболическую энергию.

Транспорт заряженных частиц через растительную клетку осуществляется за счет биоэлектрического потенциала, который создается на границе раздела «клетка/раствор», величина его изменяется от –60 до –260 мВ [15] и зависит от многих факторов, в том числе от силы и длительности воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ). Благодаря диффузионно-электрохимическому механизму проницаемости клеточных мембран растений

происходит извлечение катионов ТМ из растворов растениями (эйхорния, рясковые). Растительная клетка при этом является природным электрохимическим реактором, способным эффективно извлекать и утилизировать ТМ.

Потенциал обуславливает способность клеток и тканей быть источниками электрического тока и выступать в качестве электрических проводников второго рода с неоднородной структурой (в отличие от металлов, являющихся электрическими проводниками первого рода с однородной структурой) [15]. Механизмы поступления металлов в растения различные, однако, попадая в клетки, они взаимодействуют с ее компонентами, инактивируя многие ферменты. Это вызывает разнообразные нарушения метаболизма клеток, с чем связана высокая токсичность ТМ [16].

Известно, что в растительных организмах в стрессовых условиях развиваются более быстрые сдвиги метаболизма, которые проявляются в изменениях электрической активности клеток и тканей (биопотенциалов) [17, 18]. Однако в литературе встречаются лишь некоторые сведения о влиянии условий среды и внешних физических полей (магнитные, электрические и др.) на биопотенциалы рясковых. Вместе с тем известно, что ВФП создают дополнительные электрические токи в биообъектах и, изменяя величины мембранного потенциала, могут управлять течением процессов роста, развития живых организмов, оказывая как стимулирующее, так и тормозящее воздействие [16, 17].

Цель настоящей работы заключается в исследовании повышения эффективности очистки природных и сточных вод от ионов тяжелых металлов методом электрохимической фиторемедиации путем изменения поверхностных потенциалов растений ряски малой (*Lemna minor*) под влиянием различных внешних физических полей (постоянное магнитное поле (ПМП), сочетанного воздействия ПМП и геомагнитного поля Земли (ГМПЗ), ПМП и слабых электрических (j) полей).

Экспериментальные данные и их обсуждение

Объектом исследования служили: 1) высшее водное растение — ряска малая (*Lemna minor*), районированная в Саратовской обл.; 2) модельные растворы сульфатов меди (концентрация катионов $C_{Cu^{2+}} = 1$ мг/л) и кадмия ($C_{Cd^{2+}} = 10$ мг/л).

Растения выращивали в растворе Хогланда¹, замена которого производилась один раз в неделю. Культивирование проводили в нестерильных условиях, в стеклянной емкости при комбинированном освещении и температуре $23 \pm 2^\circ\text{C}$. На рис. 2а представлена схема измерения поверхностного потенциала листочков ряски.

Анализ изменения величины поверхностного потенциала растения в сульфатном растворе кадмия показал (см. рис. 2б), что начальные величины потенциала листочков без воздействия ПМП были на 30–40 мВ выше, а с течением времени значения потенциалов оказались на 50–60 мВ ниже. Величины E возрастали до ~280 мВ в течение первых 10 мин, оставаясь стабильными до ~30 мин от начала измерений. Затем наблюдался скачок потенциала до значений 320 мВ к 1,0–1,5 ч, после чего продолжалось возрастание биопотенциала до ~350 мВ, и далее в оставшееся время наблюдений его величина стабилизировалась. Повышение биопотенциала может быть связано с транспортом катионов кадмия и сульфат-аниона. В случае воздействия постоянного магнитного поля напряженностью 2 кА/м в этом же растворе поверхностный потенциал растения повторял ход изменения потенциала без магнитного облучения. Значимые различия наблюдали лишь через 2 ч от начала измерений: с магнитным полем значение потенциала составило ~386 мВ, в то время как без обработки растения в ПМП его величина была на 40 мВ меньше: ~341 мВ. Возможно, ПМП ускоряет диффузию анионов, и полученные результаты свидетельствуют об усилении воздействия магнитной обработки растворов на процессы электросорбции металлов растением.

¹ Раствор питательных веществ для гидропоники, разработанный Хогландом и Арноном в 1938 г. Рецепт раствора был пересмотрен Арноном в 1950 г.

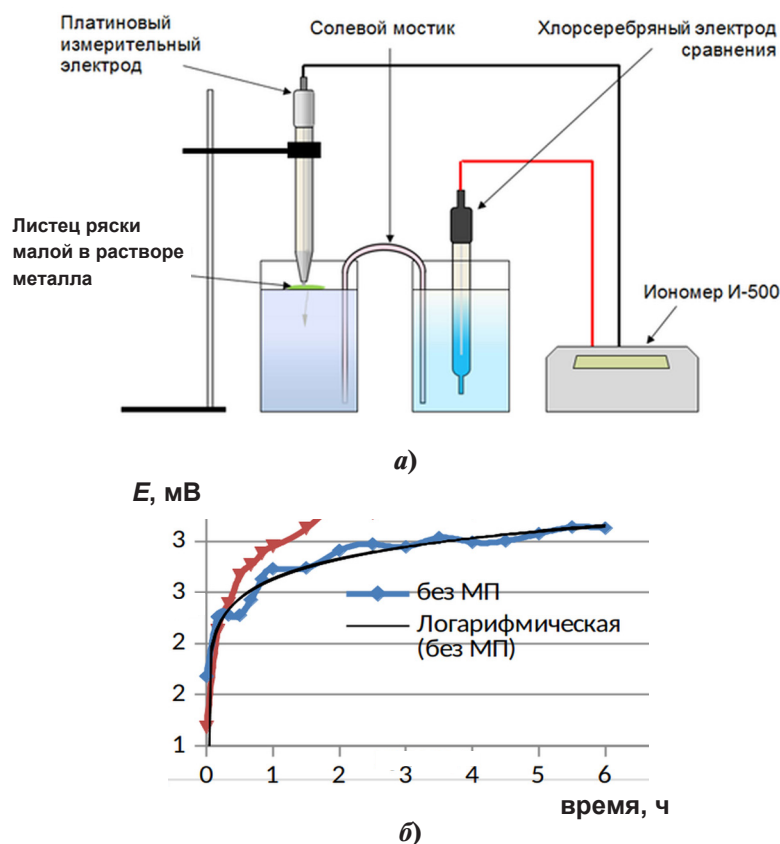


Рис. 2. Схема измерения биопотенциала листочков ряски (а); динамика поверхностных потенциалов (E , мВ) листочков ряски малой в сульфатном растворе кадмия, $C_{Cd^{2+}} = 10$ мг/л (б)

При изучении влияния физических воздействий на процессы электрохимической фиторемедиации меди из загрязненных вод ВВР одинакового срока вызревания массой 20 г/л помещали в модельные растворы $CuSO_4$ с концентрацией катиона Cu^{2+} 1 мг/л и подвергали облучению в течение различного времени. По истечении определенного времени выдержки растений определяли остаточные концентрации катионов меди в растворе. При всех измерениях проводили не менее 3–5 параллельных опытов.

При исследовании влияния направленного воздействия ПМП различной напряженности на процессы фиторемедиации ионов меди было установлено, что при ПМП 2,0 кА/м ряска сорбирует ионы меди в большем количестве (на 17–23 %), чем при действии полей другой напряженности или без воздействия ПМП. Это может быть обусловлено более эффективным поступлением меди в растения и распределением в клетках, тканях и органах [18].

Анализ полученных данных (рис. 3) указывает на усиление воздействия магнитной обработки растворов на процессы электросорбции. Данный факт можно также объяснить «ионной» гипотезой (Классен А.) влияния магнитного поля на растворы (рис. 4). По данной теории, поле оказывает особое влияние на гидратацию ионов [19].

Чем больше и устойчивее гидратная оболочка, тем труднее ионам вступать в реакции или диффундировать. Под влиянием магнитного поля происходит временная деформация гидратных оболочек ионов, изменяется их распределение в воде, они как бы разворачиваются к полюсам магнитов под действием силы Лоренца, при этом образуются пластинчатые домены ориентированных молекул воды, т. е. происходит процесс омагничивания.

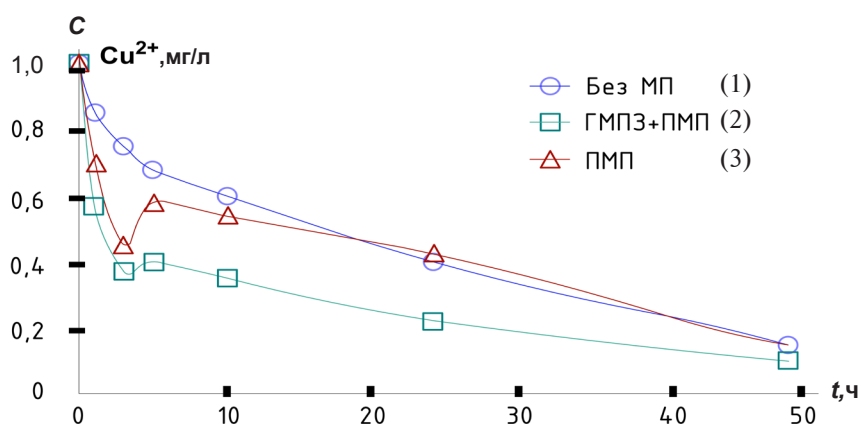


Рис. 3. Зависимость изменения концентрации меди ($C_{нач} Cu^{2+} = 1$ мг/л) в растворе при выдержке в нем ряски:

1 – без МП; 2 – с совпадением ГМПЗ и ПМП; 3 – при воздействии ПМП с $H = 2$ кА/м

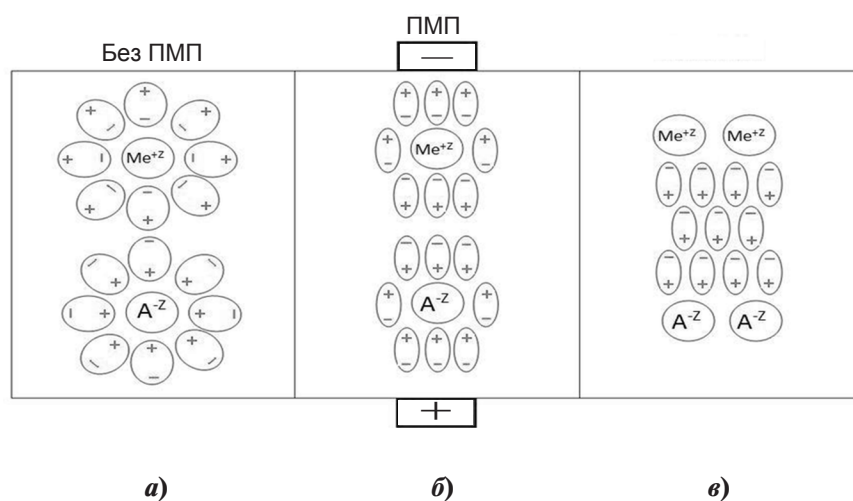


Рис. 4. Схема механизма омагничивания раствора, содержащего соль металла:

а) гидратированные ионы в водном растворе без воздействия ПМП; б) структурирование гидратной оболочки в ПМП; в) образование пластинчатых доменов ориентированных молекул в омагниченной воде

В этом случае достигаются уменьшение степени гидратации ионов, ускорение диффузии катионов к клеточной мембране и повышение эффективности их извлечения растением. Кроме этого, известно, что ПМП воздействует на объемные электрические заряды за счет энергии живой системы, накапливающейся в ходе электрохимических реакций, и разделения зарядов, протекающих в мембране. Магнитные поля в разной степени влияют на белковые образования растительного происхождения, выбивая у них электроны, которые перемещаются к поверхности клеточной мембраны, усиливая отрицательный заряд и способствуя тем самым формированию слоя с высоким значением разности потенциалов на границе «клетка/раствор» [20]. При этом ускоряются подвод катионов меди и их проникновение внутрь клетки за счет отрицательно заряженной внутренней поверхности клеточной мембраны.

Исследование совместного влияния ПМП и ГМПЗ (при совпадении направления севера прибора с севером ГМПЗ) на процессы поглощения меди из сульфатных растворов рясковой показал (см. рис. 3), что в случае совпадения полей очистка воды происходит более интенсивно – примерно в 1,3–1,5 раза. После 24 ч содержание меди уменьшается почти в 2 раза по сравнению с экспериментом без совмещения направления магнитных полей. Полученный эффект можно объяснить тем, что совместное действие полей оказывает благоприятное влияние на растительную клетку, а именно: на ускорение процесса фиторемедиации.

Далее было изучено влияние слабых электрических (j) полей и сочетанное влияние ПМП и j (рис. 5) на процессы извлечения меди рясковой.

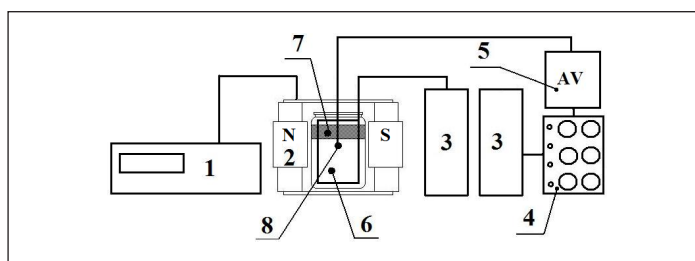


Рис. 5. Схема для исследования действия на растения ПМП + j :

1 – источник питания постоянного тока Б5-43; 2 – магнитная катушка; 3 – батареи НК; 4 – магазин сопротивлений Р-33; 5 – вольтамперметр; 6 – электроды А1; 7 – ВВР; 8 – графитовый электрод

Растения помещали в электрохимическую ячейку (с алюминиевым катодом и графитовым анодом, находящимися в рабочем растворе CuSO_4) и воздействовали на растения заданными плотностями тока j , мкА/см^2 : 80; 240; 480. Ячейку помещали в установку, создающую ПМП напряженностью $H = 2 \text{ кА/м}$. После выдержки растений в течение различного времени определяли конечную концентрацию меди в растворе методом инверсионной хроновольтамперометрии. Полученные данные представлены на рис. 6 и 7.

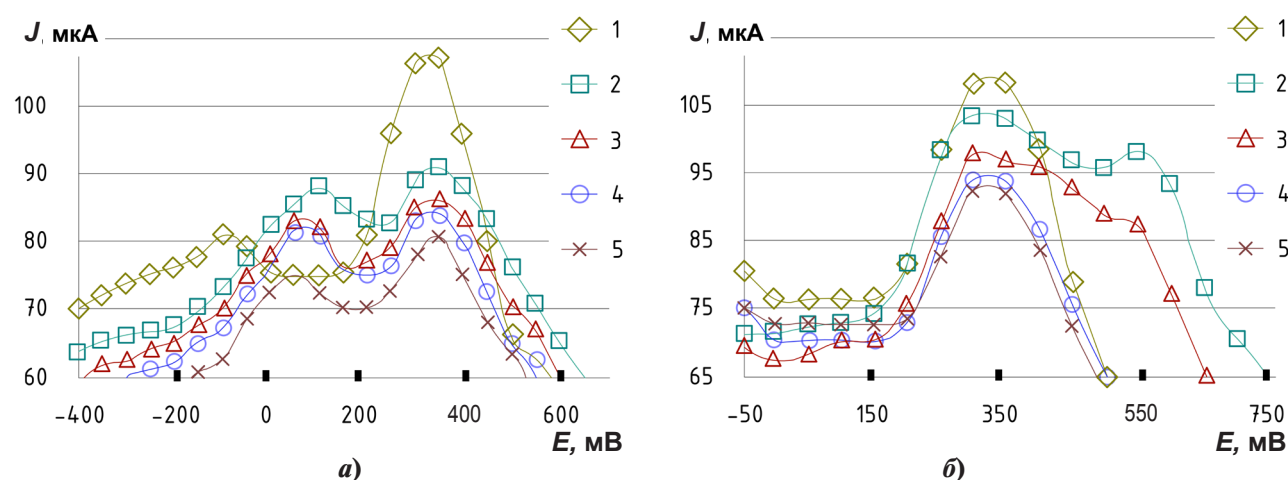


Рис. 6. Потенциодинамические кривые J , E , полученные при извлечении Cu^{2+} из растворов CuSO_4 ($C_{\text{нач}} = 1 \text{ мг/л}$) при различном времени выдержки ряски (t , ч: 1–0; 2–1; 3–3; 4–5; 5–24): а) при плотности тока 240 мкА/см^2 ; б) при совместном воздействии тока $j = 240 \text{ мкА/см}^2$ и ПМП $2,0 \text{ кА/м}$

Полученные данные по влиянию величин тока на процесс извлечения меди ряской позволили установить, что максимальный эффект достигался при воздействии $j = 240 \text{ мкА/см}^2$ в течение 48 ч (см. рис. 7). Процессы, связанные с изменениями в клеточной мембране под действием электрического поля, называют электропорацией [21, 22]. При этом в мембране возникает локальная перестройка структуры, приводящая к расширению пор, появлению сквозных каналов, по которым с высокими скоростями перемещаются микро- и макрочастицы (например, ионы металлов). Кроме этого, растительные клеточные мембраны способны концентрировать электрические поля, и в результате приложения к клеткам дополнительного внешнего поля происходит рост проницаемости мембран, что благоприятно воздействует на процессы электросорбции ионов металлов. При высокой плотности поля (480 мкА/см^2) может достигаться необратимое разрушение части клеток, что снижает сорбционную способность и зачастую приводит к электрическому пробоем мембран.

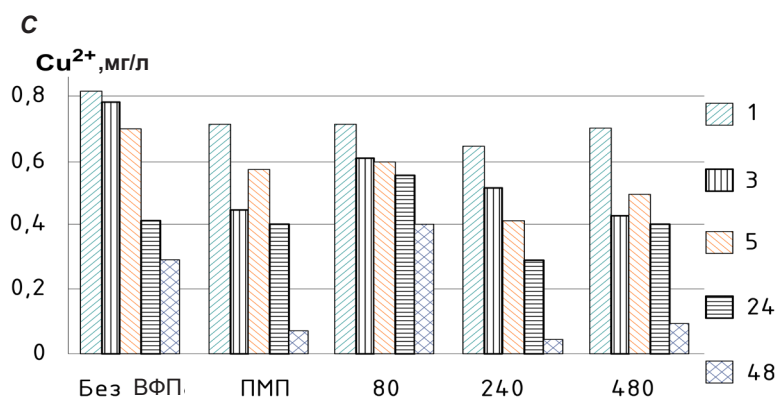


Рис. 7. Динамика изменения концентрации меди ($C_{\text{нач}} = 1 \text{ мг/л Cu}^{2+}$) при извлечении ее ряской без ВФП и при сочетанном воздействии ПМП и ПМП + j в течение различного времени (1–48 ч)

Для использования процессов электрохимической фиторемедиации нами предложена схема очистки СВ от ИТМ (медь) с помощью ВВР (рис. 8).

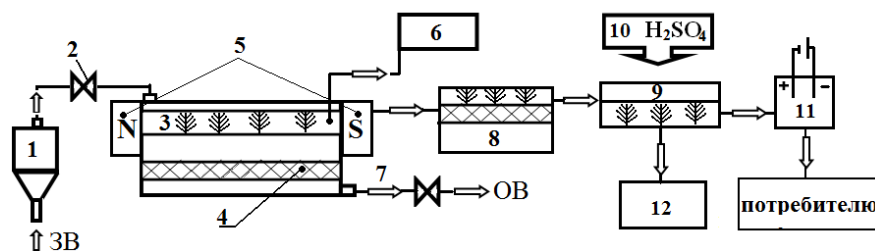


Рис. 8. Принципиальная технологическая схема фиторемедиации металлов из СВ при использовании биопруда/отстойника

Процесс с использованием постоянного магнитного поля включает следующие стадии: сбор загрязненной воды в усреднитель (1); перекачку СВ насосом (2) в искусственный биопруд/отстойник (3), заселенный ряской и оборудованный сетчатым поддоном (4) для сбора

и удержания ВВР при сбросе очищенной воды; обработку растения в водной среде постоянным магнитным полем $H = 2 \text{ кА/м}$ (5); контроль остаточного содержания катионов меди в растворе с помощью оборудования (6) для контроля остаточного содержания катионов меди в растворе; сброс очищенной воды насосом (7) в водоем; подъем отработанной фитомассы поддоном и перенос ее из биопруда в ванну (9) для приготовления раствора элюата (вытяжка CuSO_4 из фитомассы); дозирование серной кислоты (10); перекачку полученного раствора CuSO_4 в ванну электролиза (11), где на катоде выделяется медь, направляемая потребителю; обезвреженная фитомасса собирается в емкость (12) и направляется на утилизацию.

Заключение

1. Проведенные исследования по изучению влияния внешних физических полей различной природы на изменение мембранных потенциалов растений ряски (*Lemna minor*) позволили выбрать оптимальные условия, управляющие процессами избирательности и скорости электрохимической фиторемедиации ионов тяжелых металлов из загрязненных вод с помощью высших водных растений. Показано, что количество извлекаемого металла зависит от предварительной обработки раствора и растения различными физическими полями и убывает в ряду: ПМП + ГМПЗ > ПМП > ПМП + j > без ВФП.

2. Магнитные поля оказывают влияние на белки, выбивая у них электроны и способствуя формированию на границе «клетка/раствор» слоя с высокой разностью потенциалов. Это ускоряет приток положительно заряженных катионов металлов и их проникновение внутрь клетки за счет отрицательно заряженной внутренней поверхности клеточной мембраны. Совместное влияние ПМП (2 кА/м) и ГМПЗ повышает интенсивность очистки в 1,3–1,5 раза, что обусловлено благоприятным взаимным действием полей на скорость электрохимического переноса ИТМ.

3. Эффект действия ПМП, вероятнее всего, обусловлен образованием пластинчатых доменов ориентированных молекул воды вследствие ее омагничивания. При этом достигаются уменьшение степени гидратации катионов, повышение скорости их диффузии к клеточной мембране, что вызывает изменение поверхностного биопотенциала и ускоряет процесс электросорбции катионов растениями.

4. При сочетанном действии ПМП (2 кА/м) и плотности тока (240 мкА/см^2) определяющую роль играют процессы электропорации: в клеточной мембране происходит локальная перестройка структуры, изменяется величина потенциала на мембране, расширяются ее поры, появляются сквозные каналы, по которым с высокими скоростями перемещаются катионы, о чем свидетельствует ускорение процесса электрохимической фиторемедиации металлов из сточных вод.

5. Для использования процессов электрохимической фиторемедиации предложена схема очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов (на примере меди) при воздействии постоянного магнитного поля на высшие водные растения, заселенные в биопруд/отстойник.

Полученные результаты могут быть интересны российским и зарубежным исследователям, специалистам экологических служб и контроля водных объектов.

Список литературы

1. Российский статистический ежегодник. 2019: стат. сб. М.: Росстат, 2019. 708 с.
2. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М.: Финансы и статистика, 2000. С.116–119.
3. Технология создания биопрудов для очистки сточных вод / Ин-т цитологии и генетики СО РАН. URL: <http://www.bionet.nsc.ru> (дата обращения: 30.03.2020); Информационный обзор способа очистки (доочистки) вод с применением эйхорнии (водного гиацинта). URL: <http://www.essentuki.com> (дата обращения: 30.03.2020).

4. Вайсман Я.И., Рудакова Л.В., Калинина Е.В. Использование водных растений для доочистки сточных вод // Экология и промышленность России. 2006. № 11. С. 9–11.
5. Золотухин И.А. Растения как средство очистки олиготрофных сточных и природных вод: учеб. пособие. Пермь: Пермский гос. пед. ун-т, 2001. 235 с.
6. Патент 2107041 Российская Федерация МПК C02F3/32. Способ биологической очистки сточных вод и устройство для его осуществления / Колчанов А.В.; заявитель и патентообладатель — Белгородский гос. пед. ун-т / № 95116908/25, заявл. 03.10.1995; опубл. 20.03.1998. URL: www1.fips.ru (дата обращения: 30.03.2020).
7. Олышанская Л.Н., Собгайда Н.А. Фиторемедиация металлов из вод. Влияние внешних физических полей на ускорение процессов фиторемедиации: монография. Berlin: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 156 p.
8. Стоянов А.В., Собгайда Н.А., Олышанская Л.Н. Влияние лазерного излучения на процессы фиторемедиации меди из сточных вод эйхорнией // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. № 6. С. 38–41.
9. Валиев Р.Ш., Олышанская Л.Н. Биоэлектрогенез ряски крошечной *Lemna perpusilla* Torr. в процессе фиторемедиации вод от солей меди // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. Вып. 5. С. 49–53.
10. Olshanskaya L.N., Titorenko O.V., Ereemeeva Yu.A. Influence of a Constant Magnetic Field and Ultraviolet Radiation on Growth of Higher Plants and Phytoremediation of Soil from Oil Products // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol. 51. Is. 5. P. 361–365.
11. Олышанская Л.Н., Собгайда Н.А., Валиев Р.Ш. Извлечение тяжелых металлов из загрязненных стоков с использованием адсорбентов и фитосорбентов // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 11. С. 18–23.
12. Смирнов, П.Р., Тростин В.Н. Структура концентрированных водных растворов электролитов с кислородосодержащими анионами. Иваново: ИХНР РАН, 1994. 260 с.
13. Геннис Р. Биомембраны: молекулярная структура и функции. М.: Мир, 1997. 624 с.
14. Антонов В.Ф. Мембранный транспорт // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 6. С. 14–20.
15. Опритов В.А., Пятагин С.С., Ретиван В.Г. Биоэлектрогенез у высших растений. М.: Наука, 1991. 214 с.
16. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водоемах. М.: Гидрометеиздат, 1986. 286 с.
17. Воденеев В.А., Опритов В.А., Сухов В.С. Генерация потенциалов действия у высших растений при стрессе // Физико-химические основы структурно-функциональной организации растений: докл. Междунар. научной конф. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2008. С. 113–114.
18. Демидчик В.В. Поступление меди в растения и распределение в клетках, тканях и органах // Успехи современной биологии. 2001. Т. 121. № 2. С. 117–121.
19. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1978. 257 с.
20. Мизун Ю.В., Мизун Ю.Г. Тайны будущего. Влияние магнитного поля на растения. М.: Вече, 2000. 172 с. URL: <http://solncev.narod.ru> (дата обращения: 30.03.2020).
21. Weaver J.C., Chizmadzhev Y. Theory of electroporation: A review // Bioelectroch Bioener. 1996. Vol. 41. P. 135–160.
22. Melikov K.C., Frolov V.A., Shcherbakov A.B., et all. Voltage-induced nonconductive prepores and metastable single pores in unmodified planar lipid bilayer // J. Biophys. 2001. Vol. 80. P. 1829–1836.

References

1. *Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik* [Russian statistical yearbook] (2019) Rosstat Stat.Collection. Moscow. P. 708.
2. Protasov V.F. (2000) *Ekologiya, zdorov'e i okhrana okruzhayushchey sredy v Rossii* [Ecology, health and environmental protection in Russia] *Finansy i statistika* [Finance and Statistics]. Moscow. P. 116–119.

3. *Tekhnologiya sozdaniya bioprudov dlya ochistki stochnykh vod* [The technology of creating biological ponds for wastewater treatment] *In-t tsitologii i genetiki SO RAN* [Institute of Cytology and Genetics SB RAS]. Available at: <http://www.bionet.nsc.ru> (accessed date: 30.03.2020). *Informatsionnyy obzor sposoba ochistki (doochistki) vod s primeneniem eykhornii (vodnogo giatsinta)* [Information review of the method of purification (post-treatment) of water using eichornia (water hyacinth)]. Available at: <http://www.essentuki.com> (accessed date: 30.03.2020).
4. Vaysman Ya.I., Rudakova L.V., Kalinina E.V. (2006) *Ispol'zovanie vodnykh rasteniy dlya doochistki stochnykh vod* [The use of water plants for wastewater treatment] *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. No. 11. P. 9–11.
5. Zolotukhin I.A. (2001) *Rasteniya kak sredstvo ochistki oligotrofnykh stochnykh i prirodnnykh vod: ucheb. Posobie* [Plants as a means of purification of oligotrophic wastewater and natural waters: textbook] *Permskiy gos. ped. un-t* [Perm State. Ped. Univ]. Perm. P. 235.
6. Patent 2107041 Russian Federation IPC C02F3/32. *Sposob biologicheskoy ochistki stochnykh vod i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya. Kolchanov A.V* [The method of biological wastewater treatment and device for its implementation. Kolchanov A.V.] Applicant and patent holder – Belgorod state. ped Univ. No. 95116908/25, declared 10.03.1995; publ. 20.03.1998. Available at: www1.fips.ru (accessed date: 30.03.2020).
7. Olshanskaya L.N., Sobgaida N.A. (2012) *Fitoremediatsiya metallov iz vod. Vliyanie vneshnikh fizicheskikh poley na uskorenie protsessov fitoremediatsii: monografiya* [Phytoremediation of metals from water. The influence of external physical fields on the acceleration of phytoremediation processes: monograph]. LAP LAMBERT Academic Publishing. Berlin. P. 156.
8. Stoyanov A.V., Sobgaida N.A., Olshanskaya L.N. (2010) *Vliyanie lazernogo izlucheniya na protsessy fitoremediatsii medi iz stochnykh vod eykhorniey* [The effect of laser radiation on the processes of phytoremediation of copper from wastewater by eichhornium] *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie* [Chemical and Oil and Gas Engineering]. No. 6. P. 38–41.
9. Valiev R.Sh., Olshanskaya L.N. (2015) *Bioelektrogeenez ryaski kroshechnoy Lemna perpusilla Torr. v protsesse fitoremediatsii vod ot soley medi. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Bioelectrogenesis of duckweed tiny Lemna perpusilla Torr. in the process of phytoremediation of water from copper salts] *Izv. vuzov* [University News. Chemistry and chemical technology]. 2015. V. 58. Is. 5. P. 49–53.
10. Olshanskaya L.N., Titorenko O.V., Ereemeeva Yu.A. (2015) Influence of a Constant Magnetic Field and Ultraviolet Radiation on Growth of Higher Plants and Phytoremediation of Soil from Oil Products. *Chemical and Petroleum Engineering*. Vol. 51. Is. 5. P. 361–365.
11. Olshanskaya L.N., Sobgaida N.A., Valiev R.Sh. (2015) *Izвлечение tyazhelykh metallov iz zagryaznennykh stokov s ispol'zovaniem adsorbentov i fitosorbentov* [Rossii Extraction of heavy metals from polluted effluents using adsorbents and phytosorbents] *Ekologiya i promyshlennost'* [Ecology and Industry of Russia]. V. 19. No. 11. P. 18–23.
12. Smirnov P.R., Trostin V.N. (1994) *Struktura kontsentrirrovannykh vodnykh rastvorov elektrolitov s kislorodosoderzhashchimi anionami* [The structure of concentrated aqueous solutions of electrolytes with oxygen-containing anions] *IKhNR RAN* [IHRR RAS]. Ivanovo. P. 260.
13. Gennis R. (1997) *Biomembrany: molekulyarnaya struktura i funktsii* [Biomembranes: molecular structure and functions] *Mir* [Mir]. Moscow. P. 624.
14. Antonov V.F. *Membranny transport* [Membrane transport] (1997) *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal* [Soros Educational Journal]. No. 6. P. 14–20.
15. Opritov V.A., Pyatygin S.S., Retivan V.G. (1991) *Bioelektrogeenez u vysshikh rasteniy* [Bioelectrogenesis in higher plants] *Nauka* [Nauka]. Moscow.
16. Linnik P.N., Nabivanets B.I. (1986) *Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodoemakh* [Forms of metal migration in fresh surface water bodies] *Gidrometeoizdat* [Gidrometeoizdat]. Moscow. P. 286.
17. Vodeneev V.A., Opritov V.A., Sukhov V.S. (2008) *Generatsiya potentsialov deystviya u vysshikh rasteniy pri stresse. Fiziko-khimicheskie osnovy strukturno-funktsional'noy organizatsii rasteniy* [Generation of action potentials in higher plants under stress. Physico-chemical principles of the structural and functional organization

of plants] *Doklad mezhdunar. nauchnoy konf. Izd-vo Ural'skogo un-ta* [Report at Int. scientific conference. Publishing House of the Ural University]. Ekaterinburg. P. 113–114.

18. Demidchik V.V. (2001) *Postuplenie medi v rasteniya i raspredelenie v kletkakh, tkanyakh i organakh* [Copper intake in plants and distribution in cells, tissues and organs] *Uspekhi sovremennoy biologii* [Successes in modern biology]. V. 121. No. 2. P. 117–121.

19. Klassen V.I. (1978) *Omagnichivanie vodnykh sistem* [Magnetization of water systems] *Khimiya* [Chemistry]. Moscow. P. 257.

20. Mizun Yu.V., Mizun Yu.G. (2000) *Tayny budushchego. Vliyanie magnitnogo polya na rasteniya* [Secrets of the future. The effect of a magnetic field on plants] *Veche* [Veche]. Moscow. P. 172. Available at: <http://solncev.narod.ru> (accessed date: 30.03.2020).

21. Weaver J.C., Chizmadzhev Y. (1996) Theory of electroporation: A review. *Bioelectroch Bioener.* Vol. 41. P. 135–160.

22. Melikov K.C., Frolov V.A., Shcherbakov A.V., et al. (2001) Voltage-induced nonconductive prepores and metastable single pores in unmodified planar lipid bilayer. *J. Biophys.* Vol. 80. P. 1829–1836.

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-144-151

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНОПРОИЗВОДСТВ

Л.Н. Ольшанская, зав. каф. Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А., д-р хим. наук, проф., ecos123@mail.ru

И.А. Тильтигин, магистрант Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А., tiltigin1996@mail.ru

Т.В. Осипова, вед. аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, osipovatv@extech.ru

Рецензент: Н.Н. Казанцева

Рассмотрен перспективный метод очистки хромсодержащих сточных вод гальванических производств. Представлены обзор и сравнительный анализ существующих методов и технологий очистки промышленных стоков от хроморганических соединений: реагентных, биологических, ионообменных и др. Показаны преимущества использования комбинированного метода очистки хромсодержащих сточных вод, основанного на электрофлотации с предварительной электрокоагуляцией. Проведена оценка эффективности предлагаемого комбинированного метода и разработана схема электрофлотокоагулятора.

Ключевые слова: хромсодержащие сточные воды, методы очистки, электрокоагуляция, электрофлотация, эффективность очистки.

EFFICIENCY OF CLEANING OF CHROME-CONTAINING WASTE WATER IN GALVANIC PRODUCTION

L.N. Olshanskaya, Head of Department, Yuri Gagarin Saratov State Technical University, Ph. D., Professor, ecos123@mail.ru

I.A. Tiltigin, Postgraduate Student, Yuri Gagarin Saratov State Technical University, tiltigin1996@mail.ru

T.V. Osipova, Leading Analyst, SRI FRCEC, osipovatv@extech.ru

A promising method for purification of chromium-containing wastewater from galvanic plants is considered. A review and comparative analysis of existing methods and technologies for purifying industrial effluents from organochromic compounds: reagent, biological, ion-exchange, etc. are presented. The advantages of using the combined method of purification of chromium-containing wastewater based on electroflotation with preliminary electrocoagulation are shown. The effectiveness of the proposed combined method was evaluated and the scheme of the electroflotocoagulator was developed.

Keywords: chromium-containing wastewater, purification methods, electrocoagulation, electroflotation, purification efficiency.

Введение

В последнее время в нашей стране и за рубежом одной из важных задач государственного контроля в области экологии и наращивания производственного потенциала является развитие идей экологической безопасности и экономической эффективности технологических процессов с замкнутыми системами водопользования, экономящих воду, сырье и другие

ресурсы, используемые для технологических целей, с существенным уменьшением поступления вредных и токсичных веществ в окружающую среду. По данным статистики за 2016–2018 гг., при среднегодовом водопотреблении 53,7 млрд м³ общий объем сброса сточных вод в России превышал 40 млрд м³/год, при этом содержание в стоках загрязнений составляло от нескольких тонн (свинец, ртуть) до нескольких сотен тысяч тонн (нитраты) [1]. Создание новых методов, а также эффективное использование существующих методов очистки сточных вод – важные факторы улучшения экологической обстановки в России.

Одной из проблем в области водоочистки является обезвреживание хромэмульсионных сточных вод гальванических производств. Хромсодержащий поток сточных вод таких производств представляет собой сложную систему, включающую кислоты, щелочи, трудно окисляемые органические соединения, различные механические примеси. Обезвреживание этой категории стоков представляет собой сложную и актуальную проблему сегодняшнего дня. Особую важность эта проблема приобретает во время принятия мировой экономикой принципов устойчивого развития, обеспечивающих баланс между решением социально-экономических проблем и сохранением окружающей природной среды.

Анализ эффективности методов и схем очистки хромсодержащих сточных вод

Хромсодержащие сточные воды предприятий приборостроения имеют сложный состав, в связи с чем способ очистки следует выбирать исходя из состава и природы загрязненного потока или применять их в комплексе.

На практике при высоких исходных концентрациях хрома в сточных водах удалять его рекомендуется в две стадии. На первой стадии (грубая очистка) происходит удаление основной массы соединений хрома из сточных вод, на второй (глубокая очистка) – доведение обрабатываемой жидкости до нормативных показателей. Первый этап обработки данной категории сточных вод осуществляется также в две стадии:

- восстановление Cr(VI) до Cr(III), которые менее токсичны;
- осаждение Cr(III) в виде гидроксида.

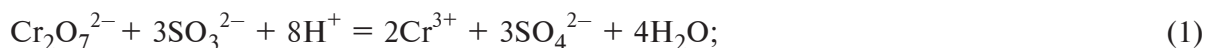
В качестве реагентов-восстановителей наиболее широкое применение получили натриевые соли сернистой кислоты: сульфит (Na₂SO₃), гидросульфит (NaHSO₃), пиросульфит (пиросернистокислый натрий), метабисульфит натрия (Na₂S₂O₅), а также тиосульфат натрия (Na₂S₂O₃) [2–4].

Глубокая очистка (доочистка) может осуществляться путем обработки жидкости смесью реагентов, электролизом, обратным осмосом и при помощи сорбционных материалов [5, 6].

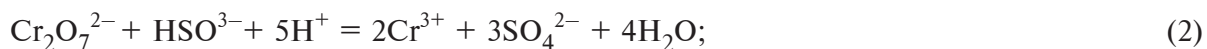
Реагентные методы очистки хромсодержащих сточных вод подразумевают восстановление соединений Cr(VI) до Cr(III) и осаждение последних в виде нерастворимых соединений (обычно гидроксида Cr(III)).

Восстановление Cr(VI) до Cr(III) происходит в кислой среде по реакциям:

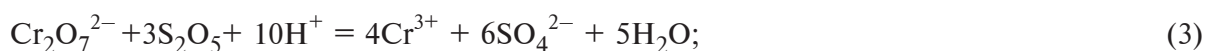
- восстановление сульфитом натрия



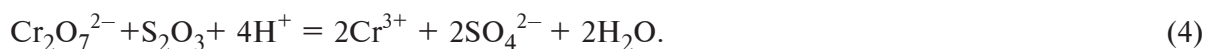
- восстановление бисульфитом натрия



- восстановление пиросульфатом натрия



- восстановление тиосульфатом натрия



Теоретические дозы реагентов-восстановителей обычно составляют (мг/1 мг Cr^{6+}): для сульфита — 3,63, бисульфита — 3,0, пиросульфита — 2,88, дитионита натрия — 1,67.

Соли сернистой кислоты вводят в сточную воду в виде 10 %-ных водных растворов. Доза восстановителя находится в зависимости от исходной концентрации Cr^{6+} в сточной воде и величины pH. Скорость и полнота реакций восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} в большой степени также зависят от величины pH реакционной смеси. Оптимальная скорость реакций восстановления достигается в кислой среде при pH = 2,0–2,5, для чего сточную воду дополнительно подкисляют 10–15 %-ным раствором серной кислоты (возможно использование растворов других минеральных кислот).

К недостаткам данного метода относятся:

- легкая окисляемость восстановителя в процессе хранения, затрудняющая правильную дозировку и приводящая к его повышенному расходу;
- восстановление в кислых средах, что требует дополнительного расходования кислоты на подкисление.

Биологические, ионообменные и другие методы очистки сточных вод от хромсодержащих соединений могут осуществляться при помощи биологических, электрохимических и ионообменных процессов, а также электродиализа и обратного осмоса. Высокая аккумулятивная способность микроводорослей по отношению к тяжелым металлам создает перспективы их использования при очистке сточных вод. Существующий опыт в биотехнологии показывает, что эффективность аккумуляции достигает 95 % [7]. К бактериям, способным трансформировать высокотоксичный шестивалентный хром в малотоксичный, относятся бактерии родов *Pseudomonas*, *Aeromonas* и *Escherichia*. Они могут переносить концентрацию ионов Cr^{6+} выше 200 мг/л, при этом время очистки составляет от 1 до 3 сут. При увеличении концентрации хроматов до 350 и 500 мг/л время очистки возрастает соответственно до 20 и 60 сут. [8].

Фирмой «ОакРидж» (США) был предложен биологический способ выделения хрома, где в качестве сорбента используются шарики размером с булавочную головку, полученные из морских водорослей и содержащие около 1 млн микроорганизмов каждый. Извлечение производится по принципу кипящего слоя в колоннах. После насыщения сорбент отфильтровывают, сушат и сжигают, получая концентрат сорбируемых примесей [9].

К недостаткам метода относятся:

- чувствительность микроорганизмов к изменению состава сточных вод и повышению концентрации токсичных компонентов;
- значительные занимаемые площади;
- недостаточный эффект очистки;
- длительность технологического процесса.

Электрофлотация относится к электрохимическим методам очистки. Процесс протекает благодаря образованию при электролизе пузырьков газа. На аноде возникают пузырьки кислорода, а на катоде — водорода. При электрофлотации в гальваническом производстве электролитически полученные газовые пузырьки, всплывая в объеме жидкости, взаимодействуют с частицами загрязнений, в результате чего происходит их взаимное слипание, обусловленное уменьшением поверхностной энергии флотируемой частицы и пузырька газа на границе раздела фаз «жидкость — газ» [10–11].

Электрокоагуляция — один из методов перевода примесей, находящихся в коллоидной степени дисперсности, в грубодисперсное состояние. Основан этот метод на множестве физико-химических процессов, протекающих в жидкости под воздействием электрического тока. В процессе электрокоагуляции происходит растворение алюминиевых или железных анодов, приводящее к образованию гидроксидов металлов, которые в данном случае выступают в качестве коагулянтов. При прохождении хромсодержащих стоков через межэлектродное пространство происходит электролиз. В результате электролиза на электродах восстанавливаются или окисляются компоненты электролита.

Выбор материала электрода обусловлен агрегативной устойчивостью частиц загрязнений. При невысоком содержании коллоидной фазы и низкой агрегативной устойчивости целесообразно применять нерастворимые электроды. При высокоустойчивых загрязнениях, требующих для очистки значительных доз коагулянта, лучше использовать растворимые электроды. Для очистки промышленных вод, содержащих высокие концентрации загрязнений, проводят электролиз с использованием растворимых стальных и алюминиевых анодов. Под действием тока происходит растворение металла, в результате чего в воду переходят катионы железа и алюминия, которые, взаимодействуя с гидроксильными группами, образуют гидроксиды металлов, что способствует процессу коагуляции:



Одновременно возможен разряд молекул воды:



Образующийся на аноде кислород участвует в окислении ионов двухвалентного железа, а ионы железа соединяются с анионами, образуя в слабокислой и щелочной среде трудно-растворимые основные соли и гидраты оксидов железа. На катоде протекает электрохимическая реакция образования газообразного водорода:



На процесс электрокоагуляции оказывают влияние материал электродов, расстояние между ними, скорость движения сточной воды, ее температура и состав, напряжение и плотность тока. С повышением концентрации взвешенных веществ более 100 мг/л эффективность электрокоагуляции снижается. Уменьшение расстояния между электродами приводит к понижению расхода энергии на анодное растворение металла. Теоретический расход энергии для растворения 1 г железа составляет 2,9 Вт·ч, для 1 г алюминия — 12 Вт·ч. Процесс рекомендуют проводить в нейтральной и слабощелочной среде при плотности тока не более 10 А/м² и расстоянии между электродами не более 20 мм [12].

Достоинства метода:

- соответствие очистки стока от соединений Cr^{6+} требованиям ПДК;
- высокая производительность;
- простота эксплуатации и автоматизации;
- малые занимаемые площади;
- малая чувствительность к изменениям параметров процесса;
- получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами;
- исключение реагентного хозяйства;
- высокий бактерицидный эффект электрического тока и, как следствие, снижение расхода реагентов на обеззараживание воды.

Недостатки метода:

- значительный расход электроэнергии;
- значительный расход металла растворимых анодов и их пассивация.

Оценка эффективности электрокоагуляционной очистки хромсодержащих сточных вод

Электрокоагуляция является наиболее универсальным, эффективным методом обезвреживания стоков с таким сложным, многокомпонентным составом загрязнений: она позволяет достаточно глубоко очищать хромсодержащие стоки, обладает высоким уровнем гибкости и надежности (особенно в сравнении с реагентными методами).

Обоснование возможности применения метода электрокоагуляции

Коагуляция частиц при электролизе с растворимыми электродами (анодами) обусловливается введением положительных ионов металлов, гидролизующихся в воде с образованием гидроксидов и других промежуточных соединений.

В соответствии с теоретическими основами электролитической коагуляции и вышеизложенной методикой возможная общая схема электрокоагуляционной очистки сточных вод представлена на рис. 1.

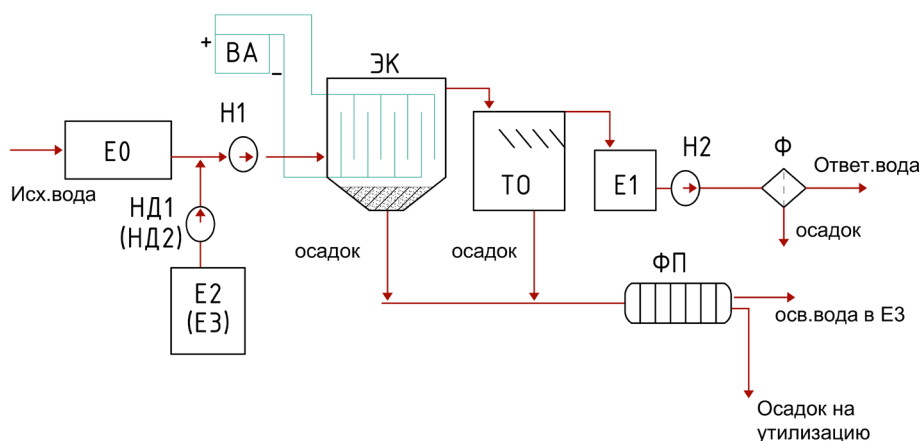


Рис. 1. Схема очистки сточных вод с применением метода электрокоагуляции:

E1 — сборник-накопитель; Н1, Н2 — насосы; ЭК — электрокоагулятор; E2, E3 — емкости; НД1, НД2 — дозирующие насосы; ТО — отстойник; Ф — фильтр механической очистки; ИО — узел доочистки; ФП — фильтр-пресс

Повышение эффективности электрокоагуляционной очистки сточных вод

Электрокоагуляционная обработка является одной из наиболее эффективных при очистке хромсодержащего потока сточных вод. Наиболее высокая степень очистки сточных вод достигается в электрокоагуляционных аппаратах, имеющих наряду с электрокоагуляционной камерой камеру электрофлотации. В этом случае сточные воды предварительно подвергаются воздействию как электрического поля, так и образующихся в процессе электрокоагуляции оксидов металлов, являющихся продуктами растворения анодных электродных пластин. При разделении суспензий или очистке сточных жидкостей от соединений хрома наиболее эффективно последовательное проведение коагуляции и флотации. Практически оба процесса можно осуществить в одном электролизере, представляющем собой емкость с находящимися в ней плоскими стальными электродами.

На рис. 2 приведена схема аппарата для реализации комбинированного метода с камерой электрофлотации и камерой электрокоагуляции (электрофлотокоагулятор).

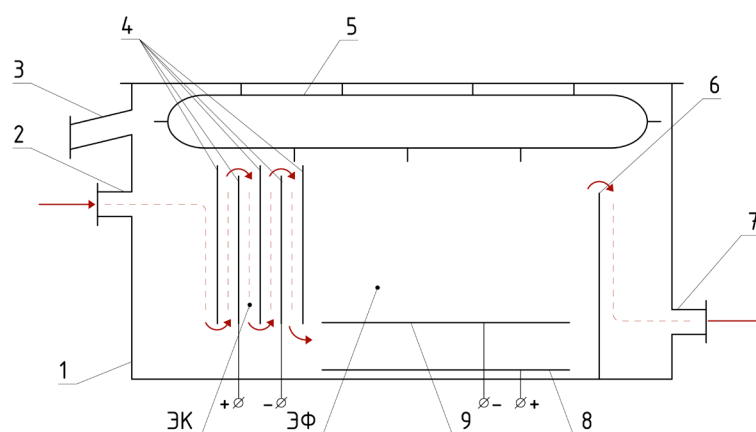


Рис. 2. Схема электрофлотокоагулятора:

ЭК — камера электрокоагуляции; ЭФ — камера электрофлотации; 1 — корпус аппарата; 2 — входной патрубок; 3 — патрубок вывода пенного продукта; 4 — растворимые электроды; 5 — пеногон; 6 — полу-погруженная перегородка; 7 — выходной патрубок; 8 — неаустеримый анод; 9 — сетчатый катод

В таком аппарате исходная жидкость, поступающая в камеру электрокоагуляции, смешивается с гидроксидом железа, образующимся в результате электролиза. Получаемые комплексы (хлопья) загрязнений с пузырьками водорода и кислорода флотируются и удаляются с помощью пеногона, а жидкая фаза поступает для доочистки в камеру электрофлотации. Не успевшие сфлотироваться в камере электрокоагуляции хлопья загрязнений повторно контактируют с пузырьками кислорода и водорода, и в случае образования комплексов происходит флотация этих газов. Осветленную жидкость выводят через патрубок.

В результате проведенных испытаний было выявлено, что наиболее эффективна при очистке хромсодержащих сточных вод электрофлотация с предварительной электрокоагуляцией. На основании исследований, проведенных на лабораторных и опытных установках, определены основные параметры процесса «электрокоагуляция — флотация»: время электрокоагуляции — 3–5 мин.; время флотации — 8–10 мин.; плотность тока в обоих процессах — 10–20 А/дм².

Результаты исследования эффективности электрокоагуляционного метода очистки и комбинированного метода приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ эффективности методов очистки хромсодержащих сточных вод

Параметр	Электрокоагуляция	Электрофлотокоагуляция
Степень очистки по хрому, %	80–95	95,0–99,5
Вторичное загрязнение воды	Fe — 1 мг/л	Отсутствует
Режим эксплуатации	Периодический	Непрерывный
Расход материалов и реагентов	Fe-анод (5–10 дн)	Fe-анод (10–15 дн), Ti-анод (5–10 лет)
Производительность, м ³ /ч	До 10	1–90
Осадок гальванического шлама	Пульпа, 99 % влажности	Пенный продукт, 90 % влажности
Энергозатраты, кВт·ч/м ³	1,2–1,5	1,3–2,0

Очистка хромсодержащих сточных вод комбинированным методом имеет значительные преимущества перед очисткой с применением только метода электрокоагуляции:

1) комбинированный метод, включающий электрокоагуляцию и электрофлотацию (электрофлотокоагуляция), более экономичен по расходу электроэнергии и металлических электродов по сравнению с электрокоагуляцией;

2) этот метод позволяет отказаться от отстойников путем замены их камерой флотации меньшего объема;

3) при использовании электрофлотокоагуляционной установки отпадает необходимость введения реагентов в очищаемую жидкость. Пена, получаемая при электрофлотокоагуляции, имеет высокую стойкость. При отстаивании она разрушается через 24 ч;

4) электрофлотокоагуляция позволяет возвращать до 40 % воды в цикл.

Эффект очистки при использовании комбинированного метода составляет: по хрому — 95,0–99,5 %; по органическим веществам — 60–80 %. Величина pH в процессе обработки увеличивается на 2,5–3,5 ед.

Основные технологические параметры процесса очистки:

- плотность тока на аноде: 10–20 А/дм²;
- оптимальная величина pH обработанной жидкости: 5,0–6,2;
- доза растворяемого железа: 90–150 мг/л;
- удельные затраты электроэнергии при выбранных параметрах: 1,3–2,0 кВт·ч/м³;
- объем флотоконцентратов: 10 %;
- влажность полученного флотоконцентрата: 90 % [12, 13].

Таким образом, на основе комбинации методов электрокоагуляции и электрофлотации возможно создание энерго- и ресурсосберегающей промышленной технологии очистки хромсодержащих сточных вод гальванических производств.

Список литературы

1. Российский статистический ежегодник. 2019: стат. сб. / Росстат. М., 2019. 708 с.
2. Проскурякова В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л.: Химия, 1977. 463 с.
3. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справ. мат-лы / под ред. Т.В. Гусевой. М.: Изд-во «ФОРУМ»; ИНФРА-М, 2009. 192 с.
4. Запольских А.К., Образцов В.В. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства. Киев: Техника, 1989. 199 с.
5. Штриплинг Л.О., Туренко Ф.П. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов: учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. 192 с.
6. Семенов В.В., Подольская З.В., Бузаева М.В., Климов Е.С. Сорбционная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием гальваношламов // Изв. вузов: Химия и химическая технология. 2009. № 6. С. 99–104.
7. Никифорова Л.О., Белопольский Л.М. Влияние тяжелых металлов на процесс биохимического окисления органических веществ. М.: Изд-во «БИНОМ»; Лаборатория знаний, 2007. 78 с.
8. Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П., Сенин В.Н. Проблемы развития безотходных производств. М.: Стройиздат, 2005. 160 с.
9. Очистка хромсодержащих стоков гальванических производств за рубежом // М.: Информэлектро, 1983. № 3.
10. Колесников В.А., Ильин В.И., Капустин Ю.И. и др. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий. М.: Химия, 2007. 175 с.
11. Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 270 с.

12. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности (Основы энвайронменталистики): учеб. для студентов технич. и технологич. специальностей. М.: Выс. шк., 2008. 800 с.

13. Сидорова Л.П. Методы очистки промышленных сточных вод / под ред. В.И. Лихтенштейна / ФГАОУ ВПО УрФУ, 2015. URL: http://study.urfu.ru/Aid/Publication/12543/1/Sidorova_2.pdf (дата обращения: 06.04.2020).

References

1. *Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik. 2019: stat. sb.* [Russian statistical yearbook. 2019: statistic collection (2019)] *Rosstat* [Rosstat]. Moscow. P. 708.

2. Proskuryakova V.A., Schmidt L.I. (1977) *Ochistka stochnykh vod v khimicheskoy promyshlennosti* [Wastewater treatment in the chemical industry] *Khimiya* [Chemistry]. Leningrad. P. 446.

3. *Gidrokhimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchey sredy: sprav. mat-ly. Pod red. T.V. Gusevoy* [Hydrochemical indicators of the state of the environment: ref. materials, ed. T.V. Goosey (2009)] *Izd-vo «FORUM» INFRA-M* [Publishing house «FORUM»; INFRA-M]. Moscow. P. 192.

4. Zapolskikh A.K., Obratsov V.V. (1989) *Kompleksnaya pererabotka stochnykh vod gal'vanicheskogo proizvodstva* [Integrated wastewater treatment of galvanic production] *Tekhnika* [Technique]. Kiev. P. 199.

5. Shtripling L.O., Turenko F.P. (2005) *Osnovy ochistki stochnykh vod i pererabotki tverdykh otkhodov: ucheb. posobie* [Basics of wastewater treatment and solid waste processing: textbook] *Izd-vo OmGTU* [Publishing House of OmSTU]. Omsk. P. 192.

6. Semenov V.V., Podolskaya Z.V., Buzaeva M.V., Klimov E.S. (2009) *Sorbtsionnaya ochistka stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov s ispol'zovaniem gal'vanoshlamov* [Sorption wastewater treatment from heavy metal ions using galvanic sludge] *Izv. vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [News of Universities: Chemistry and chemical technology] No. 6. P. 99–104.

7. Nikiforova L.O., Belopolsky L.M. (2007) *Vliyaniye tyazhelykh metallov na protsess biokhimicheskogo okisleniya organicheskikh veshchestv* [The influence of heavy metals on the biochemical oxidation of organic substances] *Izd-vo «BINOM». Laboratoriya znaniy* [Publishing house «BINOM». Laboratory of Knowledge]. Moscow. P. 78.

8. Laskorin B.N., Gromov B.V., Tsygankov A.P., Senin V.N. (2005) *Problemy razvitiya bezotkhodnykh proizvodstv* [Problems of development of non-waste industries] *Stroyizdat* [Stroyizdat]. Moscow. P. 160.

9. *Ochistka khromsoderzhashchikh stokov gal'vanicheskikh proizvodstv za rubezhom* [Purification of chromium-containing wastewater from galvanic plants abroad (1983)] *Informelektro* [Informelectro]. No. 3.

10. Kolesnikov V.A., Ilyin V.I., Kapustin Yu.I. and others (2007) *Elektroflotatsionnaya tekhnologiya ochistki stochnykh vod promyshlennykh predpriyatiy* [Electroflotation technology for wastewater treatment of industrial enterprises] *Khimiya* [Chemistry]. Moscow. P. 175.

11. Xenophontov B.S. (2010) *Flotatsionnaya obrabotka vody, otkhodov i pochvy* [Flotation treatment of water, waste and soil] *Novye tekhnologii* [New Technologies]. Moscow. P. 270.

12. Rodionov A.I., Klushin V.N., Sister V.G. (2008) *Tekhnologicheskie protsessy ekologicheskoy bezopasnosti (Osnovy envayronmentalistiki): ucheb. dlya studentov tekhnich. i tekhnologich. spetsial'nostey* [Technological processes of environmental safety (Fundamentals of environmental science): textbook for students of technical and technological specialties] *Vysshayf shkola* [Higher school]. Moscow. P. 800.

13. Sidorova L.P. (2015) *Metody ochistki promyshlennykh stochnykh vod. Pod red. V.I. Likhtenshteyna* [Methods for the treatment of industrial wastewater. Ed. V.I. Liechtenstein] *FGAOU VPO UrFU* [FSAEI HPE UrFU]. Available at: http://study.urfu.ru/Aid/Publication/12543/1/Sidorova_2.pdf (accessed: 06.04.2020).

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-152-159

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ КАК ФАКТОР БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ СУДОВ

О.А. Белов, зав. каф. Камчатского государственного технического университета, канд. техн. наук, доцент, *boa-1@mail.ru*

А.О. Шуваева, ассист. каф. Камчатского государственного технического университета, *kletn@yandex.ru*

С.А. Клементьев, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *klemaserg@mail.ru*

А.В. Федин, аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *anat.fedin.mail@yandex.ru*

Рецензент: *И.Н. Якутов*

Техническая эксплуатация современных морских судов неизбежно связана с агрессивным воздействием электрохимической коррозии на элементы корпусных конструкций и судно в целом. Коррозионные процессы оказывают разрушающее воздействие на элементы корпуса, сварные соединения металлических конструкций, в результате чего происходят нарушения водонепроницаемости, снижение общей и местной прочности корпуса, других эксплуатационных характеристик судна, параметров надежности корпусных конструкций и, как следствие, снижение безопасности мореплавания и экологической безопасности, в том числе в пунктах базирования судов и прилегающих к ним акваториях. Данный фактор требует внедрения специальных способов антикоррозионной защиты, основными из которых являются применение лакокрасочных покрытий и использование электрохимической защиты корпусов судов. Поддержание целостности лакокрасочных покрытий и заданного уровня электрохимической защиты корпуса в процессе эксплуатации судна предполагает осуществление комплекса взаимосвязанных инженерно-технических и организационных мероприятий, основой которых является оперативный контроль состояния антикоррозионной защиты.

Ключевые слова: техническая эксплуатация, морские суда, лакокрасочное покрытие, электрохимическая коррозия, антикоррозионная защита, безопасность, оперативный контроль.

OPERATIONAL CONTROL OF THE STATE OF ANTI-CORROSION PROTECTION AS A FACTOR IN THE SAFETY OF TECHNICAL OPERATION OF MARINE VESSELS

O.A. Belov, Head of Department, Kamchatka State Technical University, Doctor of Engineering, Associate Professor, *boa-1@mail.ru*

A.O. Shuvaeva, Assistant of Department, Kamchatka State Technical University, *kletn@yandex.ru*

S.A. Klementyev, Head of Department, SRI FRCEC, *klemaserg@mail.ru*

A.V. Fedin, Analyst, SRI FRCEC, *anat.fedin.mail@yandex.ru*

The technical operation of modern marine vessels is inevitably associated with the aggressive effects of electrochemical corrosion on hull structures and the ship as a whole. Corrosion processes have a destructive effect on hull elements, welded joints of metal structures, as a result of which there is a violation of water tightness, a decrease in the general and local strength of the hull, other operational characteristics of the vessel, reliability parameters of the hull structures and, as

a result, a decrease in the safety of navigation and environmental safety, including at the points of basing ships and adjacent waters. This factor requires the introduction of special methods of corrosion protection, the main of which are the use of coatings and the use of electrochemical protection of ship hulls. Maintaining the integrity of coatings and a given level of hull electrochemical protection during the operation of the vessel involves the implementation of a set of interconnected engineering, technical and organizational measures, the basis of which is the operational control of the state of corrosion protection.

Keywords: technical operation, sea vessels, paint and varnish coating, electrochemical corrosion, corrosion protection, safety, operational control.

Введение

Коррозионные процессы, протекающие в период эксплуатации морских судов, оказывают существенное влияние на прочность корпусов, надежность их элементов и герметичность водонепроницаемых конструкций. Анализ аварий и катастроф на море показывает, что именно коррозионные разрушения элементов корпусных конструкций являются одной из основных причин этих происшествий. Кроме того, в результате коррозионных повреждений корпуса и нарушения его водонепроницаемости неизбежно происходит утечка нефтепродуктов и других загрязняющих веществ в окружающую среду, что может привести к экологической катастрофе [1, 2].

Учитывая важность и необходимость обеспечения безопасной технической эксплуатации кораблей и судов, морское сообщество разработало общие требования к системам защиты от коррозии. В частности, Комитет по безопасности на море (ИМО) неоднократно вносил поправки в Конвенцию СОЛАС-74, ужесточающие требования к составу и организации эксплуатации систем защиты от коррозии. Российским морским регистром судоходства устанавливаются аналогичные требования, определяющие состав систем антикоррозионной защиты, порядок и технологию применения лакокрасочных покрытий (ЛКП), а также организацию технического обслуживания антикоррозионной защиты в рамках общего плана технического обслуживания судна [3, 4].

Основные способы защиты от коррозии

Применение ЛКП является одним из самых распространенных и надежных способов защиты корпусов кораблей и судов от коррозии. Защитные свойства ЛКП заключаются в создании на металлических корпусных конструкциях сплошной стойкой пленки, препятствующей агрессивному воздействию морской воды на металл и предохраняющей его от коррозионного разрушения. Для сохранения качества покрытия корпуса судна на максимально длительный период и предотвращения его разрушения в комплексе с ЛКП, как правило, применяется электрохимическая защита (ЭХЗ).

ЭХЗ является способом антикоррозионной защиты металлических корпусных конструкций, основанным на снижении интенсивности коррозионных процессов путем смещения электрического потенциала до значения, соответствующего минимальной скорости растворения металла [5]. Для защиты корпусов морских судов применяется катодная или протекторная ЭХЗ. При организации катодной защиты отрицательный полюс внешнего источника тока присоединяется к корпусу судна, а положительный полюс — к вспомогательному электроду, работающему как анод. Протекторная защита представляет собой разновидность катодной защиты, в которой к защищаемой поверхности присоединяют специальные протекторы, представляющие собой сплав из более электроотрицательных металлов. Основным критерий эффективной работы ЭХЗ — обеспечение оптимального уровня защитного потенциала [6, 7].

Однако в процессе эксплуатации по ряду причин рабочие свойства антикоррозионной защиты могут ухудшаться или полностью утрачиваться. Например, использование катодной защиты сопряжено с опасностью так называемой перезащиты, в результате которой проис-

ходят коррозионное растрескивание материалов, вспучивание и разрушение защитных покрытий. Функционирование протекторной защиты связано с постепенным растворением протекторов и, как следствие, снижением работоспособности и эффективности антикоррозионной защиты в целом. Кроме того, возможны нарушение контакта протектора с защищаемой поверхностью или обрыв протекторов, что приводит к фактическому «отключению» антикоррозионной защиты судна. Также вероятны механические повреждения ЛКП, что способствует активизации процессов коррозии. Поэтому важной задачей технической эксплуатации морских судов является поддержание эффективности систем антикоррозионной защиты на протяжении всего жизненного цикла судна, что находит свое отражение в требованиях нормативных документов.

Оперативный контроль систем антикоррозионной защиты

В целях определения фактического состояния антикоррозионной защиты требуется проведение оперативного контроля, позволяющего определить действующий защитный потенциал и эффективность функционирования защиты в целом. Оперативный контроль и замеры параметров электрохимической защиты корпуса осуществляются посредством организации системы мероприятий по мониторингу антикоррозионной защиты корпуса судна. Эти мероприятия включают систематические замеры параметров защиты, анализ данных и принятие решений по восстановлению и обеспечению заданного уровня антикоррозионной защиты [8–10].

На рис. 1 представлено нормальное снижение уровня антикоррозионной защиты корпуса судна в период эксплуатации. Периодичность контрольных замеров n на интервале $t(n_1; n_i)$ должна быть достаточной для своевременного определения события ω_n , соответствующего началу снижения защитного потенциала и уровня антикоррозионной защиты корпуса судна, и события ω_k , соответствующего переходу системы защиты в критическое состояние и началу активизации коррозионных процессов [11].

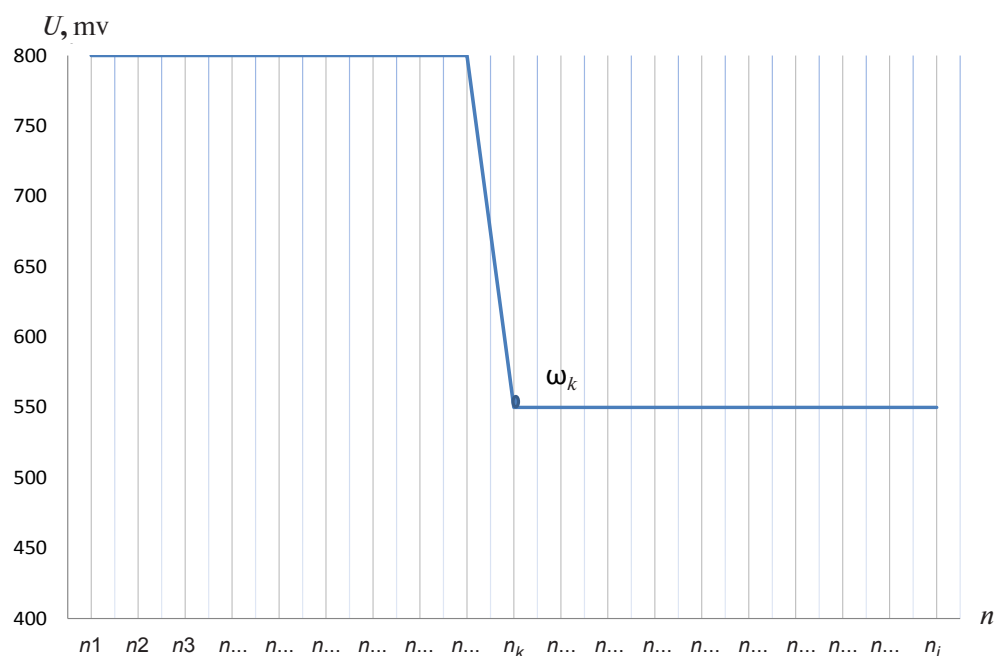


Рис. 1. Нормальное снижение защитного потенциала корпуса судна

Период $t(n_n; n_k)$ между событиями ω_n и ω_k дает возможность произвести качественный анализ данных, разработку и планирование мероприятий по восстановлению требуемого

уровня антикоррозионной защиты. Условно период $t(n_H; n_K)$ можно назвать периодом принятия решения, и чем длительнее этот период, тем больше возможностей своевременно и качественно решить задачу восстановления работоспособности антикоррозионной защиты судна. Эксплуатация судна с защитным потенциалом, который ниже критического значения, недопустима. Таким образом, систематический оперативный контроль позволяет обеспечить качественное функционирование судовой антикоррозионной защиты и требуемый уровень безопасности технической эксплуатации судна.

Важность периодичности и качества оперативного контроля

Опыт эксплуатации морских судов показывает, что на практике снижение защитного потенциала корпуса может происходить достаточно интенсивно. Причина этого явления – воздействие дополнительных физических, химических, биологических и иных факторов, лежащих в основе интенсивности коррозионных процессов. В этом случае значение периодичности и качества оперативного контроля уровня антикоррозионной защиты судов намного возрастает.

Как видно из рис. 2, при интенсивном снижении уровня антикоррозионной защиты период времени между событиями ω_H и ω_K значительно сокращается, а значит, и период принятия решения $t(n_H; n_K)$ становится минимальным. При недостаточной периодичности оперативного контроля возрастает вероятность перехода судна в режим эксплуатации с критическим уровнем антикоррозионной защиты. Следовательно, снижается уровень безопасности технической эксплуатации судна.

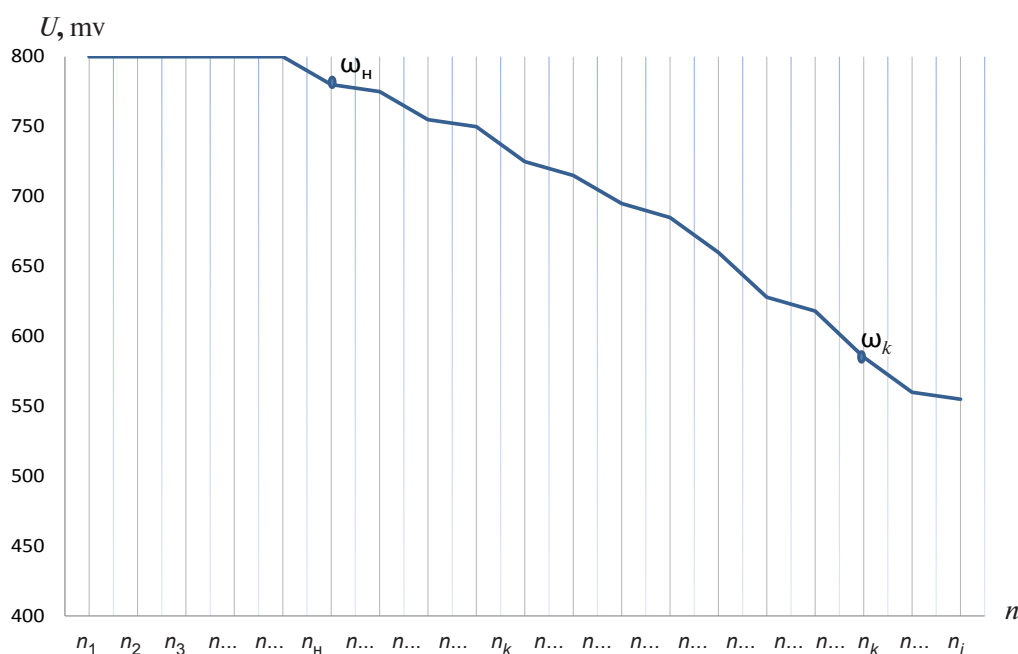


Рис. 2. Интенсивное снижение защитного потенциала корпуса судна

Точкой перехода судна в опасное состояние является событие ω_K , следовательно, при большей частоте контрольных замеров n появляется возможность своевременного прогнозирования снижения уровня антикоррозионной защиты. С учетом случайного характера события ω_K возможно внезапное падение защитного потенциала корпуса судна, например вследствие обрыва протекторов или механического повреждения ЛКП. Диаграмма развития такой ситуации представлена на рис. 3.

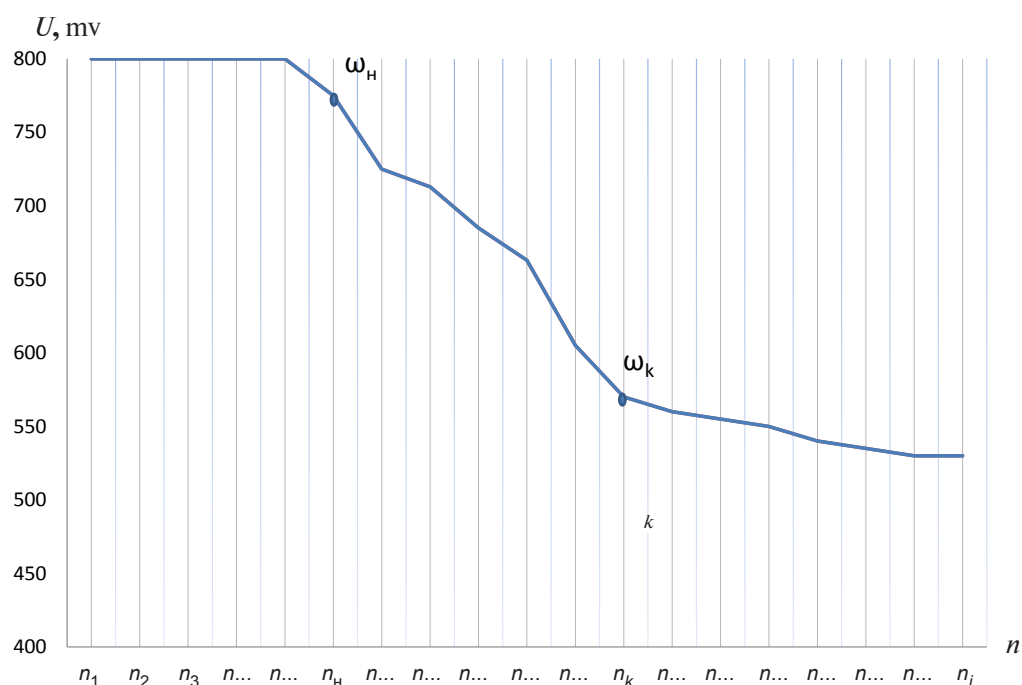


Рис. 3. Внезапное падение защитного потенциала корпуса судна

В данном случае период принятия решения $t(n_n; n_k)$ отсутствует, так как судно сразу переходит в опасное состояние в связи с началом интенсивного развития коррозионных процессов. При отсутствии систематического оперативного контроля коррозионные процессы в короткий промежуток времени способны нанести существенные повреждения судовым корпусным конструкциям, что в дальнейшем потребует дополнительных затрат на ремонт судна или может привести к серьезным аварийным последствиям.

Таким образом, основная цель оперативного контроля в период технической эксплуатации судна состоит в получении измерительной информации об уровне антикоррозионной защиты и интенсивности протекающих коррозионных процессов. Руководящие документы [12, 13] регламентируют способы измерений и определяют устройства для их проведения. Однако экспертная оценка опыта эксплуатации показывает, что применяемые для оперативного контроля устройства крайне ненадежны, имеют высокую стоимость, а предлагаемые способы контроля имеют большую трудоемкость и вызывают затруднения при использовании экипажами судов. В результате оперативный контроль состояния антикоррозионной защиты фактически не проводится [14, 15].

Альтернативный способ оперативного контроля систем антикоррозионной защиты

В настоящее время разработан, прошел апробацию и внедрен в эксплуатацию на отдельных экспериментальных судах значительно менее трудоемкий способ оперативного контроля систем антикоррозионной защиты [16, 17]. Для его реализации были разработаны специальные устройства измерения, отличающиеся простотой, низкой стоимостью, доступностью и достаточно высокой надежностью [18]. Способ включает периодическое измерение потенциала корпуса в контрольных точках с помощью переносного электроизмерительного прибора и переносного электрода. Совместно с измерением потенциала корпуса в контрольных точках измеряют силу постоянного тока, силу переменного тока, падение переменного напряжения в измерительной электрической цепи, образованной корпусом судна, переносным электродом, подключенным к электроизмерительному прибору, и водой. Затем на ос-

нове сравнения результатов измерения контролируемых параметров с их допустимыми значениями оценивают степень защищенности корпуса судна от электрохимической коррозии и электрокоррозии. Технический результат — повышение достоверности результатов контроля и производительности труда, уменьшение количества технических средств контроля, исключение водолазных и доковых работ. При качественном проведении контрольных измерений и достаточном уровне подготовки и профессионализме оператора измерений [19–21] данный способ позволяет обеспечить требуемую периодичность измерений и высокий уровень оперативного контроля состояния судовой антикоррозионной защиты [22].

В совокупности данные мероприятия позволяют предотвратить техническую эксплуатацию судна ниже критического уровня, способствуют снижению затрат на ремонт корпуса судна и обеспечивают заданный уровень технической и экологической безопасности.

Список литературы

1. Белов О.А., Клементьев С.А., Дороганов А.Б. Коррозионные процессы как фактор снижения безопасности эксплуатации морских судов // *Инноватика и экспертиза*. 2017. № 1 (19). С. 123–126.
2. Белов О.А. Методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы // *Вестник Камчатского гос. техн. ун-та*. 2015. № 34. С. 12–18.
3. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (СОЛАС). URL: http://www.sur.ru/upload/legislation/Solas_74_file_5_37_4078.pdf (дата обращения: 27.04.2020).
4. НД № 2-030101–009 Руководство по техническому наблюдению за судами в эксплуатации. СПб: ФАУ «Российский морской регистр судоходства», 2017. 289 с.
5. Бибииков Н.Н., Люблинский Е.Я., Поварова Л.В. Электрохимическая защита морских судов от коррозии. Л.: Судостроение, 1971.
6. РД 31.28.10–97. Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии. Издание официальное. М.: Стандартинформ, 1998. 37 с.
7. Белов О.А. Современное состояние организации комплексной защиты металлических корпусов кораблей и судов от коррозии // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. 2017. № 3. С. 115–120.
8. Швецов В.А., Белов О.А., Белавина О.А., Ястребов Д.П. Обоснование возможности исключения внешнего осмотра систем протекторной защиты стальных корпусов судов // *Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология*. 2017. № 1. С. 29–38.
9. Белов О.А., Швецов В.А., Ястребов Д.П. Обоснование оптимальной периодичности контроля работы протекторной защиты стальных корпусов судов // *Эксплуатация морского транспорта*. 2017. № 1 (82). С. 55–58.
10. Белов О.А., Швецов В.А., Арчибисов Д.А., Белавина О.А. К вопросу о продолжительности периода эффективной работы систем защиты от коррозии стальных корпусов вспомогательных судов // *Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология*. 2017. № 3. С. 7–15.
11. Белов О.А. Общий алгоритм развития опасных ситуаций в судовых условиях // *Наука, образование, инновации: пути развития: мат-лы Восьмой всероссийской науч.-практ. конф.* 2017. С. 51–54.
12. Руководство по защите корпусов надводных кораблей ВМФ от коррозии и обрастания. М.: Воен. изд-во, 2002. 350 с.
13. ГОСТ 9.056–75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (дата обращения: 02.04.2020).
14. Белов О.А., Дороганов А.Б. Проблемы методологии контроля электрохимической защиты стальных корпусов кораблей и судов // *Вестник Камчатского гос. техн. ун-та*. 2016. № 37. С. 10–13.
15. Дороганов А.Б., Белов О.А. Современное состояние методов и средств измерения электрического поля судов и кораблей // *Наука, образование, инновации: пути развития: мат-лы Седьмой всероссийской науч.-практ. конф.* 2016. С. 125–127.
16. Патент RU № 2643709. Способ контроля защищенности стальных корпусов кораблей и судов от электрохимической коррозии и электрокоррозии / О.А. Белов, В.А. Швецов, О.А. Белавина. Опубл. 05.02.2018.

17. Белов О.А., Швецов В.А., Ястребов Д.П. и др. Внедрение усовершенствованного способа контроля систем протекторной защиты стальных корпусов судов камчатского флота // Вестник Камчатского гос. техн. ун-та. Петропавловск-Камчатский, 2017. Вып. 39. С. 6–11.

18. Патент RU № 169581. Устройство для контроля протекторной защиты стальных корпусов кораблей и судов / В.А. Швецов, О.А. Белов, Д.В. Шунькин, О.А. Белавина, С.П. Лысянский, В.В. Адельшина. Опубл. 23.03.2017.

19. Швецов В.А., Белов О.А., Белозеров П.А., Шунькин Д.В. Контроль систем протекторной защиты стальных судов и кораблей: монограф. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. 109 с.

20. Белов О.А. Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора // Вестник Камчатского гос. техн. ун-та. 2014. № 30. С. 11–16.

21. Швецов В.А., Белов О.А., Шунькин Д.В. и др. Оценка эффективности методик измерения потенциала стальных корпусов рыбопромысловых судов // Наука, образование, инновации: пути развития: мат-лы Седьмой всероссийской науч.-практ. конф. 2016. С. 191–193.

22. Швецов В.А., Белов О.А., Шунькин Д.В. и др. Динамика совершенствования систем электрохимической защиты от коррозии стальных корпусов морских судов и методов их контроля // Наука, образование, инновации: пути развития: мат-лы Седьмой всерос. науч.-практ. конф. 2016. С. 194–195.

References

1. Belov O.A., Klementyev S.A., Doroganov A.B. (2017) *Korrozionnye protsessy kak faktor snizheniya bezopasnosti ekspluatatsii morskikh sudov* [Corrosion processes as a factor in reducing the safety of operation of marine vessels] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. No. 1 (19). P. 123–126.

2. Belov O.A. (2015) *Metodologiya analiza i kontrolya bezopasnosti sudna kak slozhnoy organizatsionno-tekhnicheskoy sistemy* [Methodology of analysis and control of ship safety as a complex organizational and technological system] *Vestnik Kamchatskogo gos. tekhn. un-ta* [Bulletin of the Kamchatka State. Tech. Univer] No. 34. P. 12–18.

3. *Mezhdunarodnaya konventsia po okhrane chelovecheskoy zhizni na more (SOLAS)* [International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)]. Available at: http://www.sur.ru/upload/legislation/Solas_74_file_5_37_4078.pdf (accessed: 27.04.2020).

4. ND No. 2-030101–009 (2017) *Rukovodstvo po tekhnicheskomu nablyudeniyu za sudami v ekspluatatsii. SPb: FAU «Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva»* [Guidelines for the technical monitoring of ships in operation. St. Petersburg: FAA «Russian Maritime Register of Shipping»]. P. 288.

5. Bibikov NN, Lublinsky E.Ya., Povarova L.V. (1971) *Elektrokhimicheskaya zashchita morskikh sudov ot korrozii* [Electrochemical protection of ships against corrosion] *Sudostroenie* [Shipbuilding]. Leningrad.

6. RD 31.28.10–97 (1998) *Kompleksnye metody zashchity sudovykh konstruksiy ot korrozii. Izdanie ofitsial'noe* [Integrated methods for protecting ship structures from corrosion. The publication is official] *Standartinform* [Standartinform]. Moscow. P. 37.

7. Belov O.A. (2017) *Sovremennoe sostoyanie organizatsii kompleksnoy zashchity metallicheskich korpusov korably i sudov ot korrozii* [The current state of the organization of integrated protection of metal hulls of ships and ships from corrosion] *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Transactions of NSTU named after R.E. Alekseev]. No. 3. P. 115–120.

8. Shvetsov V.A., Belov O.A., Belavina O.A., Yastrebov D.P. (2017) *Obosnovanie vozmozhnosti isklyucheniya vneshnego osmotra sistem protektrnoy zashchity stal'nykh korpusov sudov* [Justification of the possibility of excluding external inspection of the tread protection systems of steel hulls of vessels] *Vestnik Astrakhanskogo gos. tekhn. un-ta. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* [Bulletin of the Astrakhan State. Tech. Univer. Series: Marine engineering and technology]. No. 1. P. 29–38.

9. Belov O.A., Shvetsov V.A., Yastrebov D.P. (2017) *Obosnovanie optimal'noy periodichnosti kontrolya raboty protektrnoy zashchity stal'nykh korpusov sudov* [The rationale for the optimal frequency of monitoring the tread protection of steel hulls of ships] *Ekspluatatsiya morskogo transporta* [Operation of maritime transport]. No. 1 (82). P. 55–58.

10. Belov O.A., Shvetsov V.A., Archibisov D.A., Belavina O.A. (2017) *K voprosu o prodolzhitel'nosti perioda effektivnoy raboty sistem zashchity ot korrozii stal'nykh korpusov vspomogatel'nykh sudov* [Regarding the question

of the duration of the period of effective operation of corrosion protection systems for steel hulls of auxiliary vessels] *Vestnik Astrakhanskogo gos. tekhn. un-ta. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* [Bulletin of the Astrakhan State. tech. Univer. Series: Marine engineering and technology]. No. 3. P. 7–15.

11. Belov O.A. (2017) *Obshchiy algoritm razvitiya opasnykh situatsiy v sudovykh usloviyakh* [The general algorithm for the development of dangerous situations in a ship's environment] *Nauka, obrazovanie, innovatsii: puti razvitiya. Mat-ly Vos'moy vserossiyskoy nauch.-prakt. konf.* [Science, Education, Innovation: Development Paths. Materials of the Eighth All-Russian Scientific Pract. Conf.]. P. 51–54.

12. *Rukovodstvo po zashchite korpusov nadvodnykh korabley VMF ot korrozii i obrastaniya* [Guidelines for the protection of hulls of naval surface ships from corrosion and fouling] *Voen. izd-vo* [Military. Publishing House]. Moscow. P. 350.

13. GOST 9.056–75. *Stal'nye korpusa korabley i sudov. Obshchie trebovaniya k elektrokhimicheskoy zashchite pri dolgovremennom stoyanochnom rezhime* [Steel hulls of ships and vessels. General requirements for electrochemical protection during long-term parking]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (accessed: 04.02.2020).

14. Belov O.A., Doroganov A.B. (2016) *Problemy metodologii kontrolya elektrokhimicheskoy zashchity stal'nykh korpusov korabley i sudov* [Problems of the methodology for monitoring the electrochemical protection of steel hulls of ships and vessels] *Vestnik Kamchatskogo Tehn. Univer.* [Bulletin of the Kamchatka State. tech. Univer]. No. 37. P. 10–13.

15. Doroganov A.B., Belov O.A. (2016) *Sovremennoe sostoyanie metodov i sredstv izmereniya elektricheskogo polya sudov i korabley* [The current state of methods and means of measuring the electric field of ships] *Nauka, obrazovanie, innovatsii: puti razvitiya: mat-ly Sed'moy vseros. nauch.-prakt. konf* [Science, Education, Innovation: Development Paths: Materials of the Seventh All-Russian Scientific-Practical. conf.] P. 125–127.

16. Patent RU No. 2643709. *Sposob kontrolya zashchishchennosti stal'nykh korpusov korabley i sudov ot elektrokhimicheskoy korrozii i elektrokrozii* [A method for monitoring the protection of steel hulls of ships and vessels from electrochemical corrosion and electrocorrosion. O.A. Belov, V.A. Shvetsov, O.A. Belavina]. Publ. 05.02.2018.

17. Belov O.A., Shvetsov V.A., Yastrebov D.P. et al. (2017) *Vnedrenie usovershenstvovannogo sposoba kontrolya sistem protektoynoy zashchity stal'nykh korpusov sudov kamchatskogo flota* [Implementation of an improved method for monitoring the tread protection systems of steel hulls of Kamchatka fleet vessels] *Vestnik Kamchatskogo gos. tekhn. un-ta. Petropavlovsk-Kamchatskiy* [Bulletin of the Kamchatka State. Tech. University. Petropavlovsk-Kamchatsky]. Is. 39. P. 6–11.

18. Patent RU No. 169581. *Ustroystvo dlya kontrolya protektoynoy zashchity stal'nykh korpusov korabley i sudov* [Device for monitoring the tread protection of steel hulls of ships and vessels. V.A. Shvetsov, O.A. Belov, D.V. Shunkin, O.A. Belavina, S.P. Lysyansky, V.V. Adelshina]. Publ. 23.03.2017.

19. Shvetsov V.A., Belov O.A., Belozerov P.A., Shunkin D.V. (2016) *Kontrol' sistem protektoynoy zashchity stal'nykh sudov i korabley: monograf.* [Control of tread protection systems for steel ships and ships: monograph] *KamchatGTU* [Kamchatka State Techn. University]. Petropavlovsk-Kamchatsky. P. 109.

20. Belov O.A. (2014) *Otsenka tekhnicheskoy gotovnosti sistemy s uchetom vliyaniya chelovecheskogo faktora* [Assessment of the technical readiness of the system taking into account the influence of the human factor] *Vestnik Kamchatskogo gos. tekhn. un-ta* [Bulletin of the Kamchatka State. Tech. Univer]. No. 30. P. 11–16.

21. Shvetsov V.A., Belov O.A., Shunkin D.V. et al. (2016) *Otsenka effektivnosti metodik izmereniya potentsiala stal'nykh korpusov rybopromyslovykh sudov* [Evaluation of the effectiveness of methods for measuring the potential of steel hulls of fishing vessels] *Nauka, obrazovanie, innovatsii: puti razvitiya: mat-ly Sed'moy vserossiyskoy nauch.-prakt. konf.* [Science, Education, Innovation: Development Paths: Materials of the Seventh All-Russian Scientific Pract. conf.] P. 191–193.

22. Shvetsov V.A., Belov O.A., Shunkin D.V. et al. (2016) *Dinamika sovershenstvovaniya sistem elektrokhimicheskoy zashchity ot korrozii stal'nykh korpusov morskikh sudov i metodov ikh kontrolya* [Dynamics of improving systems of electrochemical protection against corrosion of steel hulls of marine vessels and methods for their control] *Nauka, obrazovanie, innovatsii: puti razvitiya: mat-ly Sed'moy vserossiyskoy nauch.-prakt. konf.* [Science, Education, Innovation: Development Paths: Materials of the Seventh All-Russian Scientific Pract. conf.]. P. 194–195.

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-160-168

СОДЕЙСТВИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ ИМ. В.И. ВЕРНАДСКОГО РАН ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОМУ СООБЩЕСТВУ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.В. Титова, зам. директора Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН, д-р техн. наук, проф., info@sgm.ru

Е.Г. Мирлин, гл. научн. сотр. Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН, д-р геол.-мин. наук, проф., egmmir@gmail.com

Е.В. Хотченков, зав. отд. Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН, канд. техн. наук, jek79@mail.com

Г.И. Титов, научн. сотр. Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН, grant.titov@mail.ru

Рецензент: И.А. Тугаринов

Цель статьи — изложение опыта содействия, которое оказывает Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской академии наук учителям и преподавателям высших учебных заведений, а также обсуждение проблем, возникающих в этом направлении. Содействие осуществляется на основе цифровых технологий и включает различные проекты: телемосты, трансляции лекций в режиме онлайн, видеоэкскурсии по экспозициям музея, работу с детьми в удаленном доступе. Организация работы с преподавательским сообществом осуществляется Межвузовским академическим центром навигации по специальностям горно-геологического профиля, который объединяет специалистов музея и ведущих сырьевых высших учебных заведений. Отмечено, что новая форма музейной работы и взаимодействия музейного и преподавательского сообщества выявила определенные новые проблемы в этом взаимодействии. Рассмотрены их причины, а также подчеркнуто, что их устранение позволит решить весьма актуальную задачу широкого использования богатства российских музеев разного профиля в работе учителей и преподавателей институтов и университетов.

Ключевые слова: цифровые технологии, дистанционная работа, онлайн-трансляции, преподаватель, школа, университет, институт, музей, горно-геологические профессии.

ASSISTANCE OF THE STATE GEOLOGICAL MUSEUM OF RAS NAMED AFTER V.I. VERNADSKY TO THE TEACHING COMMUNITY BASED ON DIGITAL TECHNOLOGY

A.V. Titova, Deputy Director, State Geological Museum of RAS named after V.I. Vernadsky Ph. D., Professor, info@sgm.ru

E.G. Mirlin, Senior Researcher, State Geological Museum of RAS named after V.I. Vernadsky, Ph. D., Professor, egmmir@gmail.com

E.V. Khotchenkov, Head of Department, State Geological Museum of RAS named after V.I. Vernadsky, Doctor of Engineering, jek79@mail.com

G.I. Titov, Researcher, State Geological Museum of RAS named after V.I. Vernadsky, grant.titov@mail.ru

The purpose of the article is to describe the experience of assistance provided by the State Geological Museum of RAS named after V.I. Vernadsky for teachers and teachers of higher

educational institutions, as well as a discussion of the problems arising in this direction. The assistance is based on digital technologies and includes various projects: teleconference, broadcast lectures online, video tours of the museum, work with children in remote access. The organization of work with the teaching community is carried out by the Interuniversity Academic Center for Navigation in the specialties of the mining and geological profile, which brings together museum specialists and leading raw materials higher educational institutions. It is noted that a new form of museum work and the interaction of the museum and the teaching community has revealed certain new problems in this interaction. Their reasons are examined, and it is also emphasized that their elimination will solve the very urgent problem of the wide use of the wealth of Russian museums of various profiles in the work of teachers and teachers of institutes and universities.

Keywords: digital technologies, remote work, online broadcasts, teacher, school, university, institute, museum, mining and geological professions.

Постановка задачи

Цифровые технологии, все более доминирующие в современном мире, не только несут новые вызовы, но и открывают дополнительные возможности. Главный вызов для преподавателя вуза и учителя средней школы – избыток информации, обрушивающейся на студентов и учеников. В результате учителям становится все труднее сосредоточить внимание слушателей на принципах и содержании преподаваемых им наук. Поиск новых методов и подходов в образовательном процессе – актуальная задача и для средней, и для высшей школ. Новые возможности учителям и преподавателям предоставляют музеи различного профиля на основе цифровых технологий. Наша страна располагает огромным музейным фондом, сосредоточенным в общегосударственных, региональных и частных музеях. Как сделать так, чтобы это богатство помогало учителям и преподавателям вузов в их непростой работе? Один из очевидных путей – видеоэкскурсии, лекции, занятия, трансляции в режиме онлайн. Такие мероприятия обеспечивают не только ознакомление зрителей и слушателей с музейными экспонатами, но и общение с представителями музейного и академического сообщества. Цели нашей статьи: во-первых, изложение опыта, накопленного при использовании данной методологии в Государственном геологическом музее им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГГМ РАН); во-вторых, обсуждение на основе имеющегося опыта дальнейших путей актуализации данной методологии при изучении естественно-научных дисциплин в средней и высшей школе. Разумеется, речь будет идти о науках, отвечающих направлению деятельности ГГМ РАН: о геологии, горном деле, географии, экологии. Остановимся вначале на технологической основе, которая делает возможным решение задачи взаимодействия музея и учебных заведений с использованием цифровых технологий.

Технологическая основа взаимодействия «музей – учитель – преподаватель вуза»

Академический статус Геологического музея им. В.И. Вернадского РАН означает, что у его специалистов имеются тесные связи с учеными академических научно-исследовательских институтов соответствующего профиля. Осознание необходимости объединения интеллектуального потенциала академического сообщества и ученых ведущих вузов для совершенствования учебного процесса и его адаптации к современным условиям послужило основой для создания Межвузовского академического центра навигации по специальностям горно-геологического профиля (далее – Центр) [1–4, 6]. Центр объединяет ГГМ РАН и ведущие сырьевые вузы г. Москвы: Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ) «МИСиС», Московский государственный университет геодезии и картографии, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина.

Центр начал работу относительно недавно – в 2015 г., но в рамках проводимой ранее работы по формированию коммуникационной площадки для развития непрерывной систе-

мы образования детей и молодежи в области геологии и природопользования, воспитанию экологического мировоззрения, профориентации на специальности горно-геологического, металлургического и нефтегазового профиля. За время работы накоплен значительный опыт взаимодействия ученых РАН, преподавателей вузов, а также представителей общеобразовательных школ. Принципиально важная методологическая особенность, объединяющая программы, заключается в том, что все они ориентированы на использование цифровых технологий, реализуемых в разном формате. Это стало возможным в результате создания в Центре ГГМ РАН студии видеоконференц-связи, оснащенной самым современным оборудованием. Она позволяет вести онлайн-трансляции лекций крупных российских ученых для студентов и школьников, проводить телемосты и мастер-классы, в которых принимают участие специалисты высших и общеобразовательных учебных заведений РФ и стран ближнего зарубежья, а также крупных сырьевых компаний [4, 6]. Благодаря указанным техническим средствам лекции охватывают огромную аудиторию: от удаленных поселков горнодобывающих предприятий до учебных аудиторий крупнейших вузов геологического и горно-геологического профиля. Необходимым условием проведения лекций и телемостов в режиме онлайн является обратная связь между студией Центра ГГМ РАН и аудиториями слушателей. Связь осуществляется оперативно, причем тематика конкретной лекции и время ее проведения согласуются заранее. Тем самым обеспечивается присутствие на лекциях максимального числа заинтересованных слушателей, т. е. уровень посещаемости лекций можно считать оптимальным.

Рассмотрим различные направления реализации взаимодействия музея с вузами и средними школами на основе цифровых технологий.

Видеоэкскурсии и лекции из залов ГГМ РАН по различной тематике

Фонды Государственного геологического музея формировались весьма длительное время — в течение более чем 260 лет. В них сосредоточены разнообразные коллекции природных и синтетических минералов, горных пород и руд, ископаемых организмов и растений, метеоритов, изделий из камня. Лишь небольшая часть этого богатства представлена в экспозициях, но и она открывает новые возможности для преподавателей — разумеется, в случае адекватного представления этих сокровищ в виде соответствующего сопровождения. Исходя из этого были разработаны тематические видеоэкскурсии и лекции, основанные на музейных экспозициях, содержание которых отвечает программам средней школы. Другими словами, они могут представлять интерес как для учеников, так и для преподавателей средних школ. Лекции, записанные в цифровом формате, выкладываются на сайте музея и являются общедоступными. Предусматривается, что после просмотра лекций все заинтересованные слушатели и зрители могут направить вопросы лектору по электронной почте и получить на них развернутые ответы.

Остановимся на некоторых из представленных на сайте ГГМ РАН тематических видеоэкскурсий и лекций. Как известно, 2019 год был объявлен Годом Периодической системы Д.И. Менделеева. С учетом этого обстоятельства был разработан и записан цикл тематических экскурсий, посвященных различным элементам: углероду, кремнию, меди, алюминию, с демонстрацией содержащих эти элементы образцов минералов и горных пород из музейных экспозиций. К примеру, демонстрируемые в видеолекции великолепные образцы малахита, представляющего собой карбонат меди, а также медные изделия в витринах, изготовленные много веков назад, помогут учителю доступно рассказать о значении меди как химического элемента, а ученику — уяснить это. Видеоэкскурсия, посвященная кремнию, основана на многочисленных и весьма представительных коллекциях минералов, содержащих кремний, которыми располагает ГГМ РАН. Основой многих полудрагоценных камней — агата, аметиста, яшмы — является именно кремний. В лекции отмечено, что благодаря именно этому элементу ранний этап развития цивилизации называется каменным веком. Кремний входит в состав всех горных пород, из которых состоит земная кора. В видеосюжетах, являющихся основой лекции, представлены наиболее интересные и зре-

лищные образцы из музейных коллекций. Ознакомление с ними способствует лучшему усвоению учениками сведений, полученных ими от преподавателя на уроках химии. Столь же запоминающимися являются видеолекции, рассказывающие об углероде и алюминии и их роли в формировании различных горных пород и минералов (рис. 1).

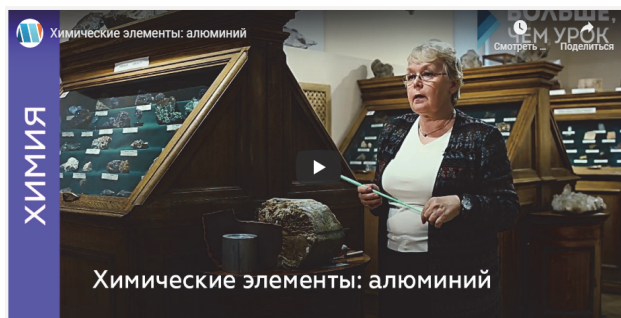


Рис. 1. Видеозапись лекции «Химические элементы: алюминий», размещенная на сайте ГМ РАН

Для учителей географии и других естественно-научных предметов полезны сведения из видеолекций о природных катастрофах, обусловленных процессами в глубинах Земли, о строении вулканов и вулканизме, о строении дна Мирового океана и его минеральных ресурсах, учении о биосфере. Общие сведения о фондах музея содержатся в видеолекции, посвященной 255-летию ГМ РАН. В ней же рассказывается о геологическом строении Москвы и Подмосковья, т. е. того региона, где проживают большинство молодых посетителей музея – школьников. Эта лекция, несомненно, поможет им более глубоко осознать необходимость сохранения природы их родного города и его окрестностей.

Уникальные образцы минералов и окаменелых органических остатков из различных уголков нашей планеты передал в дар ГМ РАН лидер партии «Справедливая Россия» С.М. Миронов. В совокупности они составляют его персональную коллекцию, которая размещена в специальном просторном зале музея. С.М. Миронов записал видеозапись по этому залу и этой коллекции (рис. 2).



Рис. 2. Запись видеозаписи С.М. Миронова по экспозиции, содержащей его коллекцию, переданную в дар ГМ РАН

Просмотр этой весьма наглядной и содержательной видеоэкскурсии позволяет зрителям ознакомиться с разнообразием форм, блеска, красок тех природных минеральных образований, которыми так богата земная кора. В свою очередь, эмоциональные переживания и восхищение этими природными объектами, несомненно, послужат дополнительным стимулом для молодых посетителей музея остановить свой выбор на профессии геолога.

Дистанционная работа Центра в режиме онлайн

Важнейшее направление работы Центра — телемосты. Они включают лекции, транслируемые из студии Центра ГГМ РАН в различные регионы РФ и ближнее зарубежье. Все телемосты осуществляются в режиме онлайн, благодаря чему слушатели лекций могут задавать вопросы лектору и получать на них ответы также в реальном режиме времени (рис. 3). Организация лекций и проведение телемостов осуществляются руководителем Центра А.В. Титовой [6].



Рис. 3. Телемост: лекция академика РАН В.И. Осипова «Устойчивое развитие. Экологический аспект», 20.03.2019

Проект «Телемост» включает:

- организацию лекционных курсов с участием видных ученых РАН, деятелей науки и техники, политических деятелей;
- проведение дискуссий, совещаний, конференций, презентаций и других информационных коммуникационных компетенций;
- создание условий оперативного обмена информацией.

Среди состоявшихся телемостов отметим лекцию лидера политической партии «Справедливая Россия» С.М. Миронова по теме: «Есть такая профессия — геолог». Будучи по образованию геофизиком, С.М. Миронов прекрасно знаком с тонкостями профессии, с ее привлекательными сторонами и трудностями. Он рассказал о своем обширном опыте полевых работ в непростых условиях. В ответах на последовавшие затем вопросы он убедительно показал актуальность, важность и востребованность профессий геолога и геофизика в современном народном хозяйстве нашей страны (рис. 4).

Тематика проведенных телемостов весьма разнообразна. Она охватывает следующие проблемы, весьма актуальные для настоящего этапа развития современного общества и экономики страны с учетом внедрения цифровых технологий:

- цифровизация отраслей экономики и ее роль в развитии цивилизации в целом;
- экологический аспект устойчивого развития;
- специфика подготовки менеджмента для горнодобывающих компаний в современных условиях;

- взаимодействие государства и бизнеса при геологическом изучении недр;
- перспективы изучения системы «Земля – Луна»;
- перспективы использования гидротермальных ресурсов в России;
- перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в геологии и горном деле;

- проблемы биосферы в свете учения В.И. Вернадского.

Накопленный к настоящему времени опыт проведения телемостов разнообразной тематики с участием видных деятелей науки и техники свидетельствует об эффективности этой методологии для достижения основной цели Центра: формирования кадрового резерва для производства и науки из числа талантливых детей и молодежи.



**Рис. 4. Телемост: лекция С.М. Миронова
«Есть такая профессия – геолог», 12.02.2018**

Другое направление работы Центра – видеоэкскурсии в режиме реального времени по тематике, охватывающей различные проблемы геологии, палеонтологии, минералогии. Они транслируются посредством инстаграм-канала IGTV (Instagram TV). Их принципиальная особенность заключается в том, что они могут проводиться по запросу педагогов на заранее оговоренные темы. Так, специальная лекция подготовлена по теме, которая имеет особенно важное значение в геологии и, соответственно, широко представлена в Геологическом музее: минералы, их физические свойства, признаки, по которым их разделяют, их использование в различных сферах деятельности человека (рис. 5).

В рамках работы Центра активную работу ведет Клуб юных геологов. Его основная функция – работа с детьми, проявившими повышенный интерес к геологии. Это предъявляет особые требования к преподавателям Клуба, поскольку необходим постоянный поиск нестандартных и разнообразных приемов, методов и подходов. В Клубе дети постигают азы геологии, изучая геологические образцы горных пород, минералов, полезных ископаемых, их состав, для чего помещения, где происходят занятия, оборудованы микроскопами, интерактивными досками, макетами геологических объектов. Дети (в сопровождении взрослых) приезжают в здание ГГМ РАН, где располагается Клуб, со всей Москвы и даже из Подмосковья. Это требует немалого времени и значительных усилий, тем более что дети посещают Клуб после школьных уроков. Разумеется, та часть занятий, которая посвящена работе с образцами, требует их присутствия в помещении Клуба. Однако программа занятий с юными геологами включает ознакомление и с другими разделами геологической науки: это основные структуры земной коры, геологические процессы, методы, которые используются современными геологами для решения разнообразных задач. Особое направление

программы Клуба — геология морей и океанов, поскольку водная поверхность занимает более двух третей земной поверхности. Все эти аспекты излагаются преподавателями максимально доступно и наглядно. С этой целью они заранее готовят лекции со значительным количеством ярких иллюстраций, а также выбирают наиболее наглядные геологические образцы. Для этой части деятельности Клуб в настоящее время также начал использовать режим работы онлайн, тем более что практически каждая семья сейчас имеет в своем распоряжении компьютер, подключенный к сети Интернет. Практически этот режим осуществляется путем рассылки детям заданий и методических материалов с последующим опросом и дискуссией в программе Skype в режиме конференции. Юные участники Клуба с интересом включаются в эту форму работы, с учетом того, что нахождение в среде Интернета для современных детей не представляет трудностей.



Рис. 5. Видеотрансляция экскурсии, посвященной свойствам минералов, в режиме реального времени посредством инстаграм-канала IGTV (Instagram TV)

Центр осуществляет еще одно направление, в рамках которого также используются цифровые технологии. Речь идет о конкурсных проектах для подрастающего поколения: «Богатство недр моей страны», «Вырасти своего студента», «Дети — детям», «В таланте все едины», «Один день моей страны». В их подготовке и проведении, помимо учредителей Центра, участвуют и другие заинтересованные образовательные организации: Московский городской методический центр Департамента образования, Московский детско-юношеский центр экологии, краеведения и туризма, Московский геологоразведочный техникум, ведущие отраслевые вузы РФ, а также ведущие отраслевые предприятия. Проекты являются объединяющими в рамках как отраслевых задач, так и целей Центра в направлении кадрового подбора из числа талантливых детей для производства и науки. В дистанционной форме проводятся представление проектов участников и обсуждение текущих организационно-технических вопросов, предварительный просмотр проектов, представленных участниками, взаимодействие с руководителями проектов. Дистанционно осуществляется ознакомление специалистов экспертных комиссий с представленными проектами. С этой целью создана база данных выставленных на конкурсы работ в электронном формате, к которой имеют доступ специалисты, осуществляющие анализ и отбор проектов. Кроме того,

участники конкурса имеют возможность представить короткие видеосюжеты по теме работ, которые они выставляют на конкурсы. Видеосюжеты также будут оцениваться специалистами в режиме дистанционного взаимодействия. При отсутствии возможности проведения очной защиты работ предусматривается их рассмотрение в режиме онлайн. Победители конкурсов награждаются ценными призами.

Перспективы развития цифровых технологий

Активное использование цифровых технологий началось в ГГМ РАН более трех лет тому назад, и к настоящему моменту в этом направлении накоплен немалый опыт [1–3, 5, 6]. Он же и обозначил возникающие проблемы, что не удивительно, поскольку речь идет о новом формате взаимодействия музейного и преподавательского сообщества. Дистанционные формы с использованием цифровых технологий особенно актуальны для просветительских и образовательных учреждений, когда они вынуждены работать с учениками и студентами в режиме удаленного доступа. Для работы в условиях карантина коллективом музея в качестве дальнейшего развития взаимодействия с преподавательским сообществом предлагается ряд других научно-просветительских программ. Они включают, прежде всего, усовершенствованные формы лекций и экскурсий в режиме онлайн, а также другие разработки на основе цифровых технологий.

Перечисленные проекты выполняются в рамках научной темы 0140-2019-0006 Министерства науки и высшего образования РФ «Создание коммуникационной стратегии оптимизации образовательного процесса по естественно-научным предметам в области наук о Земле музейными средствами. Профилирование учащихся образовательных учреждений по специальностям горно-геологического профиля».

Список литературы

1. Малышев Ю.Н., Титова А.В. Роль и задачи естественно-научных музеев в образовательном процессе по специальностям горно-геологического профиля // Горная промышленность. 2017. № 2. С. 108–109.
2. Малышев Ю.Н., Титова А.В., Пучков А.Л. Инновации в горно-геологическом образовании // Горный журнал. 2018. № 10 (2255). С. 93–98.
3. Малышев Ю.Н., Титова А.В. Вырастим своего студента. Инновационные подходы в горно-геологическом образовании // Горная промышленность. 2019. № 3 (145). С. 98–102.
4. Малышев Ю.Н., Титова А.В., Пучков А.Л., Титов Г.И. Принципиальная модель создания единой коммуникационной среды для формирования кадрового резерва для производства и науки минерально-сырьевого сектора экономики РФ // Горная промышленность. 2018. № 1 (137). С. 17–20.
5. Мирлин Е.Г., Хотченков Е.В., Черевковская И.А. Геологический музей как инновационная площадка просветительской работы с молодым поколением // Инноватика и экспертиза. 2019. № 3 (28). С. 132–142.
6. Титова А.В. Создание «Межвузовского академического центра навигации по специальностям горно-геологического профиля» на базе ГГМ РАН // Горная промышленность. 2015. № 5 (123). С. 34.

References

1. Malyshev Yu.N., Titova A.V. (2017) *Rol' i zadachi estestvenno-nauchnykh muzeev v obrazovatel'nom protsesse po spetsial'nostyam gorno-geologicheskogo profilya* [The role and tasks of natural science museums in the educational process in the specialties of the mining and geological profile] *Gornaya promyshlennost'* [Mining]. No. 2. P. 108–109.
2. Malyshev Yu.N., Titova A.V., Puchkov A.L. (2018) *Innovatsii v gorno-geologicheskom obrazovanii* [Innovations in mining and geological education] *Gornyy zhurnal* [Mining Journal]. No. 10 (2255). P. 93–98.
3. Malyshev Yu.N., Titova A.V. (2019) *Vyrastim svoego studenta. Innovatsionnye podkhody v gorno-geologicheskom obrazovanii* [Let's raise your student. Innovative approaches in mining and geological education] *Gornaya promyshlennost'* [Mining]. No. 3 (145). P. 98–102.

4. Malyshev Yu.N., Titova A.V., Puchkov A.L., Titov G.I. (2018) *Printsipial'naya model' sozdaniya edinoy kommunikatsionnoy sredy dlya formirovaniya kadrovogo rezerva dlya proizvodstva i nauki mineral'no-syr'evogo sektora ekonomiki RF* [The fundamental model of creating a unified communication environment for the formation of a personnel reserve for the production and science of the mineral resource sector of the Russian economy] *Gornaya promyshlennost'* [Mining]. No. 1 (137). P. 17–20.

5. Mirlin E.G., Hotchenkov E.V., Cherevkovskaya I.A. (2019) *Geologicheskij muzey kak innovatsionnaya ploshchadka prosvetitel'skoy raboty s molodym pokoleniem* [The Geological Museum as an innovative platform for educational work with the young generation] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. No. 3 (28). P. 132–142.

6. Titova A.V. (2015) *Sozdanie «Mezhvuzovskogo akademicheskogo tsentra navigatsii po spetsial'nostyam gorno-geologicheskogo profilya» na baze GGM RAN* [Creation of the «Interuniversity Academic Navigation Center for Mining and Geological Specialties» on the basis of the SGM RAS] *Gornaya promyshlennost'* [Mining]. No. 5 (123). P. 34.

НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-169-177

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ЗА РУБЕЖОМ

Д.Б. Изюмов, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, izyumov@extech.ru

Е.Л. Кондратюк, зам. нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, kel@extech.ru

Рецензент: *С.В. Стрельников*

В статье рассмотрены понятие кибербезопасности и ее особенности, представлены перечень регламентирующих документов США в области киберпространства и кибербезопасности, а также значимые научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и программы в области развития технологий кибербезопасности, проводимые Управлением перспективных исследовательских проектов Минобороны США (DARPA). Обобщены наиболее распространенные зарубежные технологии, используемые для защиты компьютеров, интеллектуальных устройств, маршрутизаторов, сетей и облачных сред, а также основные научно-технические проблемы развития технологий кибербезопасности.

Ключевые слова: кибербезопасность, киберпространство, кибератака, киберугроза, технология, информационно-коммуникационная система, машинное обучение, искусственный интеллект, программно-аппаратное средство, информационно-управляющая система, блокчейн, биометрическая аутентификация, стратегия.

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF THE DEVELOPMENT OF CYBERSECURITY TECHNOLOGIES ABROAD

D.B. Izyumov, Head of Department, SRI FRCEC, izyumov@extech.ru

E.L. Kondratyuk, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, kel@extech.ru

The article discusses the concept of cybersecurity and its features, presents a list of US regulatory documents in the field of cyberspace and cybersecurity, as well as significant research and development work and programs in the field of development of cybersecurity technologies conducted by the Department of Advanced Research Projects of the US Department of Defense (DARPA). The most common foreign technologies used to protect computers, smart devices, routers, networks and cloud environments, as well as the main scientific and technological problems of the development of cybersecurity technologies, are summarized.

Keywords: cybersecurity, cyberspace, cyberattack, cyberthreat, technology, information and communication system, machine learning, artificial intelligence, software and hardware, information management system, blockchain, biometric authentication, strategy.

В настоящее время за рубежом, особенно в США, развитию мер и технологий кибербезопасности уделяется самое пристальное внимание. Под кибербезопасностью понимается реализация комплекса мер по обеспечению многоуровневой защиты информационно-коммуникационных систем, компьютеров, сетей, программ и программных приложений, баз

и хранилищ данных от умышленных и случайных цифровых атак (кибератак), которые обычно направлены на получение доступа к конфиденциальной информации, ее изменение (искажение) и/или уничтожение, блокирование, кражу, а также на нарушение нормального функционирования министерств, ведомств, центров, лабораторий, компаний и предприятий¹.

При этом под защитой данных следует понимать обеспечение конфиденциальности, доступности, целостности и аутентичности информации. На сегодняшний день выполнять все эти функции одновременно не может ни одна из технологий кибербезопасности, поэтому соблюдение каждого из перечисленных принципов требует использования соответствующих решений.

Многоуровневая защита достигается объединением (дополнением) сотрудников, рабочих процессов и технологий кибербезопасности в единую организационную систему. Так, например, к настоящему времени самым большим источником риска в области кибербезопасности остается человеческий фактор, – по опросам зарубежных специалистов, 34 % успешных кибератак (киберинцидентов) связаны с ошибками, беспечностью, неосмотрительностью и непреднамеренными действиями сотрудников (персонала организации), еще 26 % – с устаревшими средствами контроля и безопасности в области IT-технологий, 13 % – с возможностью несанкционированного доступа, 10 % – с использованием облачных сервисов. Оставшиеся 17 % связаны с иными причинами, включая намеренное причинение физического вреда (саботаж) собственными сотрудниками организаций и извне, ошибки в программном обеспечении, отказ аппаратного обеспечения и др. [1]

Среди ведущих зарубежных стран (ВЗС) наибольшее внимание вопросам и проблемам выстраивания эффективной системы кибербезопасности, а также развития соответствующих технологий уделяется в США, которые занимают первое место на мировом технологическом рынке обеспечения функционала кибербезопасности. К настоящему времени США контролируют 16 % мирового рынка технологического обеспечения информационной безопасности, второе место с долей 5 % занимает Израиль.

По мнению американского военно-политического руководства, необходимость принятия мер по нейтрализации угроз национальной безопасности в киберпространстве обусловлена прежде всего стремительным ростом зависимости государственных и коммерческих структур от использования различных автоматизированных информационно-управляющих систем (ИУС), а также высоким уровнем их уязвимости². Значительная роль при этом отводится Министерству обороны (МО) США, которое финансирует многочисленные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), направленные на совершенствование и разработку полного спектра средств (оборонительных, разведывательных и наступательных), необходимых для сдерживания вероятного противника в киберпространстве. Так, в США в целях эффективного реагирования вооруженных сил (ВС) на угрозы национальной безопасности в киберпространстве в 2010 г. было сформировано командование боевых действий в кибернетическом пространстве (United States Cyber Command – USCYBERCOM), которое в масштабах ВС страны является главным органом управления боевыми действиями в этой сфере и отвечает за решение комплекса профильных задач (рис. 1). А уже с 2011 г. в США за киберпространством закреплён статус одной из ключевых сфер ведения боевых действий наряду с традиционными (воздушно-космическая, наземная

¹ Здесь и далее подразумеваются министерства, ведомства и различные организации сектора военно-промышленного комплекса (ВПК) ведущих стран мира.

² По оценке американских экспертов, в настоящее время ежедневно выявляется не менее 250 тыс. попыток несанкционированного доступа в компьютерные сети Пентагона, при этом в целом на правительственные и ведомственные информационные ресурсы США ежемесячно совершается около 2 млрд кибератак различной сложности и направленности.

и морская). В последующие годы были приняты две важнейшие стратегии в области киберпространства и кибербезопасности:

- в 2015 г. – Стратегия действий Министерства обороны США в киберпространстве (Department of Defense Cyber Strategy);
- в 2018 г. – Национальная киберстратегия (National Cyber Strategy).



Рис. 1. Киберкомандование ВС США

Эти документы полностью согласованы с обновленной в 2018 г. Стратегией национальной безопасности США (National Security Strategy), определяют основные направления развития киберпотенциала ВС страны, предъявляемые к нему требования, взгляды американской администрации на вызовы и угрозы в цифровой сфере, обеспечение информационной безопасности и организацию сдерживания противника в компьютерных сетях, всестороннюю защиту интересов страны, а также порядок решения общенациональных и ведомственных задач в киберпространстве [1, 2].

Однако, в соответствии с аналитическим докладом Научного комитета МО США, несмотря на осуществленные за последнее десятилетие значительные организационно-структурные преобразования и законодательные усилия, существующие технологии кибербезопасности и возможности не обеспечивают надежную защиту киберпространства от атак, проводимых с использованием неизвестных ранее инновационных технологических решений.

По оценкам американских специалистов в области информационной безопасности, наиболее вероятными источниками угроз для ИУС являются спецслужбы иностранных государств, террористические и преступные группировки, промышленно-финансовые группы, хакеры, а также лица, допущенные к работе с системами в порядке служебной деятельности (инсайдеры). По заявлению заместителя министра обороны США, более 100 иностранных разведок за последние годы пытались проникнуть в военные компьютерные сети США. Стоит подчеркнуть, что только по открытым программам МО США на обеспечение и совершенствование системы военной кибербезопасности ежегодно выделяется 1,5–3,0 млрд долл., из которых около 500 млн долл. направлены на исследования в области новых кибертехнологий с акцентом на оборонительный аспект [3].

К значимым НИОКР и программам в области развития технологий кибербезопасности стоит отнести следующие работы, проводимые Управлением перспективных исследовательских проектов МО США (DARPA):

- НИОКР «Интегрированные системы безопасности аппаратно-программных средств» (Cyber Fault-Tolerant Attack Recovery), направленная на повышение устойчивости средств обработки информации за счет криптографических вычислений и верификации аппаратного обеспечения;

- НИОКР «Устойчивые к кибератакам системы восстановления работоспособности инженерных ресурсов» (Systems Security Integrated Through Hardware and Software), направленная на снижение вероятности несанкционированного доступа к ресурсам военных и правительственных сетей;

- НИОКР «Активная кибероборона» (Active Cyber Defense), направленная на разработку специализированных программно-технических средств в области кибербезопасности;

- НИОКР «Комплексные кибероперации» (Symbiotic Cyber Operations), направленная на развитие средств и способов ведения наступательных и оборонительных действий в киберпространстве, оценку и выявление уязвимостей систем защиты информации вероятного противника;

- НИОКР «Конфигурация безопасности» (Configuration Security), направленная на исследование адаптивных систем защиты информации, методов и способов обнаружения и устранения уязвимостей информационных систем, интегрированных в объекты критической инфраструктуры и военную технику США;

- НИОКР «Защита от крупномасштабных скоординированных атак «отказ в обслуживании» (Extreme Distributed Denial of Service Defense), направленная на разработку новых архитектурных решений построения сетей, внедрение в глобальном масштабе устройств сканирования и фильтрации трафика с элементами машинного обучения, а также на имитацию ложной деятельности в информационно-коммуникационных сетях;

- программа «План Икс» (Plan X), направленная на повышение эффективности взаимодействия операторов с киберпространством, создание технологии автоматизированного анализа и трехмерной визуализации телекоммуникационных сетей, программно-технических средств планирования действий в киберпространстве, оценки вероятного ущерба от кибератак, а также на подготовку специалистов по проведению киберопераций;

- программа «Радикс» (RADICS), направленная на разработку средств защиты сетевой и вычислительной инфраструктуры объектов американской электроэнергетики от кибервоздействий, а также на разработку единых стандартов по разделению аппаратных, сетевых и информационных ресурсов на национальные, союзные и иные;

- программа «Сетевая защита» (Network Defense), направленная на вовлечение национальных корпораций в процесс обеспечения государственной безопасности и переход от локальной защиты информации к совместной путем создания системы распознавания подозрительного поведения пользователей сети Интернет и пресечения их незаконной деятельности в киберпространстве;

- другие программы, преимущественно нацеленные на повышение точности и оперативности ведения киберразведки, совершенствование методов изучения состава и поведения участников информационного обмена в киберпространстве, на автоматизацию процесса установления подлинности сообщений, видеофрагментов и изображений в информационных сетях и т. п.

За последние три года объем финансирования DARPA работ в области кибербезопасности вырос на 16 %: с 331,7 млн долл. в 2016 г. до 395,3 млн долл. в 2019 г. [4].

Анализ проводимых исследований и разработок показывает, что технологии кибербезопасности являются важнейшим элементом, предоставляющим организациям и отдельным пользователям инструменты, необходимые для защиты от кибератак. В целом за рубежом

к наиболее распространенным технологиям, используемым для защиты компьютеров, интеллектуальных устройств, маршрутизаторов, сетей и облачных сред, относятся:

- межсетевые экраны нового поколения;
- шлюзы антивирусной защиты (антивирусное программное обеспечение) и фильтрации контента (фильтрация DNS)³;
- защита от вредоносного программного обеспечения (ПО);
- блокчейн⁴;
- искусственный интеллект (ИИ) и технология машинного (глубокого) обучения;
- биометрическая аутентификация;
- криптографическое шифрование информации;
- различные решения для защиты электронной почты и др. [5].

Так, внедрение и использование возможностей ИИ и технологии машинного обучения позволяет обнаруживать и устранять большую часть кибератак, цель которых — вывод из строя сайтов компаний, компрометация конфиденциальных данных и их хищение, включая хищение денежных средств организаций. В частности, решения, основанные на технологиях ИИ и машинного обучения, позволяют предотвращать кибератаки, направленные на датчики и контроллеры, установленные на объектах промышленного производства сектора ВПК. В данном случае ИИ анализирует все изменения в производственных процессах и информирует специалистов предприятия о потенциальных атаках. Более того, система обнаружения кибератак, построенная по технологии машинного обучения, способна моментально информировать персонал (сотрудников организации) о переходе по подозрительным ссылкам, присылать сообщения об отправке нежелательного ответа получателям за пределами домена, а также предлагать различные встроенные функции защиты от новых киберугроз.

Стоит подчеркнуть, что аналитика в кибербезопасности, а также облачные и мобильные технологии являются наиболее приоритетными зарубежными технологиями в области информационной безопасности [6,7].

Анализ текущих и долгосрочных планов развития, обновления и модернизации системы информационной безопасности США, Национальной киберстратегии страны, а также открытых программ Министерства обороны (включая программы и проекты DARPA) на обеспечение и совершенствование системы военной кибербезопасности показал, что основными научно-техническими проблемами развития технологий кибербезопасности являются:

- разработка и развитие оперативных концепций обеспечения безопасности военных компьютерных сетей и систем, а также архитектур их построения (например, внедрение в глобальном масштабе устройств сканирования и фильтрации трафика с элементами машинного обучения);
- качественное усовершенствование компьютерной и сетевой архитектуры;
- создание общего информационного пространства и единой системы кибербезопасности;
- развитие и разработка новых надежных операционных систем, нового программного обеспечения и соответствующих приложений в области информационной безопасности;

³ DNS-фильтрация — это высокоскоростная фильтрация трафика в сети Интернет без ограничений по объему и полосе пропускания трафика; контент-фильтр DNS позволяет пользователям управлять доступом к онлайн-ресурсам, избавляет от ненужной и вредной информации в Сети.

⁴ Блокчейн представляет собой технологию цепочек взаимосвязанных информационных блоков, хранимых и разнесенных на разных компьютерах (распределенная база данных). Технология блокчейна ориентирована больше на защиту финансовых ресурсов организаций (финансового сектора), может применяться при идентификации пользователей сети и создании различных приложений в области кибербезопасности. Технология блокчейна гарантирует не только сохранность, но и неизменность и подлинность данных, а также делает практически невозможным взлом систем идентификации.

– проведение сбора и анализа сведений об угрозах: URL-адресах, доменах, IP-адресах, контрольных суммах файлов, названиях угроз, статистики и поведенческих данных, данных WHOIS/DNS и т. п.;

– разработка специальных программно-аппаратных средств (например, средств обнаружения кибератак и вторжений);

– повышение уровня индивидуальной защиты автоматизированных информационно-управляющих систем (прежде всего – за счет поддержания в рабочем состоянии и своевременного обновления специального защитного программного обеспечения и операционной системы, а также использования лучших коммерческих разработок в области обеспечения компьютерной, сетевой и информационной безопасности);

– создание и развертывание новых автоматизированных систем и сетей передачи данных в целях многократного резервирования существующих автоматизированных информационно-управляющих систем;

– повышение точности и оперативности определения конкретных источников деструктивных действий в киберпространстве;

– обеспечение встраивания алгоритмов киберзащиты на этапе проектирования информационно-коммуникационных систем;

– повышение приоритетности поэтапной разработки, тестирования и внедрения сложной системы перед ее комплексной сдачей в эксплуатацию;

– создание и развитие целостной многоуровневой системы управления киберрисками;

– усиление и развитие мер активной защиты, направленных на обнаружение, анализ и подавление киберугроз и уязвимостей в режиме реального времени с применением специальных аппаратно-программных средств;

– совершенствование системы автоматизированного обмена информацией;

– разработка и развитие технологий доступа к нужным сетям при отсутствии подключения к сети Интернет;

– разработка интеллектуальных сетевых экранов нового поколения;

– развитие технологий поведенческого анализа (User and Entity Behavior Analytics – UEBA);

– развитие методов и способов биометрической аутентификации (подразумевается использование «закрытых данных», таких как сердечный пульс человека, форма мочек ушей, рисунок внутриглазных сосудов, а также имплантирование под кожу чипов, анализ нейронных связей человека, тест ДНК, использование таблеток-компьютеров и др.);

– обеспечение гарантированного исключения принятия искусственным интеллектом (суперкомпьютером) неверных решений (так, специалисты по кибербезопасности до сих пор не смогли полностью решить проблему защиты от «ложных срабатываний» при использовании искусственного интеллекта; данное направление имеет важнейшее значение для развития информационной безопасности в будущем);

– развитие технологии машинного (глубокого) обучения;

– повышение устойчивости средств обработки информации за счет криптографических вычислений и верификации аппаратного обеспечения;

– внедрение и развитие технологии квантовой криптографии⁵;

⁵ Квантовая криптография – это технология, позволяющая обеспечить практически абсолютную защиту шифрованных данных от взлома, основанная на принципе квантового распределения ключей в квантовой сети. При попытке взлома такой сети фотоны, передающие информацию, меняют свое состояние, внося ошибки в передаваемые данные. К настоящему времени эта технология пока не используется на практике, однако уже близка к этому. За рубежом активные исследования в этой области проводят компании IBM, GAP-Optique, Mitsubishi, Toshiba, Национальная лаборатория в Лос-Аламосе, Калифорнийский технологический институт, а также холдинг QinetiQ, поддерживаемый британским Министерством обороны. Считается, что данное направление позволит существенно улучшить методы защиты переноса данных.

- внедрение и развитие технологии защиты движущейся цели⁶;
- разработка технологии обнаружения «инфицированных» процессоров ЭВМ, параллельно выполняющих одинаковую задачу (цель — снижение вероятности несанкционированного доступа к ресурсам военных и правительственных сетей);
- ускорение процесса приобретения новых информационных и технологий кибербезопасности (например, за счет отказа или переноса сроков некоторых заказов в пользу быстрых пошаговых улучшений уже разработанных систем; сокращения времени проведения профильных НИОКР с 7–8 до 1–3 лет; проведения многоуровневой проверки на всех этапах модернизации как специального, так и общего программного обеспечения; ужесточения мер безопасности для всех систем,купаемых Министерством обороны, включая программное обеспечение и аппаратное оборудование, и других мер);
- разработка и создание электронной компонентной базы (процессоров, микросхем, чипов памяти и других комплектующих) собственного производства (данное направление имеет комплексный характер: от защиты собственных информационно-управляющих систем от так называемых «закладок» до развития национальной отрасли и технологий производства электронной компонентной базы в целом);
- разработка единых стандартов обеспечения кибербезопасности и их внедрение в автоматизированные системы органов государственной власти, частных корпораций и сети общего пользования как в США, так и в странах-партнерах;
- разработка специализированных программно-технических комплексов для отработки мероприятий оперативной и боевой подготовки ВС США, связанных с кибербезопасностью;
- создание технологии автоматизированного анализа и трехмерной визуализации телекоммуникационных сетей;
- развитие партнерских отношений с союзниками по блоку НАТО и другими международными партнерами для укрепления коллективной кибербезопасности (это целый блок проблем, направленный на разработку новых возможностей, технологий и поддержание коллективных усилий по кибербезопасности; усиление мер защиты секретной информации сектора ВПК; выработку единого комплекса правительственных и межправительственных мер, направленных на управление рисками, связанными с импортом информационных и телекоммуникационных технологий, увеличением количества контрафактных программных продуктов и аппаратных компонентов; развитие системы международного обмена информацией, включая своевременные сообщения о кибернетической деятельности и инцидентах, о сигнатурах (ключах) выявленных вредоносных программных кодов, о враждебных лицах и группировках);
- разработка новых методик и концепций обучения персонала, ужесточение мер отчетности, внутреннего мониторинга и управления информационными потоками, а также индивидуальной ответственности за нарушение требований безопасности;
- выработка, создание и совершенствование условий для привлечения высококвалифицированных специалистов в области кибербезопасности из гражданских и коммерческих структур [8, 9].

Таким образом, анализ научно-технических проблем развития технологий кибербезопасности в ведущих зарубежных странах показал, что к настоящему времени среди приоритетных зарубежных технологий информационной безопасности стоит выделить аналитику

⁶ В основе технологии защиты движущейся цели лежит принцип исключения доступа авторов кибератак к коду, который используется при шифровании данных. По мнению ряда зарубежных экспертов, в настоящее время наличия одного факта шифрования информации недостаточно. Для надежной защиты данных необходимо непрерывно изменять систему. Данная технология также является новой в сфере кибербезопасности (впервые была представлена в США в 2016 г.) и пока широкого распространения не получила.

в кибербезопасности, облачные и мобильные технологии. К менее приоритетным технологиям кибербезопасности в ВЗС относят искусственный интеллект, блокчейн и биометрическую аутентификацию. При этом, несмотря на некоторые недавно появившиеся технологии кибербезопасности, большинство существующих технологий были представлены более десяти лет назад, включая технологии машинного обучения и технологии детектирования в облаке.

По мнению зарубежных специалистов, в среднесрочной и долгосрочной перспективе наибольшее применение и развитие получают решения, предназначенные для предупреждающего выявления кибератак и нарушений систем информационной безопасности.

Основные научно-технические проблемы в рассматриваемой области связаны с уровнем технической и технологической оснащенности ведущих развитых зарубежных стран, их возможностей в сфере информационно-телекоммуникационных и компьютерных технологий, а также с наличием высококвалифицированных IT-специалистов и специалистов в области кибербезопасности.

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания 2020 г. № 075-01394-20-02.

Список литературы

1. National Cyber Strategy of the United States of America. September 2018. URL: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/09/National-Cyber-Strategy.pdf> (дата обращения: 13.04.2020).
2. Department of Defense Cyber Strategy. URL: https://media.defense.gov/2018/Sep/18/2002041658/-1/-1/1/CYBER_STRATEGY_SUMMARY_FINAL.PDF (дата обращения: 13.04.2020).
3. TechBeacon: 5 emerging security technologies set to level the battlefield. URL: <https://techbeacon.com/security/5-emerging-security-technologies-set-level-battlefield> (дата обращения: 13.04.2020).
4. Information Age: 10 cyber security trends to look out for in 2019. URL: <https://www.information-age.com/10-cyber-security-trends-look-2019-123463680>.
5. SRI International: Cyber Security Research & Development Center. URL: <https://www.sri.com/work/projects/csrdc> (дата обращения: 13.04.2020).
6. IBM: Cyber Security Technologies. URL: <http://www.research.ibm.com/haifa/dept/vst/csqt.shtml> (дата обращения: 13.04.2020).
7. CyberDegrees: Hot Technologies in Cyber Security. URL: <https://www.cyberdegrees.org/resources/hot-technologies-cyber-security> (дата обращения: 13.04.2020).
8. Lauren C. Williams. DARPA takes on cyber defense with hackathons. Mar 08, 2019. URL: <https://fcw.com/articles/2019/03/08/darpa-chase-cyber-williams.aspx> (дата обращения: 13.04.2020).
9. DARPA Prototypes New AI-Enabled «Breakthrough» Cyberattack «Hunting» Technology. URL: <https://defensemaven.io/warriormaven/cyber/darpa-prototypes-new-ai-enabled-breakthrough-cyberattack-hunting-technology-6yKXpdVGuUupUV-xgIJ9cA> (дата обращения: 13.04.2020).

References

1. National Cyber Strategy of the United States of America. September 2018. Available at: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/09/National-Cyber-Strategy.pdf> (accessed: 13.04.2020).
2. Department of Defense Cyber Strategy. Available at: https://media.defense.gov/2018/Sep/18/2002041658/-1/-1/1/CYBER_STRATEGY_SUMMARY_FINAL.PDF (accessed: 13.04.2020).
3. TechBeacon: 5 emerging security technologies set to level the battlefield. Available at: <https://techbeacon.com/security/5-emerging-security-technologies-set-level-battlefield> (accessed: 13.04.2020).
4. Information Age: 10 cyber security trends to look out for in 2019. Available at: <https://www.information-age.com/10-cyber-security-trends-look-2019-123463680> (accessed: 13.04.2020).
5. SRI International: Cyber Security Research & Development Center. Available at: <https://www.sri.com/work/projects/csrdc> (accessed: 13.04.2020).

6. IBM: Cyber Security Technologies. Available at: <http://www.research.ibm.com/haifa/dept/vst/csqt.shtml> (accessed: 13.04.2020).
7. CyberDegrees: Hot Technologies in Cyber Security. Available at: <https://www.cyberdegrees.org/resources/hot-technologies-cyber-security> (accessed: 13.04.2020).
8. Lauren C. Williams. (2109) DARPA takes on cyber defense with hackathons. Mart 08. Available at: <https://fcw.com/articles/2019/03/08/darpa-chase-cyber-williams.aspx> (accessed: 13.04.2020).
9. DARPA Prototypes New AI-Enabled «Breakthrough» Cyberattack «Hunting» Technology. Available at: <https://defensemaven.io/warriormaven/cyber/darpa-prototypes-new-ai-enabled-breakthrough-cyberattack-hunting-technology-6yKXpdVGuUupUV-xgIJ9cA> (accessed: 13.04.2020).

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-178-184

УГРОЗЫ БЕЗОПАСНОСТИ В ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ЗА РУБЕЖОМ И МЕТОДЫ ИХ ПАРИРОВАНИЯ

Д.Б. Изюмов, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, izyumov@extech.ru

Е.Л. Кондратюк, зам. нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, kel@extech.ru

Рецензент: С.В. Стрельников

В статье представлены результаты анализа средств поражения в воздушно-космической среде за рубежом. Рассмотрены виды угроз, направления развития средств их парирования, а также научно-технические проблемы разработки и создания.

Ключевые слова: воздушно-космическая среда, космический аппарат, оружие, военная и специальная техника, основные направления развития, перспективные исследования, угрозы безопасности, средства поражения.

SECURITY THREATS IN THE AEROSPACE ENVIRONMENT ABROAD AND METHODS FOR COUNTERING THEM

D.B. Izyumov, Head of Department, SRI FRCEC, izyumov@extech.ru

E.L. Kondratyuk, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, kel@extech.ru

The article presents the results of the analysis of weapons in the aerospace environment abroad. The types of threats, the directions of development of means of countering them, as well as the scientific and technological problems of development and creation, are examined.

Keywords: aerospace environment, spacecraft, weapons, military and special equipment, the main directions of development, prospective research, security threats, weapons.

Анализ тенденций развития средств нападения и принципов их боевого применения показывает, что в современных условиях за рубежом в качестве основных угроз безопасности в воздушно-космической среде рассматриваются:

- высокоточное оружие (ВТО) различного базирования;
- беспилотные летательные аппараты (БЛА) различных типов, в том числе с рубежей вне зон досягаемости средств противовоздушной обороны (ПВО);
- перспективные гиперзвуковые летательные аппараты (ГЛА);
- авиационные крылатые ракеты (КР), а также КР морского и наземного базирования для поражения целей в воздушно-космической среде.

Более общий перечень, принятый, например, в США для классификации угроз в воздушно-космической среде, включает:

- кинетические средства поражения;
- некинетические средства поражения;
- электронные средства поражения;
- угрозы в киберпространстве и др.

В свою очередь, перечень вооружений, представляющих угрозу в воздушно-космической среде, как и его наличие, зависит от уровня научно-технического и технологического развития государства, а также от возможностей его приобретения в других странах.

Так, в Национальной оборонной стратегии США 2018 г. (National Defense Strategy 2018) в перечень стран, от которых может исходить угроза безопасности США и странам — членам блока НАТО в воздушно-космической среде, входят: КНР, Россия, Индия, Иран, КНДР, Пакистан, Украина, Ливия и др. [1].

Далее более детально рассмотрим угрозы в воздушно-космической среде, согласно их американской классификации.

Кинетические средства поражения

Кинетическое оружие используется для нанесения прямого удара или взрыва боеголовки вблизи спутника или космического объекта. Противоспутниковое оружие (Anti-satellite weapon — ASAT) прямого удара поражает объект в точке пересечения их траекторий без выхода перехватчика на орбиту. Для этих целей могут быть использованы доработанные баллистические ракеты и противоракеты (ПР) системы ПРО, при условии, что они обладают достаточной энергией для достижения орбиты объекта поражения. Другим видом кинетического оружия ASAT является выводимое на орбиту, которое после получения данных целеуказания маневрирует и поражает цель. Третий тип кинетического оружия — коорбитальное оружие (как правило, спутники двойного назначения), которое находится в режиме ожидания на орбите в течение требуемого временного периода (до нескольких лет) и при необходимости может быть активировано.

Однако ключевой технологией, необходимой для обеспечения эффективности оружия как прямого удара, так и орбитального и коорбитального, является способность обнаруживать, отслеживать и направлять перехватчик на цель. Бортовая система наведения требует относительно высокого уровня технологического развития государства и значительных ресурсов для развертывания данных систем. Коорбитальный спутник без бортовой системы наведения может быть использован в основном только для преднамеренного маневра на траекторию другого спутника в целях создания помех его функционированию, чтобы вынудить его маневрировать на безопасное расстояние. Тем не менее подобные ситуации вряд ли могут представлять серьезную угрозу в отсутствие передовых систем наведения, необходимых для их использования в качестве эффективного средства поражения.

Некинетические средства поражения

Некинетические средства поражения космических объектов представлены лазерным оружием, СВЧ-оружием (High-powered microwaves — HPM) и импульсным электромагнитным оружием (Electromagnetic pulse — EMP). Данное оружие поражает цель без физического контакта (воздействия).

Мощные лазеры могут использоваться для повреждения или разрушения критически важных компонентов спутника, таких как панели солнечных батарей. Лазеры также могут применяться для временного или постоянного ослепления датчиков спутников. Однако для поражения спутника лазером с Земли требуются высокое качество и мощность луча (для прохождения через слои атмосферы), наличие адаптивной оптики и передовых технологий управления и наведения лазерного луча. Очевидно, что данные системы являются дорогостоящими и требуют высокого уровня развития технологий. На данном этапе развития технологий лазер может быть эффективно применен в случае, если он находится в зоне видимости, что, в свою очередь, позволяет определить источник происхождения излучения.

СВЧ-оружие может использоваться для разрушения электроники космического аппарата, повреждения систем хранения и передачи данных, перезапуска процессоров и, при высоких уровнях мощности, повреждения электрических цепей и процессоров. Поскольку электромагнитные волны рассеиваются и ослабевают на расстоянии, а слои атмосферы снижают мощность передаваемой энергии, атаковать спутник СВЧ-оружием оптимально с другого спутника, находящегося на той же орбите, или летательного аппарата, находящегося на максимально допустимых высотах. Однако, как и в случае применения лазерного оружия, определение источника СВЧ-воздействия представляется возможным.

Применение ядерного оружия в воздушно-космической среде является неизбежным видом некинетического поражения. Несмотря на то что взрыв ядерного боеприпаса поразит объект электромагнитным, термическим и радиационным излучением, он представляет угрозу всем неэкранированным спутникам, находящимся в зоне поражения.

Электронные средства поражения

С помощью электронных средств поражения воздействие на космические системы осуществляется путем подавления или подмены радиочастотных (РЧ) входных и/или выходных сигналов. Радиоэлектронное подавление (РЭП) является обратимой формой воздействия, потому что, как только система РЭП противника будет отключена, функционирование спутника (КА) восстановится. Технологии и средства, необходимые для подавления многих типов спутниковых сигналов, технологически доступны и являются относительно недорогими. Подавление трудно обнаружить или отличить от случайного воздействия, что затрудняет идентификацию источника помех и осведомленность об источнике. В 2015 г. командующий космическими силами ВВС США отметил, что американские военные непреднамеренно подавляют (глушат) свои же собственные спутники связи в среднем до 20 раз в месяц. В основном в США электронное воздействие рассматривается в виде подмены сигналов (spoofing) и искажения пеленга ложной помехой (meaconing) [2].

Угрозы в киберпространстве

Кибератаки являются еще одним типом угроз, с помощью которых создаются сложности при передаче РЧ-сигналов. В отличие от прямого физического воздействия кибератаки нацелены на искажение или уничтожение непосредственно информационных данных.

Кибератаки также могут использоваться для мониторинга трафика данных, для мониторинга самих данных или для введения ложных или поврежденных данных в систему. Эти виды кибератак различаются сложностью реализации и требуемой технической оснащенностью. В целом кибератака требует наличия данных о направленности системы, ее целях и механизмах функционирования, но не требует значительных ресурсов для ее проведения. Несомненным достоинством кибератак является то, что они могут проводиться частными группами или отдельными лицами, являющимися негосударственными субъектами. Так, если противник сможет получить контроль над спутником с помощью кибератаки, то он может отключить системы, израсходовать запас топлива или повредить его электронику. При этом определение источника проведения кибератаки достаточно проблематично.

Таким образом, наличие различных типов вооружения в номенклатуре средств поражения в воздушно-космической среде непосредственно влияет на боеспособность и обороноспособность страны.

Согласно данным доклада «Угрозы в космосе – 2019» Центра стратегических и международных исследований США (Center for Strategic and International Studies – CSIS) военнополитическое руководство (ВПР) США в основном обеспокоено снижением или парированием возможностей, связанных с эскалацией вооруженных конфликтов или с навязыванием своей политической воли в различных регионах, представляющих интерес для США и их союзников [3]. Также ВПР США и стран НАТО опасается возникновения для вооруженных сил значительных оперативных проблем, которые делают военное вмешательство в регионы, представляющих интерес, более дорогостоящим и длительным. Также если данные средства используются в качестве средств парирования угроз в воздушно-космической среде, то уровень их развития и вариативность непосредственно сопряжены с обеспечением национальной безопасности.

В свою очередь, вероятный противник должен иметь информацию о нанесенном уроне в воздушно-космической среде в целях дальнейшего планирования операции. Таким образом, согласно заявлениям американских экспертов средства, позволяющие дезинформировать противника о нанесенном ущербе, причиненном в результате атаки, позволят снизить эффективность или предотвратить дальнейшее проведение операции. С другой стороны,

применение оружия «неточечного» поражения (например, ядерного оружия), наносящего побочный ущерб в космосе (например, образование большого количества космического мусора), может дополнительно обострить конфликт и обратить другие страны против атакующей стороны [4].

Наличие действующего Договора о ликвидации ракет средней и меньшей дальности (ДРСМД) во многом уменьшало номенклатуру средств поражения и обеспечения безопасности в воздушно-космической среде США. Однако в МО США всерьез обеспокоены вероятным выводом на орбиту российских и китайских так называемых спутников-убийц и/или спутников, предназначенных для зондирования земной поверхности и составления точных карт разных районов планеты, что среди прочего может использоваться в процессе подготовки полетных заданий для межконтинентальных баллистических ракет (МБР). К тому же согласно данным зарубежных СМИ в настоящее время в США отмечается отставание от России в области проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по разработке и созданию гиперзвукового оружия.

Ввиду вышесказанного выход США из ДРСМД, по мнению американских специалистов, позволил сохранить доминирующие позиции или, в крайнем случае, паритет в воздушно-космической среде.

В США в перечень основных научно-технических проблем в создании вооружений, которые в краткосрочной перспективе не позволят в полной мере обеспечить парирование угроз безопасности в воздушно-космической среде, входят:

- создание эффективных лазеров и СВЧ-оружия (например, проблемы с реализацией проекта Boeing YAL-1 (Air Borne Laser) (рис. 1) — в настоящее время признан дорогостоящим и на данном этапе развития американских технологий условно эффективным;
- создание эффективных средств высокоточного поражения (например, проблемы создания эффективной гиперзвуковой крылатой ракеты).



Рис. 1. Проект лазерной системы воздушного базирования Boeing YAL-1

Тем не менее США располагают широким арсеналом средств поражения в воздушно-космической среде, разработанных в рамках программы глобальной противоракетной обороны

(Global Missile Defense – GMD). Наибольшим потенциалом обладает комплекс наземного базирования GBMD (Ground-based Midcourse Defense), который допускает возможность поражать орбитальную цель на высоте до нескольких сотен километров. Противоракета в состоянии разогнать перехватчик до орбитальной скорости, что позволяет ему поразить цель в любой точке орбиты. При использовании мобильных РЛС система может осуществить перехват спутника над любой точкой Земли.

Значительным противоспутниковым потенциалом также обладает противоракетная система наземного и морского базирования Aegis. Эта система в состоянии поражать цель в воздушно-космической среде на высоте до 250 км противоракетами Standard Missile 3 (SM-3). Ранее из-за недостаточной скорости ПР радиус ее действия был ограничен. В результате модернизации до уровня SM-3 Block II данная противоракета стала оснащаться системой распознавания ложных целей, развивать скорость до 4,5 км/с и получила возможность поражать цели на дальности до 2700 км. В 2019 г. начато серийное производство SM-3 Block IIА (рис. 2). Также потенциалом для уничтожения спутников на низких орбитах обладает подвижный тактический комплекс ПРО THAAD (Terminal High Altitude Area Defense), высота поражения которого составляет около 200 км.



Рис. 2. Пуск противоракеты SM-3 Block IIА

Так, в США в рамках развития системы глобальной ПРО параллельно развивается система парирования угроз безопасности в воздушно-космической среде.

Кроме США, среди ведущих зарубежных стран, успешно разработавших и испытавших противоспутниковые системы, стоит выделить Израиль, КНР и Индию. Так, в 2019 г. Израиль вошел в перечень стран, обладающих технологией заатмосферного перехвата баллистических целей: на американском полигоне в шт. Аляска был успешно испытан комплекс «Хец-3» (Arrow-3) – ПР осуществила заатмосферный кинетический перехват. Индия в 2019 г. также провела успешные испытания, в рамках которых был поражен находящийся на низкой околоземной орбите (около 300 км) космический аппарат (в результате проведенных

испытаний на околоземной орбите появилось около 400 фрагментов космического мусора). В КНР к настоящему моменту известно уже о созданных как минимум 3–4 противоспутниковых ракетах Dong Neng-3 (рис. 3), также прошедших успешные испытания [5].

Таким образом, за рубежом создан значительный арсенал средств парирования угроз в воздушно-космическом пространстве. Выход США из ДРСМД способствует развитию соответствующих классов ракет (средней и меньшей дальности) и наращиванию военного потенциала, который может быть использован в качестве как средств обороны, так и средств нападения в воздушно-космической среде [6].



Рис. 2. Пуск противоракеты SM-3 Block IIА

На данном этапе развития технологий и вооружений за рубежом, и в частности в США, выход из ДРСМД позволит обеспечить безопасность на необходимом и достаточном уровне на период проведения НИОКР и создания эффективных передовых средств поражения в воздушно-космической среде. Такими средствами, в силу недостаточной развитости технологий, можно считать лазерное и гиперзвуковое вооружение, которое в краткосрочной и среднесрочной перспективе должно дополнить номенклатуру образцов вооружений для парирования угроз в космосе.

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания 2020 г. № 075-01394-20-02.

Список литературы

1. National Defense Strategy 2018. The United States of America. URL: <https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf> (дата обращения: 13.04.2020).
2. Ballistic missile defence // NATO, 25 July 2016. URL: https://www.nato.int/cps/ic/natohq/topics_49635.htm (дата обращения: 13.04.2020).
3. Space Threat Assessment 2019. An interactive summary of Space Threat Assessment 2019, a featured report from the CSIS Aerospace Security Project. URL: <https://aerospace.csis.org/space-threat-assessment-2019> (дата обращения: 13.04.2020).
4. Cyber Strategy 2018. DoD. URL: https://media.defense.gov/2018/Sep/18/2002041658/-1/-1/1/CYBER_STRATEGY_SUMMARY_FINAL.PDF (дата обращения: 13.04.2020).

5. Gertz B. STRATCOM: China Moving Rapidly to Deploy New Hypersonic Glider, 22 January 2016. URL: <https://freebeacon.com/national-security/stratcom-china-moving-rapidly-to-deploy-new-hypersonic-glider> (дата обращения: 13.04.2020).

6. Изюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л. Нарастание боевых возможностей противоракетной обороны США // Инноватика и экспертиза. 2019. Вып. 3 (28). С. 183–195. URL: http://inno-exp.ru/archive/28/2019-3_bw-color.pdf (дата обращения: 13.04.2020).

References

1. National Defense Strategy 2018. The United States of America. Available at: <https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf> (accessed: 13.04.2020).

2. Space Threat Assessment 2019. An interactive summary of Space Threat Assessment 2019, a featured report from the CSIS Aerospace Security Project. Available at: <https://aerospace.csis.org/space-threat-assessment-2019> (accessed: 13.04.2020).

3. Ballistic missile defense. NATO, July 25, 2016. Available at: https://www.nato.int/cps/ic/natohq/topics_49635.htm (accessed: 13.04.2020).

4. Cyber Strategy 2018. DoD. Available at: https://media.defense.gov/2018/Sep/18/2002041658/-1/-1/1/CYBER_STRATEGY_SUMMARY_FINAL.PDF (accessed: 13.04.2020).

5. Gertz B.. (2016) STRATCOM: China Moving Rapidly to Deploy New Hypersonic Glider, January 22, 2016. Available at: <https://freebeacon.com/national-security/stratcom-china-moving-rapidly-to-deploy-new-hypersonic-glider> (accessed: 13.04.2020).

6. Izumov D.B., Kondratyuk E.L. (2019) *Narashchivanie boevykh vozmozhnostey protivoraketnoy oborony SShA* [Enhancing combat capabilities of the US missile defense] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. Is. 3 (28). P. 183–195. Available at: http://inno-exp.ru/archive/28/2019-3_bw-color.pdf (accessed: 13.04.2020).

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE – FEDERAL RESEARCH CENTRE FOR
PROJECTS EVALUATION AND CONSULTING SERVICES
(SRI FRCEC)

INNOVATICS AND EXPERT EXAMINATION

ISSUE 1(29)

MOSCOW 2020

ИННОВАТИКА И ЭКСПЕРТИЗА

1(29)

Москва 2020

Ответственный редактор *А.А. Тугаринов*

Компьютерная верстка *А.А. Тугаринов*

Корректор *А.В. Соколова*

Перевод *В.Е. Гелюта*

Сдано в набор 12.05.20. Подписано в печать 12.06.20.

Формат 205×287. Бумага 80 г/м².

Тираж 80. Заказ № 22.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Научно-исследовательский институт –

Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы»

Москва, ул. Антонова-Овсеенко, д. 13