

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 3(28)

МОСКВА 2019

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: 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. военн. 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: inno-exp.ru

Innovations 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, 2019. Vol. 3 (28). 196 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

DOI 10.35264/1996-2274

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3

EAN-13: 9771996227771

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

© SRI FRCEC, 2019

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://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, 2019. Вып. 3(28). 196 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 инновации, 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, 2019

DOI 10.35264/1996-2274

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3

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://www.extech.ru

CONTENTS

INNOVATION: THEORY AND PRACTICE

| | |
|--|----|
| O.V. Vikulov, V.V. Menshikov, Y.I. Migachev, S.B. Shchepanskiy, I.A. Cousin. Evaluation of the efficiency of innovative projects under uncertainty of the administrative and legal regulation of expert scientific activity in the Russian Federation | 10 |
| V.S. Uskov. Problems of human resources of the economy of Russia in the conditions of transition to innovative development | 32 |
| D.S. Zhukov, S.K. Lyamin, K.S. Kunavin. Experience in using aerial photography and historical maps in historical research. Literature, methods, cases | 44 |
| H.A. Amerkhanov, L.A. Zernaeva, O.V. Lastochkina. Innovative approaches to increase milk productivity of cows | 64 |

EXPERT EXAMINATION AND ANALYTICAL ACTIVITY

| | |
|---|----|
| A.B. Logunov, D.V. Olshevsky, A.V. Grenchikhin. Organization of conducting of results monitoring of scientific achievements abroad | 70 |
| P.A. Storozhenko, M.M. Rasulov, I.V. Zhigacheva, V.M. Gukasov, L.L. Myakinkova. Molecular bases of aterogenesis | 77 |

ECONOMY AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

| | |
|--|-----|
| M.V. Demchenko. Directions of development of ecological entrepreneurship in Russia and the world | 89 |
| E.P. Grabchak, E.L. Loginov, A.K. Derkach. Restructuring of the management system of electric and thermal power assets with the use of intelligent cyber-physical systems | 95 |
| E.G. Maltsev, S.L. Sobakin. The use of intelligent systems in the treatment and diagnostic process of a typical multidisciplinary medical institution | 100 |

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

| | |
|--|----|
| О.В. Викулов, В.В. Меньшиков, Ю.И. Мигачев, С.Б. Щепанский, И.А. Кузин. Оценка результативности инновационных проектов в условиях неопределенности административно-правового регулирования экспертной научной деятельности в Российской Федерации | 10 |
| В.С. Усков. Проблемы кадрового обеспечения экономики России в условиях перехода к инновационному развитию | 32 |
| Д.С. Жуков, С.К. Лямин, К.С. Кунавин. Опыт использования аэрофотосъемки и исторических карт в исторических исследованиях. Литература, методы, кейсы | 44 |
| Х.А. Амерханов, Л.А. Зернаева, О.В. Ласточкина. Инновационные подходы к росту молочной продуктивности коров | 64 |

ЭКСПЕРТИЗА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

| | |
|--|----|
| А.Б. Логунов, Д.В. Ольшевский, А.В. Гренчихин. Организация проведения мониторинга результатов научных достижений за рубежом | 70 |
| П.А. Стороженко, М.М. Расулов, И.В. Жигачева, В.М. Гукасов, Л.Л. Мякинькова. Молекулярные основы атерогенеза | 77 |

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

| | |
|---|-----|
| М.В. Демченко. Модели развития экологического предпринимательства в России и мире | 89 |
| Е.П. Грабчак, Е.Л. Логинов, А.К. Деркач. Перестройка системы управления электро- и теплоэнергетическими активами с применением интеллектуальных киберфизических систем | 95 |
| Э.Г. Мальцев, С.Л. Собакин. Использование интеллектуальных систем в лечебно-диагностическом процессе типового многопрофильного лечебного учреждения | 100 |

SOCIOLOGY

| | |
|---|-----|
| N.S. Barabash, D.S. Zhukov. Rating of users involvement in the radical groups in some social networks | 113 |
| D.S. Zhukov. Application of the theory of self-organized criticality to the study of electoral behavior | 123 |
| E.G. Mirlin, E.V. Khotchenkov, I.A. Cherevkovskaya. Geological museum as an innovative platform of educational work with the younger generation | 132 |

ENGINEERING AND TECHNOLOGY

| | |
|---|-----|
| A.N. Kostyuchenkov, V.P. Minin, S.A. Klementyev, A.V. Fedin. Scientific and technological aspects of creation and production of rotary piston engines for uavs abroad | 143 |
| I.L. Raskovskaya, B.S. Rinkevichyus, S.P. Yurkevichyus. Laser refractography – a novel technology of liquids refractometry | 157 |

NATIONAL SECURITY

| | |
|---|-----|
| A.B. Logunov, N.A. Molchanov. Issues of regulation of network interaction in the sphere of science and education in the interests of defense and security of the state | 167 |
| D.B. Izyumov, E.L. Kondratyuk. Production of rare earth metals in the interests of defense and the impact of regulatory restrictions on the industry in the United States | 175 |
| D.B. Izyumov, E.L. Kondratyuk. Build-up of anti-missile combat capabilities of the US defense | 183 |

СОЦИОЛОГИЯ

| | |
|--|-----|
| Н.С. Барабаш, Д.С. Жуков. Оценка уровня вовлеченности пользователей в радикальные группы в социальных сетях | 113 |
| Д.С. Жуков. Приложение теории самоорганизованной критичности к изучению электорального поведения | 123 |
| Е.Г. Мирлин, Е.В. Хотченков, И.А. Черевковская. Геологический музей как инновационная площадка просветительской работы с молодым поколением | 132 |

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

| | |
|--|-----|
| А.Н. Костюченков, В.П. Минин, С.А. Клементьев, А.В. Федин. Научно-технические проблемы создания и производства роторно-поршневых двигателей для БПЛА за рубежом | 143 |
| И.Л. Расковская, Б.С. Ринкевичюс, С.П. Юркевичюс. Лазерная рефрактография – новая технология рефрактометрии жидких сред | 157 |

НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

| | |
|--|-----|
| А.Б. Логунов, Н.А. Молчанов. Вопросы регулирования сетевого взаимодействия в сфере науки и образования в интересах обороны и безопасности государства | 167 |
| Д.Б. Изюмов, Е.Л. Кондратюк. Производство редкоземельных металлов в интересах обороны и влияние нормативно-правовых ограничений на отрасль в США | 175 |
| Д.Б. Изюмов, Е.Л. Кондратюк. Наращивание боевых возможностей противоракетной обороны США | 183 |

ИННОВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-10-31

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ АДМИНИСТРАТИВНО-ПРАВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

O.V. Викулов, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, д-р техн. наук, проф.,
vikulov@extech.ru

V.V. Меньшиков, проф. каф. Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, д-р техн. наук, проф., *vm_uti@muctr.ru*

Ю.И. Мигачев, проф. каф. Московского государственного юридического университета им. О.Е. Кутафина (МГЮА), д-р юрид. наук, проф., *Lab.kapp@msal.ru*

С.Б. Щепанский, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, доц. Московского городского педагогического университета (ГАОУ ВО МГПУ), канд. техн. наук,
S.Shchepanskiy@gmail.com

И.А. Кузин, магистрант Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева (РХТУ), *kuzin369@yandex.ru*

Рецензент: В.Д. Клюев

Статья посвящена проблемам административно-правового регулирования экспертной деятельности в научно-технической сфере, анализу проектного финансирования инновационной деятельности, методам оценки результативности инвестиционно-инновационных проектов, методике расчета фактической стоимости выполненных работ по государственному контракту, расчету дисконтированного срока окупаемости инновационных проектов, экспертной оценке инновационного проекта на стадиях планирования и фактического выполнения.

Ключевые слова: административно-правовое регулирование, научно-техническая экспертиза, инвестиционный проект, инновационный проект, эффективность, методы дисконтирования денежных потоков, срок окупаемости, инновационный проект, экспертно-аналитический метод, методология оценки.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF INNOVATIVE PROJECTS UNDER UNCERTAINTY OF THE ADMINISTRATIVE AND LEGAL REGULATION OF EXPERT SCIENTIFIC ACTIVITY IN THE RUSSIAN FEDERATION

O.V. Vikulov, Deputy Director of Centre SRI FRCEC, Ph. D., Professor, *Vikulov@extech.ru*

V.V. Menshikov, Professor of Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Ph. D., *vm_uti@muctr.ru*

Y.I. Migachev, Professor of the Moscow State Law University named after O.E. Kutafin (MSLA), Ph.D., Professor, *Lab.kapp@msal.ru*

S.B. Shchepanskiy, Deputy Director of Center, SRI FRCEC, Associate Professor of Moscow City University (MCU), Doctor of Engineering, *S.Shchepanskiy@gmail.com*

I.A. Cousin, Master, Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia of RHTU of D.I. Mendeleyev, *kuzin369@yandex.ru*

The article is devoted to the problems of administrative and legal regulation of expert activities in the scientific and technological sphere, analysis of project financing of innovation activities, methods for evaluating the efficiency of investment and innovation projects, methods for calculating the actual cost of work performed under a government contract, calculating the discounted payback period of innovative projects in the planning and actual implementation stages.

Keywords: administrative and legal regulation, scientific and technological expert examination, investment project, innovative project, efficiency, methods of discounting cash flows, payback period, innovative project, expert-analytical method, assessment methodology.

Важнейшим условием инновационных преобразований в Российской Федерации является практическая реализация новых технологий и процессов. При этом возникает необходимость не только правового, но и методического обеспечения научно-технической экспертизы принимаемых решений при формировании и реализации государственной научно-технической и инновационной политики, а также отношений между разработчиками научных и научно-технических новаций и их потребителями.

Правовые проблемы обеспечения и проведения научно-технической экспертизы, отдельных направлений ее развития в настоящее время решаются на основании «отраслевых» федеральных законов, подзаконных актов, методических рекомендаций.

Нормативно-правовые основы проведения государственной экспертизы в сфере науки были заложены Постановлением Совета Министров РСФСР от 01.04.1991 № 182 «О введении государственной экспертизы в сфере науки» [7], предусматривающим необходимость проведения экспертизы на всех этапах реализации и оценки результатов проектов исследований и разработок, выполняемых за счет бюджетного финансирования.

Вопросы научной и научно-технической экспертизы нашли отражение в Федеральном законе от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» [1], Постановлении Правительства РФ от 20.08.2009 № 689 «Об утверждении Правил аккредитации граждан и организаций, привлекаемых органами государственного контроля (надзора) и органами муниципального контроля к проведению мероприятий и контролю» [8], Приказе Министерства науки и технической политики РФ от 19.03.1996 № 42 «О создании Федерального реестра экспертов научно-технической сферы» [9].

Указом Президента РФ от 12.05.2009 № 536 «Об основах стратегического планирования в Российской Федерации» [10] определено, что научно-техническая экспертиза должна осуществляться на принципах системности и своевременности корректировки стратегических национальных приоритетов в области научно-технологического развития.

На необходимость независимой оценки научных исследований и привлечения ведущих экспертных организаций обращается внимание в Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года.

Состояние нормативных основ научной и научно-технической экспертизы в Российской Федерации до настоящего времени носит частичный характер при наличии значительных правовых пробелов.

В связи с этим организации, которым приходится заниматься проведением конкурсов на исполнение научных и научно-технических программ и проектов, разрабатывают собственные правила и методические рекомендации экспертизы, устанавливают порядок ее проведения и требования к экспертам, создают собственные экспертные советы. По этому пути пошли фонды поддержки научной и научно-технической деятельности, а также министерства и ведомства. Собственные правила научной и научно-технической экспертизы разрабатывает Российская академия наук, на которую Федеральным законом от 27.09.2013 № 253-ФЗ «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [3] возложена

функция экспертиз научно-технических государственных программ и проектов, федеральных целевых программ, других научно-технических и социально-экономических программ, стратегий, концепций, утверждаемых Правительством Российской Федерации.

Международная практика свидетельствует о том, что вопросы организации и проведения научной, научно-технической экспертизы регулируются национальными правовыми актами.

В 2003 г. Межпарламентская Ассамблея (МПА) государств – участников СНГ Постановлением от 15.11.2003 № 22-17 22-го пленарного заседания приняла Модельный закон «О научной и научно-технической экспертизе» [6] и рекомендовала его для принятия странами содружества. Рекомендациями МПА воспользовались некоторые страны СНГ, а также отдельные регионы России.

Современное состояние правового обеспечения государственной экспертной деятельности в России таково, что вопрос создания системы научной и научно-технической экспертизы, которая решала бы первоочередные вопросы правоотношений между участниками экспертного процесса и способствовала бы активизации технологических преобразований, внедрения современных технологий и процессов, в настоящее время не решен.

Научно-техническая экспертиза в стране обеспечивается только отдельными нормативными актами, не представляющими собой системное регулирование отношений в сфере инновационных преобразований и практических реализаций новых технологий и процессов развития промышленного комплекса Российской Федерации.

Проблему систематизации современного правового регулирования в сфере экспертиз научно-технической сферы России предложено разрешить принятием законопроекта «О научной и научно-технической экспертизе» [5], который подготовлен с учетом основных положений Модельного закона «О научной и научно-технической экспертизе» [6] и предложений участников круглого стола «Правовые аспекты научной и научно-технической экспертизы в Российской Федерации», проведенного Комитетом Государственной Думы по науке и наукоемким технологиям в 2013 г.

Основные направления современного научно-технологического развития России определены Указом Президента РФ от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [11]. При этом в Федеральном законе от 21.07.2011 № 254-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике» были даны определения коммерциализации, инновации и инновационного проекта [4].

Согласно этим определениям под коммерциализацией научных и (или) научно-технических результатов понимается деятельность по вовлечению в экономический оборот научных и (или) научно-технических результатов. При этом под инновацией понимается введенный в употребление новый или значительно улучшенный продукт (товар, услуга) или процесс, новый метод продаж или новый организационный метод в деловой практике, организации рабочих мест или во внешних связях, а сам инновационный проект представляет собой комплекс мер, направленных на достижение экономического эффекта мероприятий по осуществлению инноваций, в том числе по коммерциализации научных и (или) научно-технических результатов. Таким образом, целью инновационного проекта является достижение экономической эффективности за счет коммерциализации его результатов и разработок. При этом важнейший этап жизненного цикла инновационного проекта – его финансирование как за счет собственных средств, так и за счет привлеченных, в том числе и из государственного бюджета [12, 20].

В современной финансовой деятельности в последнее время активное развитие получило такое перспективное и динамичное направление, как проектное финансирование. Этот вид финансового и банковского участия в инновационной деятельности особо актуален для тех стран и регионов, которые особо нуждаются в модернизации, совершенствовании и обновлении производственного аппарата ресурсоемких и капиталоемких отраслей промышленно-

сти. Из общей массы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) целесообразно выделить как долгосрочные приоритетные национальные проекты, пользующиеся различными формами государственной поддержки, так и приоритетные краткосрочные проекты, финансирование которых осуществляется по смешанному государственно-частному принципу.

В связи с этим проектное финансирование весьма убедительно демонстрирует по меньшей мере три принципиальных положения об организации и финансировании подобной инновационной деятельности [13, 19, 20].

Первое – на примере индустриально развитых стран видно, что основную массу инновационных процессов можно реализовать силами частных компаний разного уровня и масштаба. Безусловно, инновационные процессы здесь выступают не как самоцель, а как средство достижения предпринимательского успеха. Инновационный бизнес в различных организационных рамках становится посредником между академической «чистой наукой» и интересами частного капитала, так как инновационный процесс рассматривается как доходный.

Второе – государственная инновационная политика может проявляться не только в прямом воздействии на инновационный процесс, но и в создании благоприятного экономического климата для инноваций наряду со всевозможными финансовыми, законодательными, налоговыми, социальными и другими методами косвенной государственной поддержки инноваций. Государство при современном состоянии российской экономики не может принять на себя основной груз инновационной политики, но может обеспечить полную гамму мероприятий, поддерживающих развитие инновационного бизнеса [14, 19].

Третье – гибкость, многовариантность и альтернативность инновационной деятельности как нельзя лучше способствуют возникновению многочисленных форм сотрудничества государственного и частного предпринимательства, частных и иностранных инвесторов. Более широкая практика проектного финансирования и развитие инновационной деятельности могут найти себе достойное место в том случае, если государство выступает гарантом политических, макроэкономических и экологических рисков. В этом плане в России уже созданы необходимые первоначальные условия для развития инновационного бизнеса.

Особенность экспертного анализа инновационных проектов заключается прежде всего в том, что значительно расширяется круг проблем, связанных с их организацией, оценкой, отбором и финансированием. Это существенно усложняет задачу экспертов.

Во-первых, увеличивается число объектов, подлежащих анализу. Это связано с принципиальной новизной продукта, неизвестностью рынка, особенностью целевого подбора технологического и производственного аппарата, со специальной подготовкой и обучением персонала и, наконец, со значительными техническими, технологическими и коммерческими рисками. Кроме того, особое внимание при разработке инноваций необходимо уделять правовым, институциональным, экологическим и социальным проблемам.

Во-вторых, для оценки инноваций приходится применять качественные и прогностические методы, что усложняет процедуру и снижает точность прогноза. Для необходимой качественной оценки новшества используют как стандартные подходы регрессионного, корреляционного, финансового и инвестиционного анализов, так и ситуационные, вероятностные и итеративные методы моделирования.

В-третьих, при оценке инноваций существуют два «узких места», а именно: прогнозирование результатов НИОКР и оценка фактических результатов проекта.

Экономический метод анализа «затраты – эффективность» играет особую роль в определении полных затрат инновационного проекта, т. е. общей совокупности расходов финансовых, материальных, трудовых и прочих ресурсов на всех этапах функционирования инновации. При этом стадия планирования и учета издержек по инвестициям является одной из наиболее важных. Именно здесь закладывается информация, от которой зависит не только оценка результативности инновации, но и судьба всего инновационного проекта.

Полные затраты охватывают расходы, произведенные в течение всего периода жизненного цикла инновации, т. е. затраты на НИОКР, производство и эксплуатацию нового продукта. В свою очередь, затраты на НИОКР включают расходы на проработку гипотезы инновации, теоретических исследований, поисковые и лабораторные исследования, техническое проектирование, конструирование, создание документации опытных образцов, их испытание, контроль качества, расходы на зарплату персонала НИОКР и т. д.

Методы оценки эффективности таких инновационных проектов подразделяются на две группы, основанные на дисконтированных и учетных оценках. Так, методами оценки эффективности инновационного проекта, основанными на учетных оценках стоимости (без дисконтирования), являются оценки периода окупаемости (pay back period – PP), коэффициента эффективности инвестиций (average rate of return – ARR) и коэффициента покрытия долга (debt cover ratio – DCR).

Методы оценки эффективности инновационного проекта, основанные на дисконтированных оценках, значительно более точны, так как учитывают различные виды инфляции, изменения процентной ставки, нормы доходности и т. д. К этим методам относят метод индекса рентабельности инвестиций (profitability index – PI), чистую текущую стоимость, иначе называемую «чистый дисконтированный доход» (net present value – NPV), и внутреннюю норму доходности (internal rate of return – IRR). Все названные методы оценки эффективности инновационного проекта схематично показаны на рис. 1.

Метод оценки периода окупаемости капиталовложений (PP) весьма распространен, но его существенным недостатком является игнорирование будущей стоимости денег с учетом дохода будущего периода и, вследствие этого, неприменимость дисконтирования. В условиях инфляции, резких колебаний ставки процента и низкой нормы внутренних накоплений предприятия в реальной российской экономике этот метод становится недостаточно точным.

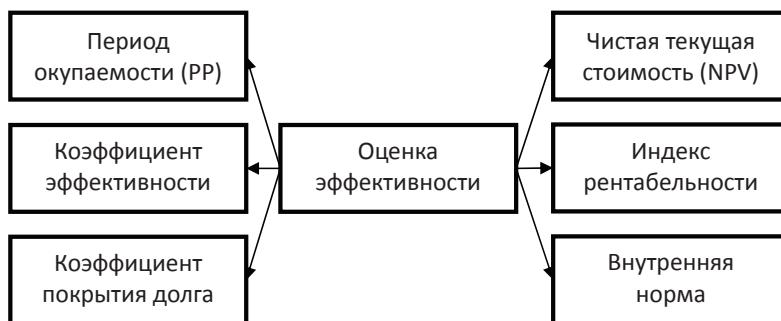


Рис. 1. Методы оценки эффективности инновационного проекта

Указанные традиционные показатели, основанные на оценке эффективности проекта, не учитывают временную составляющую денежных потоков, но они стыкуются с факторным анализом и динамикой денежных потоков в экономической реальности. Поэтому эффективность инновационного проекта наиболее полно можно оценивать методами, основанными на дисконтированных оценках [15].

Методы дисконтирования денежных потоков

Под дисконтированием понимается приведение разновременных экономических показателей к одному фиксированному моменту времени (точке приведения). Необходимость дисконтирования возникла в связи с тем, что эффекты от обладания некоторой суммой «сегодня» и «завтра» не являются тождественными, так как цена денег со временем меняется.

Полученный нами «сегодня» рубль стоит дороже чьих-либо обязательств заплатить нам его через год. Среди факторов, оказывающих влияние на изменение стоимости денег во времени, например, можно выделить:

- *инфляцию*, т.е. изменение покупательной способности рубля (национальной валюты);
- возможность *получения процентного дохода* по депозитным вкладам при помещении денег в банк;
- *риск*, связанный с возможностью невыполнения кредитором своих долговых обязательств или неправильным прогнозированием финансовых результатов реализации инвестиционного проекта.

В общем случае дисконтирование может осуществляться двумя способами:

- оценкой денег «сегодняшнего» дня в некоторый фиксированный момент в будущем;
- оценкой «завтрашних» денег с учетом их возможностей в настоящий момент («сегодня»).

Пусть M_0 – ценность денег в начальный момент времени («сегодня»); M_1 – ценность тех же денег в следующий фиксированный момент времени («завтра»); M_t – ценность этих денег к t -му моменту времени; E – норма дисконта, т.е. стоимость денег в единицу времени (в долях единицы, в руб./руб., \$/\$ и т.п.).

$$\begin{aligned} M_0 \rightarrow M_1 = M_0(1+E) \rightarrow M_2 = M_1(1+E) \rightarrow \dots \rightarrow M_t = M_{t-1}(1+E) \rightarrow \\ \rightarrow \dots \rightarrow M_t = M_0(1+E)^t \end{aligned} \quad (1)$$

Тогда формулы дисконтирования выглядят следующим образом:

$$M_0 = \frac{M_1}{1+E} \rightarrow M_1 = \frac{M_2}{1+E} \rightarrow \dots \rightarrow M_{t-1} = \frac{M_t}{1+E} \rightarrow M_t; \quad (2)$$

$$M_0 = \frac{M_t}{(1+E)^t}. \quad (3)$$

Обобщением формул дисконтирования является случай, когда норма дисконта различается по шагам расчетного периода:

$$M_t = M_0 \prod_{\tau=0}^{\tau=t} (1+E)^{\tau}; \quad (4)$$

$$M_0 = \frac{M_t}{\prod_{\tau=0}^{\tau=t} (1+E)^{\tau}}. \quad (5)$$

При оценке эффективности инвестиций соизмерение разновременных экономических показателей чаще всего осуществляется приведением их к ценности в начальном периоде разработки проекта, т.е. к моменту времени $t = 0$. При сравнении инновационных проектов, начинающихся в разное время, выбирается некоторая фиксированная точка дисконтирования (приведения), которая, естественно, не может совпадать с началом разработки всех сравниваемых проектов. Поэтому приведение к базисному моменту времени затрат, результатов и эффектов, имеющих место на t -м временном шаге, удобно производить путем их

умножения на коэффициент дисконтирования α_t , определяемый в зависимости от типа нормы дисконта как:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+E)^t}. \quad (6)$$

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется суммой текущих эффектов за весь расчетный период, приведенных (дисконтированных) к начальному временному шагу (или другому базисному моменту времени), или превышением интегральных результатов над интегральными затратами:

$$\mathcal{E}_{\text{инт}} = \text{ЧДД} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{R_t - Z_t}{(1+E)^t} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t} \quad (7)$$

или

$$\mathcal{E}_{\text{инт}} = \text{ЧДД} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{R_t - Z_t}{\prod_{\tau=0}^{\tau=T} (1+E_r)} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\mathcal{E}_t}{\prod_{\tau=0}^{\tau=T} (1+E_r)}, \quad (8)$$

где: R_t – результаты, достигаемые на t -м шаге расчета (например, стоимость реализованной продукции); Z_t – затраты, производимые на t -м шаге; $\mathcal{E}_t = (R_t - Z_t)$ – эффект, достигаемый на t -м шаге; T – период расчета, соответствующий номеру шага, на котором производится ликвидация объекта.

В общем случае затраты на t -м шаге расчета складываются из капиталовложений K_t и остальных затрат Z_t^+ рассматриваемого шага, т. е.

$$Z_t = R_t - Z_t^+. \quad (9)$$

С учетом конкретных требований к анализу инвестиционных проектов в состав затрат шага расчета могут включаться капиталовложения K_t и текущие затраты на производство и реализацию продукции C_t , т. е.

$$Z_t = K_t + C_t. \quad (10)$$

На практике достаточно часто используют модифицированную формулу для расчета ЧДД:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^{t=T} \left(\frac{R_t - Z_t^+}{(1+E)^t} \right) - K, \quad (11)$$

$$K = \sum_{t=0}^{t=T} \left(\frac{K_t}{(1+E)^t} \right), \quad (12)$$

где: K – суммарные дисконтированные капитальные вложения за весь период расчета; $(R_t - Z_t^+)$ – текущий доход на t -м шаге расчета.

Данный метод дисконтирования может быть использован экспертом при оценке рентабельности инвестиций проекта, когда из заданного множества вариантов инвестиций $I = \{1, 2, \dots, i, \dots, n\}$ выбирается проект с максимальным значением чистого дисконтированного дохода:

$$\text{ЧДД}_{\text{опт}} = \text{ЧДД}_k = \text{ЧДД}_{i \max}. \quad (13)$$

Если ЧДД выбранного проекта положителен ($\text{ЧДД}_{\text{опт}} > 0$), то рентабельность инвестиций превышает минимальную из используемых норм дисконта E (или постоянную норму дисконта, если норма не меняется по годам). В этом случае инновационный проект считается эффективным при заданных нормах дисконта, и может рассматриваться вопрос о его принятии.

При значениях ЧДД, равных нулю ($\text{ЧДД}_{\text{опт}} = 0$), рентабельность проекта равна минимальной норме дисконта и инновационный проект можно считать приемлемым.

Реализация инновационного проекта при отрицательном ЧДД (т. е. при рентабельности, которая меньше минимальной нормы дисконта) не даст возможности инвестору получить желаемые доходы. От реализации такого инновационного проекта с $\text{ЧДД}_{\text{опт}} < 0$ следует отказаться.

Наряду с термином «чистый дисконтированный доход» в литературе зачастую встречаются такие эквивалентные ему термины, как «интегральный эффект», «чистая приведенная стоимость», «чистая современная стоимость», «чистая текущая стоимость», Net Present Value – NPV.

Известными методами дисконтирования денежных потоков являются: метод индекса доходности, метод внутренней нормы доходности и метод дисконтированного срока окупаемости.

Метод индекса доходности

Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы дисконтированных доходов и дисконтированной к тому же моменту времени величины капитальных вложений:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} \left(\frac{R_t - Z_t^+}{(1+E)^t} \right)}{\sum_{t=0}^{t=T} \left(\frac{K_t}{(1+E)^t} \right)} \quad (14)$$

или

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} \left(\frac{R_t - Z_t^+}{(1+E)^t} \right)}{\sum_{t=0}^{t=T} \left(\frac{K_t}{(1+E)^t} \right)} \quad (15)$$

или

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} \left(\frac{R_t - Z_t^+}{\prod_{\tau=0}^{\tau=T} (1+E_\tau)} \right)}{\sum_{t=0}^{t=T} \left(\frac{K_t}{\prod_{\tau=0}^{\tau=T} (1+E_\tau)} \right)}, \quad (16)$$

где: K_t – капиталовложения; E – норма дисконта, т. е. стоимость денег в единицу времени (в долях единицы, в руб/руб., \$/\$ и т. п.); R_t – результаты, достигаемые на t -м шаге расчета (например, стоимость реализованной продукции); Z_t – затраты, производимые на t -м шаге; T – период расчета, соответствующий номеру шага, на котором производится ликвидация объекта.

При выборе инновационного проекта ориентируется на проект с более высоким значением индекса доходности:

$$ИД_{\text{опт}} = ИД_{\text{к}} = ИД_{i \max}. \quad (17)$$

Индекс доходности строится из тех же элементов, что и чистый дисконтированный доход. Оба показателя связаны между собой. Если ЧДД > 0, то ИД > 1. Проекты с ИД ≥ 1 являются эффективными, при ИД < 1 проект неэффективен.

Недостатком метода индекса доходности является относительность индекса доходности, что свидетельствует о несистемности этого показателя и его частичной корректности. Несистемность показателя предполагает, что раздельный выбор способа реализации двух частей инновационного проекта с критерием «максимум индекса доходности» не гарантирует максимума этого показателя для инновационного проекта в целом.

Наряду с термином «индекс доходности» в литературе также встречаются такие эквивалентные ему термины, как «показатель прибыльности», «индекс прибыльности», Profitabiliti Index – PI.

Метод внутренней нормы доходности

Внутренняя норма доходности (ВНД) определяется такой внутренней нормой доходности $E_{\text{вн}}$, при которой инвестирование оказывается равновесной операцией, т.е. дисконтированные при такой норме капитальные вложения в инновационный проект равны дисконтированным доходам от его реализации.

Из определения ВНД следует, что внутренняя норма доходности $E_{\text{вн}}$ является решением нелинейного уравнения ВНД:

$$\sum_{t=0}^{T-1} \left(\frac{R_t - Z_t^+}{(1 + E_{\text{вн}})^t} \right) = \sum_{t=0}^{T-1} \left(\frac{K_t}{(1 + E_{\text{вн}})^t} \right) \quad (18)$$

и характеризует фактическую рентабельность инновационного проекта. Решение этого уравнения может быть сведено к задаче поиска корней полинома T -й степени. В связи с этим возникает целый ряд проблем, так как задача нахождения корней полинома выше третьей степени не решается аналитически и для поиска решений должны использоваться численные или графические методы.

Для решения задачи графическим способом строится график зависимости дисконтированного дохода ЧДД от нормы дисконта E (в зарубежной терминологии – «NPV-профиль»). Значение E в точке пересечения графика зависимости ЧДД = $F(E)$ с осью абсцисс будет соответствовать действительным корням рассматриваемого уравнения ВНД, т.е. значениям внутренней нормы доходности $E_{\text{вн}}$.

Таким образом, при выборе инновационного проекта эксперт ориентируется на проект с более высоким значением внутренней нормы доходности:

$$E_{\text{вн опт}} = E_{\text{вн к}} = E_{\text{вн } i \max}. \quad (19)$$

Если полученное значение выше рыночной нормы дисконта, то инновационный проект может быть принят к реализации. В противном случае его реализация не имеет финансового смысла. Также при оценке проекта эксперту желательно использовать внутреннюю норму доходности совместно с чистым дисконтированным доходом. Так, при оценке альтернативных проектов (или вариантов проекта) следует проводить их ранжирование для выбора единственного по максимуму чистого дисконтированного дохода (ЧДД). Роль ВНД в этом случае сводится к оценке пределов, в которых может находиться норма дисконта (E). При

высокой неопределенности цены денег этот момент является весьма существенным. Также при анализе независимых инновационных проектов, которые могут осуществляться независимо друг от друга, для наиболее выгодного распределения инвестиций ранжирование проектов необходимо проводить с учетом значений ВНД.

Кроме того, при анализе проектов целесообразно учитывать различные экономические интерпретации ВНД. Например, если весь проект выполняется за счет заемных средств, то ВНД равна максимальному проценту, под который можно взять этот заем с тем, чтобы иметь возможность расплатиться с кредитором из доходов от реализации проекта за время, равное горизонту расчета.

С точки зрения применения метод ВНД обладает следующими специфическими особенностями:

- он характеризуется определенными вычислительными возможностями, но при аккуратном его применении получаемые результаты не отличаются от результатов метода ЧДД, тем не менее критерий ВНД легче интерпретировать и представлять, чем, например, критерий ЧДД;

- он обладает системностью на любой группе монотонных функций, описывающих денежные потоки;

- в нем предполагается реинвестирование в каждый момент времени по ставке, зависящей только от денежных потоков, связанных с конкретным инновационным проектом, т. е. по умолчанию предполагается, что все доходы от рассматриваемого инновационного проекта можно использовать для инвестирования в проект – с аналогичным профилем денежных потоков либо с такой же внутренней нормой доходности;

- по сравнению с остальными дисконтирующими методами в методе ВНД отсутствует проблема выбора обоснованной нормы дисконта как достаточной или требуемой нормы прибыли.

Наряду с термином «внутренняя норма доходности» в литературе также используются такие эквивалентные ему термины, как «внутренняя норма прибыли», «внутренняя норма рентабельности», «внутренняя норма возврата инвестиций», Internal Rate of Return – IRR.

Метод дисконтированного срока окупаемости

Срок окупаемости – это время, необходимое для покрытия (возврата) дисконтированных инвестиций в оцениваемый инновационный проект за счет получаемого дисконтированного дохода.

В формализованном виде понятие дисконтированного срока окупаемости можно определить следующим образом: $T_{\text{ок}}$ будем называть сроком окупаемости инвестиций (капитальных вложений), если выполняется условие:

$$\sum_{t=0}^{T_{\text{ок}}} \frac{(R_t - C_t - K_t)}{(1+E)^t} \leq 0, \quad \sum_{t=0}^{T_{\text{ок}}+1} \frac{(R_t - C_t - K_t)}{(1+E)^t} \geq 0. \quad (20)$$

Графической интерпретацией дисконтированного срока окупаемости $\Phi_\varepsilon(t)$ является точка пересечения графика функции дисконтированного суммарного денежного потока с осью времени (осью абсцисс):

$$\Phi_\varepsilon(t) = \frac{\sum_{\tau=0}^t \Phi(\tau)}{(1+E)^t} = \frac{\sum_{\tau=0}^t (R_\tau - C_\tau - K_\tau)}{(1+E)^t}, \quad (21)$$

где: K_t – капиталовложения; R_t – результаты, достигаемые на t -м шаге расчета (например, стоимость реализованной продукции); C_t – текущие затраты на производство и реализацию продукции.

Если функция суммарного денежного потока не монотонна и пересекает ось времени более чем в одной точке, то понятие срока окупаемости теряет определенность. В этом случае (как и для дисконтированного срока окупаемости) чаще ориентируются на значение времени в последней точке пересечения $\Phi_{\epsilon}(t)$ с осью абсцисс.

При выборе направления инвестирования средств ориентируются на проект с наиболее низким значением дисконтированного срока окупаемости $T_{\text{ок}}$ из множества i исследуемых проектов:

$$T_{\text{ок опт}} = T_{\text{ок } k} = T_{\text{ок } i \max}, \quad (22)$$

где: $T_{\text{ок}}$ – срок окупаемости инвестиций (капитальных вложений); $T_{\text{ок } i \max}$ – максимальный срок окупаемости инвестиций.

Дисконтируемый срок окупаемости может выступать в качестве одного из критериев выбора эффективного инновационного проекта.

В концепции государственной политики в области развития инновационной деятельности отмечено, что основными механизмами, обеспечивающими реализацию инновационной политики, а также развитие высокотехнологичных и наукоемких отраслей промышленности, являются финансово-кредитные механизмы, обусловленные законодательными и нормативными актами, институциональные преобразования, а также механизмы в сфере образования, экспорта и таможенного регулирования.

В настоящее время в качестве основных источников средств, используемых для финансирования инновационной деятельности, выступают:

- бюджетные ассигнования, выделяемые на федеральном и региональном уровнях;
- средства специальных внебюджетных фондов финансирования НИОКР;
- средства, которые выделяются предприятиями, региональными органами управления;
- собственные средства предприятий;
- финансовые ресурсы различных типов коммерческих структур (инвестиционных компаний, коммерческих банков, страховых обществ, ФПГ и т. п.);
- кредитные ресурсы специально уполномоченных правительством инвестиционных банков;
- иностранные инвестиции промышленных и коммерческих фирм и компаний;
- частные накопления физических лиц.

Понятно, что порядок финансирования инновационных проектов в каждом конкретном случае имеет свою специфику и непосредственно связан с характером внедряемых инноваций.

Важнейшим финансовым источником для научно-технического сегмента являются средства государственного бюджета. Соответствующим нормативным документом такой господдержки явилось Постановление Правительства РФ от 22.11.97 № 1470 «Об утверждении Порядка предоставления государственных гарантий на конкурсной основе за счет средств Бюджета развития Российской Федерации и Положения об оценке эффективности инвестиционных проектов при размещении на конкурсной основе централизованных инвестиционных ресурсов Бюджета развития Российской Федерации» [16, 19] (Порядок, Положение).

В Порядке и Положении впервые официально представленная методология и подходы к отбору инновационно-инвестиционных проектов высокой эффективности в целях их стимулирования (предоставление государственных гарантий или частичное обеспечение финансирования из бюджета развития РФ). При этом в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 01.05.1996 № 534 «О дополнительном стимулировании частных инвестиций в Российской Федерации» для коммерческих проектов обязательным условием является следующее: доля государственной поддержки за счет средств федерального бюджета устанавливается по годам реализации проекта в размере от 20 до 50% капитальных вложений и, соответственно, доля собственных и заемных средств, включая иностранные кредиты,

составляет от 80 до 50 %. Для финансирования инновационного проекта претендент должен предоставить собственные средства в объеме не менее 20 % от сметной стоимости проекта.

В целях отбора наиболее эффективных коммерческих проектов необходимо выделять те инновационные проекты, срок окупаемости которых, по данным их бизнес-планов, является минимальным от начала реализации проекта. Бизнес-план проекта представляет собой неотъемлемую часть заявки претендента на участие в конкурсном распределении централизованных инвестиционных ресурсов. По структуре, форме и составу он мало чем отличается от стандартного бизнес-плана инновационно-инвестиционного проекта.

Определенное отличие заключается в расчете бюджетного эффекта, а конкретно – в определении коэффициента дисконтирования d_i при расчете ЧДД и введение таблицы поправок на риск проекта. Бюджетный эффект инновационного проекта определяется как сальдо поступлений и выплат бюджета в связи с реализацией данного проекта. В расчетах проводится дисконтирование объемов поступлений и выплат по годам реализации проекта.

ЧДД государства как эффект от реализации проекта определяется суммой ежегодных сальдо поступлений и выплат в бюджет, приведенных к ценам первого года:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T \frac{P_t}{(1-d)^{t-1}}, \quad (23)$$

где: T – суммарная продолжительность жизненного цикла проекта, включая строительство объекта и эксплуатацию основного технологического оборудования; P_t – ежегодная разность выплат и поступлений в бюджет; t – годы реализации проекта ($t = 1, 2, 3, \dots$); d – коэффициент дисконтирования.

Коэффициент дисконтирования d_i при расчете ЧДД определяется как отношение ставки рефинансирования (r), установленного Центральным банком Российской Федерации и объявленного Правительством Российской Федерации на текущий год темпа инфляции (i):

$$1 + d_i = \frac{1 + \frac{r}{100}}{1 + \frac{i}{100}}. \quad (24)$$

Поправка на риск проекта определяется по следующим данным (табл. 1).

Таблица 1
Степени риска проекта

| Величина риска | Пример цели проекта | $R, \%$ |
|----------------|--|---------|
| Низкий | Вложение при интенсификации производства на базе освоенной техники | 3–5 |
| Средний | Увеличение объема продаж существующей продукции | 8–10 |
| Высокий | Производство и продвижение на рынок нового продукта | 13–15 |
| Очень высокий | Вложение в исследования и инновации | 18–20 |

Коэффициенты дисконтирования, учитывающие риски при реализации проектов, определяются по формуле:

$$d = d_i + \frac{r}{100}, \quad (25)$$

где: d – коэффициент дисконтирования, учитывающий риски при реализации проектов; d_i – коэффициент дисконтирования; $r/100$ – поправка на риск.

Анализ и отбор инновационных проектов осуществляются на основе совокупности методов и способов, позволяющих прогнозировать затраты для всех стадий жизненного цикла инновации с учетом различных технических решений и финансово-экономических факторов [4]. При этом важнейшей задачей инвестора является проведение экспертизы инновационных проектов, в процессе которой он должен решить многокритериальную задачу: как из большого числа предлагаемых проектов выбрать наиболее эффективные [17]. Очевидно, что для этого необходимо разработать такую систему критериев, которая, с одной стороны, позволит инвестору произвести обоснованный выбор наиболее выгодного для инвестиций инновационного проекта, а с другой – заставит разработчика подобного проекта в своем бизнес-плане предоставить исчерпывающую информацию по всем интересующим экспертов вопросам [18].

В свете такого подхода эксперту при оценке результатов инновационных проектов необходимо будет четко определить, насколько фактическая стоимость выполненных работ по государственному контракту (ГК) соответствует (или нет) техническим требованиям и объему финансирования, заданным этим ГК. Фактически эксперт в процессе анализа результатов проекта должен провести оценку полноты и качества выполненных работ, выразив эту оценку в стоимостных количественных показателях. Именно в этих целях авторами статьи была разработана методика расчета фактической стоимости выполненных работ, заданных ГК.

Методика расчета фактической стоимости выполненных работ по государственному контракту

Исходные документы

1. Календарный план выполнения работ.
2. Техническое задание на выполнение работ.
3. Перечень обязательных документов, разрабатываемых на этапах работ.
4. Протокол согласования цены (смета).
5. Отчет и отчетные материалы в соответствии с ГК.
6. Комплектность технической документации.

Исходные параметры

1. $C_{Б1}, C_{Б2}, C_{Б3}, C_{Б4}$ – цены работ, выполненных за счет бюджетных средств на соответствующем этапе календарного плана согласно ГК.
2. $C_{ВБ1}, C_{ВБ2}, C_{ВБ3}, C_{ВБ4}$ – цены работ, выполненных за счет внебюджетных средств на соответствующем этапе календарного плана согласно ГК.
3. c_{1i} – цена i -й работы первого этапа согласно протоколу согласования цены (сметы).
4. m_1, m_2, m_3, m_4 – число работ, выполняемых на соответствующем этапе календарного плана.
5. p_{ij} – j -й параметр i -й работы, соответствующий требованию технического задания.
6. n_i – число параметров в i -й работе.
7. d_{ij} – j -й документ, который должен быть разработан в i -й работе.
8. r_i – число обязательных документов, разрабатываемых в i -й работе.

Определяемые параметры

1. $K_{1i}, K_{2i}, K_{3i}, K_{4i}$ – значимости (весовые коэффициенты) работ на каждом этапе календарного плана, где i – порядковые номера работ на соответствующем этапе календарного плана. Весовые коэффициенты определяются в пределах от 0 до 1 на основании экспертной оценки результатов анализа отчетных материалов, при этом сумма всех весовых коэффициентов должна быть равна 1.
2. $V_{1i}, V_{2i}, V_{3i}, V_{4i}$ – фактические объемы выполненных работ на каждом этапе календарного плана, где i – порядковые номера работ на этапе календарного плана. Фактический объем выполненной работы определяется в процентах от 0 до 100 на основании экспертной оценки результатов анализа отчетных материалов.

3. $C_{ФБ1}$, $C_{ФБ2}$, $C_{ФБ3}$, $C_{ФБ4}$ – фактические стоимости работ, выполненных за счет бюджетных средств на этапах календарного плана.

4. $C_{ФВБ1}$, $C_{ФВБ2}$, $C_{ФВБ3}$, $C_{ФВБ4}$ – фактические стоимости работ, выполненных за счет внебюджетных средств на этапах календарного плана.

Расчет фактической стоимости работ на всех этапах за счет бюджетных средств на всех этапах работ ГК:

$$C_{ФБ} = C_{ФБ1} + C_{ФБ2} + C_{ФБ3} + C_{ФБ4}. \quad (26)$$

Расчет фактической стоимости работ, выполненных за счет внебюджетных средств на всех этапах работ ГК:

$$C_{ФВБ} = C_{ФВБ1} + C_{ФВБ2} + C_{ФВБ3} + C_{ФВБ4}. \quad (27)$$

Расчет фактической стоимости работ, выполненных за счет бюджетных средств по этапам календарного плана:

$$C_{ФБ1} = C_{Б1} V_{Ф1}/100, \quad (28)$$

где

$$V_{Ф1} = \sum_{i=1}^{m_1} V_{1i} K_{1i} \quad (29)$$

– фактический объем выполненных работ первого этапа с учетом их значимости; m_1 – число работ на первом этапе;

$$C_{ФБ2} = C_{Б2} V_{Ф2}/100, \quad (30)$$

где

$$V_{Ф2} = \sum_{i=1}^{m_2} V_{2i} K_{2i} \quad (31)$$

– фактический объем выполненных работ второго этапа с учетом их значимости; m_2 – число работ на втором этапе;

$$C_{ФБ3} = C_{Б3} V_{Ф3}/100, \quad (32)$$

где

$$V_{Ф3} = \sum_{i=1}^{m_3} V_{3i} K_{3i} \quad (33)$$

– фактический объем выполненных работ третьего этапа с учетом их значимости; m_3 – число работ на третьем этапе;

$$C_{ФБ4} = C_{Б4} V_{Ф4}/100, \quad (34)$$

где

$$V_{Ф4} = \sum_{i=1}^{m_4} V_{4i} K_{4i} \quad (35)$$

– фактический объем работ четвертого этапа с учетом их значимости; m_4 – число работ на четвертом этапе.

Оценка значимости (весовых коэффициентов) i -й работы на соответствующем этапе

$$K_{Ii} = c_{Ii}/C_{Б1}, \quad (36)$$

где c_{Ii} – цена i -й работы первого этапа согласно протоколу согласования цены (сметы).

Оценка значимости (весовых коэффициентов) j -й составляющей i -й работы на основании количества операций, выполняемых в данной работе:

$$k_{ij} = O_{ij}/R_i, \quad (37)$$

где O_{ij} – число операций в j -й составляющей i -й работы; R_i – общее число всех операций в i -й работе.

Оценка фактического объема выполненной i -й работы на основании числа параметров, установленных требованиями технического задания:

$$V_{li} = \frac{100}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij}, \quad (38)$$

где n_i – число параметров в i -й работе, при этом: $p_{ij} = 1$, если j -й параметр соответствует требованию технического задания; $p_{ij} = 0$, если j -й параметр не оценен либо не соответствует требованию технического задания; $p_{ij} = 0,5$, если достоверность оценки параметра вызывает сомнения.

Оценка фактического объема выполненной i -й работы на основании числа обязательных документов, разрабатываемых в i -й работе:

$$V_{1i} = \frac{100}{r_i} \sum_{j=1}^{r_i} d_{ij}, \quad (39)$$

где r_i – число обязательных документов, разрабатываемых в i -й работе, при этом: $d_{ij} = 1$, если j -й документ разработан в соответствии с требованием технического задания; $d_{ij} = 0$, если j -й документ отсутствует либо не соответствует требованию технического задания; $d_{ij} = 0,5$; если документ не в полной мере соответствует требованию технического задания.

Оценка фактического объема выполненной i -й работы, состоящей из s_i составляющих, объемы которых имеют соответствующие значимости k_{ij} :

$$V_{\Phi i} = \sum_{j=1}^{s_i} v_{ij} k_{ij}, \quad (40)$$

где v_{ij} – объем j -й составляющей i -й работы.

В качестве примера практического применения данной методики проанализируем результаты выполнения опытно-технологической работы (ОТР) по теме «Разработка комплексной технологии получения нанокомпаундов на основе отечественного полимерного сырья для заводского нанесения антакоррозийных покрытий на трубы любого диаметра, используемые при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте подземных и морских газо- и нефтепроводов, эксплуатирующихся в экстремальных условиях», которая была задана ГК в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы». В соответствии с данным ГК исполнитель работ обязался выполнить и передать результаты научно-технической деятельности, полученные в рамках данной работы, инициатору проекта для коммерциализации этих результатов на территории Российской Федерации. В данном примере для наглядности рассмотрим лишь работы первого этапа данной ОТР, связанные с разработкой технического проекта на технологические процессы ТП1 – ТП4.

Пример применения Методики расчета фактической стоимости выполненных работ по ГК*Оценка значимости работ ГК*

На первом этапе, согласно календарного плану, должны быть выполнены семь работ (табл. 2).

Таблица 2

Фактическая стоимость работ первого этапа проекта

| № п/п | Наименование работы | Значимость работ | Фактический объем работы, % |
|--|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| Стоимость работ первого этапа проекта согласно ГК: 24 500 тыс. руб. | | | |
| 1.1 | Разработка и согласование с заказчиком документа «Комплектность технической документации, разрабатываемой в рамках государственного контракта» | 0,001 | 100 |
| 1.2 | Проведение патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011–96 | 0,004 | 100 |
| 1.3 | Разработка технологических решений: разработка вариантов отдельных аппаратных технологических решений; обоснование и выбор вариантов технологических решений | 0,611 | 60 |
| 1.4 | Разработка технического проекта технологических процессов и требований к технологическому оборудованию | 0,082 | 100 |
| 1.5 | Разработка программы и методик исследовательских испытаний технологических процессов | 0,008 | 100 |
| 1.6 | Разработка лабораторного технологического регламента технологических процессов | 0,008 | 100 |
| 1.7 | Проведение исследовательских испытаний разрабатываемых технологических процессов (ТП): – ТП1 – ТП2 – ТП3 – ТП4 | 0,286 0,04 0,43 0,43 0,10 | 8,48 50,0 4,4 4,4 27,0 |
| Фактический объем выполненных работ первого этапа проекта с учетом их значимости | | | 49,39 |
| Фактическая стоимость работ первого этапа проекта: 12 001 тыс. руб. | | | |

Значимость этих работ определялась в соответствии с выражением (35) Методики расчета фактической стоимости выполненных работ по государственному контракту (Методика ГК). Исходными данными для этого расчета служили значение общей цены работ этапа $C_{Б1} = 24\ 500$ тыс. руб. и значения цены каждой его работы (в тыс. руб.) согласно протоколу согласования цены:

$$c_{11} = 20, c_{12} = 100, c_{13} = 14\ 980, c_{14} = 2000, c_{15} = 200, c_{16} = 200, c_{17} = 7000. \quad (41)$$

В результате расчета выражения (35) значимость соответствующих работ была оценена следующими весовыми коэффициентами (см. табл. 2):

$$K_{11} = 0,001; K_{12} = 0,004; K_{13} = 0,611; K_{14} = 0,082; K_{15} = 0,008; K_{16} = 0,008; K_{17} = 0,286. \quad (42)$$

Оценка фактического объема работ ГК

На данном этапе, согласно календарному плану, должны быть выполнены семь работ за счет бюджетных средств (см. табл. 2).

На основании анализа отчетных материалов было установлено, что работы № 1, 2, 4, 5, 6 выполнены в полном объеме и в соответствии с требованиями технического задания. В этом случае значения фактических объемов этих работ составили:

$$V_{11} = V_{12} = V_{14} = V_{15} = V_{16} = 100\%. \quad (43)$$

Для оценки фактического объема работы № 3 «Разработка технологических решений: разработка вариантов отдельных аппаратных технологических решений; обоснование и выбор вариантов технологических решений» было использовано выражение (38) Методики ГК. По данной работе, согласно календарному плану, должны быть разработаны два документа: «Варианты аппаратных технологических решений» и «Обоснование выбранных технологических решений». Однако в отчетных материалах было представлено лишь «Обоснование выбранных технологических решений». В этом случае, согласно выражению (13), фактический объем работы № 3 должен составить 50 %. Тем не менее, учитывая то, что в представленном документе имеется описание некоторых вариантов аппаратных технологических решений, окончательное значение фактического объема работы № 3 можно оценить как:

$$V_{13} = 60\%. \quad (44)$$

Для оценки фактического объема работы № 7 «Проведение исследовательских испытаний разрабатываемых технологических процессов» было использовано выражение (39) Методики ГК, где число составляющих в 7-й работе $s_7 = 4$: ТП1, ТП2, ТП3, ТП4 – равно числу технологических процессов.

Согласно техническому заданию (п. 10.1.1) на первом этапе работ исследовательские испытания должны проводиться в целях изучения определенных характеристик свойств экспериментальных партий продукции в зависимости от вариации режимов и параметров технологического процесса. На основании изучения и анализа программ и методик исследовательских испытаний, а также содержания протоколов и актов проведения исследовательских испытаний было установлено следующее.

При проведении исследовательских испытаний технологического процесса ТП1 число параметров в данной работе n_7 ТП1 соответствует испытаниям по 6 показателям свойств гранулированного очищенного вторичного полимера (п. 5.1.1.3 технического задания). Однако в соответствии с программой и методикой исследовательских испытаний (ПМИ) было оценено лишь три показателя. Не была испытана массовая доля летучих веществ, а такие показатели, как насыпная плотность и зольность, были представлены без какого-либо обоснования и без проведения серии необходимых измерений, в нарушение требований методики испытаний. В этом случае согласно выражению (37) Методики ГК фактический объем работы № 7 первого этапа в рамках ТП1 будет равен:

$$V_{17\text{TP1}} = 100 \cdot 3 / 6 = 50\%. \quad (45)$$

При проведении исследовательских испытаний в рамках ТП2 согласно п. 5.1.2.3 ТЗ число параметров в данной работе n_7 ТП2 соответствует испытаниям по 27 параметрам получен-

ной полимерной основы для 5 классов покрытий. Однако, судя по протоколам исследовательских испытаний для ТП2, в соответствии с ПМИ были оценены лишь 6 показателей и только для одного класса покрытий (не указано какого). При этом:

- адгезия покрытия после выдержки в воде оценивалась лишь при температуре 80 °C, тогда как требовалось еще и при 60 и 95 °C, а адгезия сухого покрытия и вовсе не исследовалась;
- прочность при ударе оценивалась лишь при 50 °C, тогда как требовалось еще и при 60 °C, а также при –40 и –45 °C;
- устойчивость покрытия к термоциклированию оценивалась лишь для диапазона –50...20 °C, а для требуемого диапазона –60...0 °C не оценивалась, как и для диапазона –40...80 °C, указанного в цели проекта;
- результаты испытаний значения исходного переходного сопротивления и напряжения электрического пробоя представлены без проведения серии измерений (в соответствии с методикой) и без какого-либо обоснования. Более того, размерность переходного сопротивления ошибочно представлена как Ом/m², тогда как согласно техническому заданию оно должно измеряться в Ом·м²;
- вообще без проведения испытаний остались такие параметры, предписанные в техническом задании, как площадь отслаивания покрытия при температурах 60 и 80 °C и стойкость полимерного слоя к термостарению при 110 и 120 °C, а также усадка полимерного слоя при температуре 140 °C.

Таким образом, в результате проведенных исследовательских испытаний полученной в рамках ТП2 полимерной основы (п. 5.1.2.3 ТЗ) из 135 показателей ее свойств в соответствии с ПМИ и техническим заданием было оценено лишь 6 показателей. В этом случае, согласно выражению (37) Методики ГК, фактический объем работы № 7 первого этапа в рамках ТП2 будет равен:

$$V_{17\text{TP2}} = 100 \cdot 6 / 135 = 4,4\%. \quad (46)$$

При проведении исследовательских испытаний в рамках ТП3 согласно п. 5.1.3.3 технического задания число параметров в данной работе n_7 ТП3 также соответствует испытаниям по 135 показателям свойств полученного полимер-слоистого нанокомпозита для 5 классов покрытий. Однако, судя по протоколам исследовательских испытаний для ТП3, в соответствии с ПМИ были оценены лишь 6 показателей полимер-слоистого нанокомпозита и только для одного класса покрытий (не указано какого). При этом:

- адгезия покрытия после выдержки в воде оценивалась лишь при температуре 80 °C, тогда как требовалось еще и при 60 и 95 °C, а адгезия сухого покрытия и вовсе не исследовалась;
- прочность при ударе оценивалась лишь при 50 °C, тогда как требовалось еще и при 60 °C, а также при –40 и –45 °C;
- устойчивость покрытия к термоциклированию оценивалась лишь для диапазона –50...20 °C, а для требуемого диапазона –60...0 °C не оценивалась, как и для диапазона –40...80 °C, указанного в цели проекта;
- результаты испытаний значения исходного переходного сопротивления и напряжения электрического пробоя представлены без проведения серии измерений в соответствии с методикой, без какого-либо обоснования и полностью совпадающими с результатами испытания ТП2. Более того, размерность переходного сопротивления также ошибочно представлена как Ом/m², тогда как согласно техническому заданию оно должно измеряться в Ом·м²;
- вообще без проведения испытаний также остались такие параметры, предписанные в техническом задании, как площадь отслаивания покрытия при температурах 60 и 80 °C и стойкость полимерного слоя к термостарению при 110 и 120 °C, а также усадка полимерного слоя при 140 °C.

Таким образом, в результате проведенных исследовательских испытаний полученного в рамках ТП3 полимер-слоистого нанокомпозита (п. 5.1.3.3 ТЗ) из 135 показателей его свойств в соответствии с ПМИ было оценено лишь 6 показателей. В этом случае, согласно (37) Методики ГК, фактический объем работы № 7 первого этапа в рамках ТП3 будет равен:

$$V_{17\text{TP3}} = 100 \cdot 6 / 135 = 4,4\%. \quad (47)$$

При проведении исследовательских испытаний в рамках ТП4 согласно п. 5.1.4.3 ТЗ и 5.1.2.4 ТЗ число параметров в данной работе $n_7\text{TP4}$ соответствует испытаниям по 15 показателям свойств покрытий трубных композиций. Однако, судя по протоколам исследовательских испытаний для ТП4, в соответствии с ПМИ были оценены лишь 5 показателей свойств антакоррозийного покрытия стальной трубы. При этом результаты исследовательских испытаний по двум таким показателям, как переходное сопротивление и напряжение электрической прочности, представлены без проведения необходимой серии измерений в соответствии с методикой и без какого-либо обоснования. Более того, полученные значения электрической прочности оказались в 2 раза хуже, чем указано в требовании технического задания, а размерность переходного сопротивления ошибочно представлена как $\text{Ом}/\text{м}^2$, тогда как согласно техническому заданию оно должно измеряться в $\text{Ом}\cdot\text{м}^2$. При этом вообще без проведения исследовательских испытаний ТП4 остались такие параметры покрытий трубных композиций (п. 5.1.2.4 ТЗ), как плотность покрытия, предел текучести при растяжении, относительное удлинение при разрыве, модуль упругости, температура плавления, температура размягчения (по Вика), термический коэффициент линейного расширения, коэффициент теплопроводности и удельное объемное электрическое сопротивление.

Таким образом, в результате проведенных исследовательских испытаний полученного в рамках ТП4 антакоррозийного покрытия стальной трубы (п. 5.1.2.4 ТЗ и 5.1.2.4 технического задания) из 15 показателей его свойств в соответствии с ПМИ в соответствии с техническим заданием было оценено лишь 4 показателя. В этом случае, согласно (37) Методики ГК, фактический объем работы № 7 первого этапа в рамках ТП4 будет равен:

$$V_{17\text{TP4}} = 100 \cdot 4 / 15 = 27\%. \quad (48)$$

Таким образом, фактический объем всей работы № 7 первого этапа «Проведение исследовательских испытаний разрабатываемых технологических процессов» для ТП1 – ТП4 с учетом выражений (44) – (47) будет равен:

$$V_{17} = 1/4 (V_{17\text{TP1}} + V_{17\text{TP2}} + V_{17\text{TP3}} + V_{17\text{TP4}}) = 21,45\%. \quad (49)$$

Однако данное выражение справедливо лишь в случае одинаковой значимости результатов проведенных исследовательских испытаний для каждого технологического процесса в рамках работы № 7 первого этапа. Если же учесть их фактическую значимость, которая базируется на количестве проверок, предусмотренных техническим заданием для каждого ТП, то на основании выражения (36) Методики ГК для общего числа всех операций в работе № 7 $R_7 = 151$ получим следующие значения весовых коэффициентов составляющих работы № 7 для соответствующих ТП:

$$K_{7\text{TP1}} = 0,04; K_{7\text{TP2}} = 0,43, K_{7\text{TP3}} = 0,43; K_{7\text{TP4}} = 0,10. \quad (50)$$

В этом случае, учитывая выражения (44) – (49), фактический объем всей работы № 7 первого этапа, по аналогии с выражением (39) Методики ГК, будет равен

$$\begin{aligned} V_{17} = & K_{7\text{TP1}} V_{17\text{TP1}} + K_{7\text{TP2}} V_{17\text{TP2}} + K_{7\text{TP3}} V_{17\text{TP3}} + K_{7\text{TP4}} V_{17\text{TP4}} = 0,04 \cdot 50 + \\ & + 0,43 \cdot 4,4 + 0,43 \cdot 4,4 + 0,10 \cdot 27 = 8,48\%. \end{aligned} \quad (51)$$

На основании полученных данных в выражениях (41) – (43) и (50) фактический объем всех выполненных работ первого этапа ($m_1 = 7$) с учетом их фактических объемов и значимости определим по формуле (28) Методики ГК:

$$V_{\Phi 1} = \sum_{i=1}^{m_1} V_{1i} K_{1i} = 0,10 + 0,40 + 36,66 + 8,20 + 0,80 + 0,80 + 2,43 = 49,39 \%. \quad (52)$$

Оценка фактической стоимости выполненных работ ГК

На основании вышеприведенных расчетов в (51) фактическая стоимость выполненных работ первого этапа в соответствии с (27) Методики ГК будет равна:

$$C_{\Phi B1} = C_{B1} V_{\Phi 1} / 100 = 24\,500 \cdot 0,4939 = 12\,101 \text{ тыс. руб.} \quad (53)$$

Таким образом, фактическая стоимость реально выполненных работ первого этапа составила лишь 12 101 тыс. руб. вместо запланированных 24 500 тыс. руб. согласно ГК.

Полученные результаты по данному этапу работ отражены в табл. 2. Оценка остальных работ проводится аналогичным образом применительно ко всем технологическим этапам данного проекта, а также и к другим подобным проектам, выполняемым в рамках государственных контрактов.

Представленная в статье методика оценки фактического объема выполненных работ позволяет перевести качественные замечания о несоответствии результатов работ требованиям технического задания и календарного плана ГК в количественные значения, оценив их стоимость.

Статья подготовлена в рамках Государственного задания № 26.13328.2019/13.1 и № 26.13330.2019/13.1 Министерства науки и высшего образования России

Список литературы

1. Федеральный закон от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике». URL: <https://minjust.ru/ru/federalnyy-zakon-ot-23-avgusta-1996-g-no-127-fz-o-nauke-i-gosudarstvennoy-nauchno-tehnicheskoy> (дата обращения: 11.10.2019).
2. Федеральный закон от 27.09.2013 № 253-ФЗ «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: <https://base.garant.ru/70460112> (дата обращения: 11.10.2019).
3. Федеральный закон от 27.09.2013 № 253-ФЗ «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: <https://base.garant.ru/70460112> (дата обращения: 11.10.2019).
4. Федеральный закон от 21.07.2011 № 254-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике». URL: <https://base.garant.ru/12188178> (дата обращения: 11.10.2019).
5. Проект федерального закона № 98106503-2 «О научной и научно-технической экспертизе». URL: <https://www.lawmix.ru/lawprojects/74249> (дата обращения: 11.10.2019).
6. Модельный закон о научной и научно-технической экспертизе. (Принят в г. Санкт-Петербурге 15.11.2003 Постановлением № 22-17 на 22-м пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ.) URL: <https://base.garant.ru/2569545> (дата обращения: 11.10.2019).
7. Постановление Совета Министров РСФСР от 01.04.1991 № 182 «О введении государственной экспертизы в сфере науки» URL: <http://docs.cntd.ru/document/901605464> (дата обращения: 11.10.2019),
8. Постановление Правительства РФ «Об утверждении Правил аккредитации граждан и организаций, привлекаемых органами государственного контроля (надзора) и органами муниципального контроля к проведению мероприятий и контролю» от 20.08.2009 № 689. URL: <https://base.garant.ru/12169214> (дата обращения: 11.10.2019).

9. Приказ Министерства науки и технической политики РФ от 19.03.1996 «О создании Федерального реестра экспертов научно-технической сферы» № 42. URL: <https://reestr.extech.ru/docs/prkaz.php> (дата обращения: 11.10.2019),
10. Указ Президента РФ от 12.05.2009 «Об основах стратегического планирования в Российской Федерации» № 536 (доступ ограничен).
11. Указ Президента РФ от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения: 11.10.2019).
12. Быков Е.Д., Меньшиков В.В. Организация и управление высокотехнологичными программами и проектами: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. 112 с.
13. Инновационный менеджмент: учеб. пособие/под ред. Л.Н. Оголовой. М.: Инфра-М, 2003. 238 с.
14. Меньшиков В.В., Колесников В.А. Коммерциализация инновационных технологий: учеб. пособ. М.: ООО «Изд-во «ЛКМ-пресс», 2009. 84 с.
15. Меньшиков В.В., Бобров Д.А., Бирюков А.Л., Путилов А.В. Трансфер технологий: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2006. 148 с.
16. Постановление Правительства РФ от 22.11.1997 № 1470 (ред. от 03.09.1998) «Об утверждении Порядка предоставления государственных гарантий на конкурсной основе за счет средств Бюджета развития Российской Федерации и Положения об оценке эффективности инвестиционных проектов при размещении на конкурсной основе централизованных инвестиционных ресурсов Бюджета развития Российской Федерации». URL: <https://base.garant.ru/176300> (дата обращения: 11.10.2019).
17. Викулов О.В., Рыбаков Ю.Л., Шамсутдинов Ю.А. Обеспечение качества и достоверности экспертных оценок конкурсных проектов // Вестник РАН. 2018. Т. 88. № 4. С. 313–322.
18. Викулов О.В., Дивуева Н.А. Система критериев и методические рекомендации экспертам по оценке комплексных инновационных проектов в рамках научно-технической кооперации государственных научных центров с вузами и научными организациями реального сектора экономики // Инноватика и экспертиза. 2016. Вып. 1 (16). С. 108–120.
19. Gostev A.N., Turko T.I., Shchepanskiy S.B. Social mechanisms in elaborating russian educational policy: Legal monitoring. International Journal of Environmental and Science Education. 2016. V. 11. № 18. P. 11195–11218.
20. Glisin F.F., Kaluzhnyi V.V., Melnik P.B., Shchepanskiy S.B. Criteria for evaluation and planning of science foundation activity. International Review of Management and Marketing. 2016. V. 6. № S3. P. 190–194.

References

1. Federal Law of 08.23.1996 No. 127-FZ «On Science and the State Scientific and Technological Policy». Available at: <https://minjust.ru/en/federalnyy-zakon-ot-23-avgusta-1996-g-no-127-fz-o-nauke-i-gosu-darstvennoy-nauchno-tehnicheskoy> (accessed: 11.10.2019).
2. Federal Law of September 27, 2013 No. 253-FZ «On the Russian Academy of Sciences, the Reorganization of State Academies of Sciences, and Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation». Available at: <https://base.garant.ru/70460112> (accessed: 10.10.2019).
3. The Federal Law «On the Russian Academy of Sciences, the reorganization of state academies of sciences and amendments to certain legislative acts of the Russian Federation» dated September 27, 2013. No. 253-FZ. Available at: <https://base.garant.ru/70460112> (accessed: 10.10.2019).
4. Federal Law of July 21, 2011 No. 254-FZ «On Amendments to the Federal Law On Science and the State Scientific and Technological Policy». Available at: <https://base.garant.ru/12188178> (accessed: 11.10.2019).
5. Draft federal law No. 98106503-2 «On scientific and scientific-technological expert examination». Available at: <https://www.lawmix.ru/lawprojects/74249> (accessed: 10.10.2019).
6. Model law on scientific and scientific-technological expert examination. (Adopted in St. Petersburg on 15.11.2003 by Decree No. 22-17 at the 22nd plenary meeting of the Interparliamentary Assembly of CIS Member States.) Available at: <https://base.garant.ru/2569545> (accessed: 11.10.2019).
7. Decree of the Council of Ministers of the RSFSR of 01.04.1991 No. 182 «On the introduction of state expert examination in the field of science» Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901605464> (accessed: 10.10.2019).

8. Decree of the Government of the Russian Federation «On the Approval of the Rules for the Accreditation of Citizens and Organizations Involved by State Control (Supervision) Bodies and Municipal Control Bodies to Carry Out Events, Control and Inspection» No. 689 of 08.20.2009. Available at: <https://base.garant.ru/12169214> (circulation date: 11.10.2019).
9. Order of the Ministry of Science and Technology Policy of the Russian Federation «On the Creation of the Federal Roster of Experts in Science and Technology» dated March 19, 1996. No. 42. Available at: <https://reestr.extech.ru/docs/prkaz.php> (accessed date: 11.10. 2019).
10. Decree of the President of the Russian Federation «On the Basics of Strategic Planning in the Russian Federation» dated 12.05.2009 No. 536 (access is limited).
11. Decree of the President of the Russian Federation dated 01.12.2016 No. 642 «On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation». Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (accessed: 11.10.2019).
12. Bykov E.D., Menshikov V.V. Organization and management of high-tech programs and projects: textbook. Moscow. RCTU named after D.I. Mendeleev. 2010. P. 112.
13. Innovation management: textbook. Ed. L.N. Ogoleva Moscow. Infra-M, 2003. P.238.
14. Menshikov V.V., Kolesnikov V.A. Commercialization of innovative technologies: textbook. Benefits Moscow. LLC «Publishing house» LKM-press. 2009. P. 84.
15. Menshikov V.V., Bobrov D.A., Biryukov A.L., Putilov A.V. Technology Transfer: Textbook. Moscow. RCTU named after DI. Mendeleev. 2006. P. 148.
16. Decree of the Government of the Russian Federation of November 22, 1997 No. 1470 (as amended on September 3, 1998) «On approving the Procedure for providing state guarantees on a competitive basis at the expense of the Development Budget of the Russian Federation and the Regulation on evaluating the effectiveness of investment projects when centralized investment projects are placed on a competitive basis Development Budget of the Russian Federation». Available at: <https://base.garant.ru/176300> (accessed: 11.10.2019).
17. Vikulov O.V., Rybakov Yu.L., Shamsutdinov Yu.A. Ensuring the quality and reliability of expert assessments of competitive projects. Bulletin of the RAS. 2018. V. 88. No. 4. P. 313–322.
18. Vikulov O.V., Divueva N.A. The system of criteria and methodological recommendations to experts on the assessment of integrated innovative projects in the framework of scientific and technological cooperation of state research centers with universities and research organizations of the real sector of the economy. Innovation and Expert Examination. 2016. Issue 1 (16). P. 108–120.

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-32-43

ПРОБЛЕМЫ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИКИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ИННОВАЦИОННОМУ РАЗВИТИЮ

B.C. Усков, ст. науч. сотр. ФГБУН «Вологодский научный центр РАН», канд. экон. наук, v-uskov@mail.ru

Рецензент: Мазилов Е.А.

В статье представлены результаты исследования места и уровня развития человеческого капитала и экономики знаний РФ в мировой экономике, проведен анализ показателей развития сферы образования РФ, выявлены тенденции и проблемы развития кадрового обеспечения инновационной экономики России, предложены направления развития системы подготовки высококвалифицированных кадров.

Ключевые слова: инновационная экономика, кадры, тенденции и проблемы развития.

PROBLEMS OF HUMAN RESOURCES OF THE ECONOMY OF RUSSIA IN THE CONDITIONS OF TRANSITION TO INNOVATIVE DEVELOPMENT

V.S. Uskov, Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science «Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences», Doctor of Economics, v-uskov@mail.ru

The article presents the results of a study of the place and level of human capital development and the knowledge economy of the Russian Federation in the world economy, analyzes the development indicators of the Russian education sector, identifies trends and problems in the development of staffing for the innovative economy of Russia, and suggests ways to develop a system of training highly qualified personnel.

Keywords: innovative economy, human resources, trends and development problems.

Особенностью современного мирового хозяйственного развития является построение ведущими странами инновационной экономики, базирующейся преимущественно на генерации, распространении и использовании знаний. Согласно экспертным оценкам, в последние годы подавляющая часть прироста валового внутреннего продукта (до 90 %) в развитых странах получена за счет новой научноемкой продукции, являющейся конечным результатом коммерциализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) [8]. Для России переход от экспортно-сырьевого к инновационному типу развития также выступает основной целью государственной политики в области развития науки и технологий, необходимой предпосылкой модернизации экономики и, в конечном счете, обеспечения конкурентоспособности отечественного производства. Поэтому именно развитие науки и инновационной сферы, инвестиции в интеллектуальный капитал становятся важными составляющими достижения устойчивого экономического роста страны.

Задача инновационного развития экономики масштабна, так как технологическое отставание России от развитых стран является значительным. Так, по интегральному показателю «Глобальный инновационный индекс»¹, который, с одной стороны, характеризует возмож-

¹ Глобальный инновационный индекс составляется Корнелльским университетом, Школой бизнеса INSEAD и Всемирной организацией интеллектуальной собственности. Данный индекс содержит подробные данные об инновационной деятельности 126 стран и территорий мира, включая 80 параметров инновационного развития, включая обзор политической ситуации, положения дел в образовании, уровня развития инфраструктуры и бизнеса.

ности для осуществления преобразований, с другой – конечные результаты инновационной деятельности, Россия занимает срединное положение, уступая развитым европейским странам и США (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение по результатам научно-технологического развития России со странами-лидерами Глобального инновационного рейтинга в 2017 г.

| Страна (место в Глобальном инновационном рейтинге) | Внутренние затраты на образование, % от ВВП | Внутренние затраты на НИОКР, % от ВВП | Патенты, полученные за рубежом (РСТ) | Поступления от экспорта техно- логий и выплаты по импорту технологий, млн долл. | Численность научных иссле- дователей на 10 000 занятых в экономике |
|---|--|--|---|---|--|
| Швейцария (1) | 5,07 | 2,97 | 4115 | 21 086,8/24 404,3 | 55 |
| Великобритания (5) | 5,75 | 1,71 | 5282 | 49 174,8/27 223,0 | 84 |
| Швеция (2) | 7,72 | 3,28 | 3925 | 20 922,8/11 547,7 | 106 |
| Финляндия (8) | 7,16 | 2,93 | 1815 | 10 749,9/8 005,8 | 159 |
| Нидерланды (3) | 5,61 | 2,01 | 4218 | 39 985,8/29 427,8 | 62 |
| США (4) | 4,94 | 2,80 | 81 492 | 113 057,0/77 286,0 | 95 |
| Германия (9) | 4,94 | 2,88 | 18 008 | 61 110,3/53 079,5 | 81 |
| Япония (14) | 3,77 | 3,49 | 42 459 | 29 887,2/51 97,0 | 102 |
| Китай (22) | 4,76 | 2,09 | 25 539 | Н/д | 17 |
| Россия (45) | 3,86 | 1,13 | 890 | 688,5/2043,2 | 65 |

Источники: URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2017.pdf (дата обращения: 03.12.2019); Human Development Report 2016. Mobility and Communication Technical notes; Индикаторы науки: стат. сб. М.: НИУ ВШЭ, 2017. С. 394, 365.

В настоящее время в развитых странах мира наблюдаются активные процессы «новой индустриализации», которые предполагают возрождение и дальнейшее развитие реального сектора экономики на самой передовой технологической основе [4]. Особое место в решении задач новой индустриализации и формировании инновационной экономики занимает кадровый научный потенциал. За истекшее десятилетие в России произошло трехкратное сокращение численности научного персонала, участвующего в инновационном процессе. Страна утратила лидерство по относительной численности исследователей. В 2015 г. она по этому показателю занимала 12-е место, уступая таким странам, как Испания, Южная Корея, Великобритания. Учитывая, что средний возраст работающих в научных организациях превышает 50 лет, а число исследователей в возрасте 60 лет достигло 40%, можно спрогнозировать, что в ближайшей перспективе (5–10 лет) количество исследователей снизится еще вдвое.

Таким образом, цель данной работы – выявление проблем кадрового обеспечения экономики России в условиях перехода к инновационному развитию, а также разработка системы рекомендаций по их решению. В перечне задач – рассмотрение места уровня развития человеческого капитала и экономики знаний РФ в мировой экономике, анализ показателей развития сферы образования РФ, выявление тенденций и проблем развития кадрового обеспечения инновационной экономики России, определение направлений развития системы подготовки высококвалифицированных кадров.

Вопросы развития человеческого капитала и человеческих ресурсов, отражающие интеллектуальный потенциал страны, были в центре внимания экономики с момента ее становления. В настоящее время регионы ведут конкурентную борьбу за трудовые кадры, а человеческий капитал является одним из важнейших ресурсов экономического развития.

По мнению специалистов, в РФ наблюдается стремительное снижение количества трудоспособного населения и ухудшение качества рабочей силы (результат слабой государственной политики в сфере образования в 1990-х гг. и невозможности полного замещения выпадающего опытного трудоспособного населения) [7].

Изучение теоретико-методологических подходов и передового зарубежного опыта позволяет заключить, что оценка человеческого капитала не имеет на сегодняшний день единой установленной классификации, а находится, скорее, на этапе формирования [11, 15]. Один из наиболее известных способов оценки человеческого капитала разных стран – используемый Организацией Объединенных Наций расчет индекса человеческого развития (ИЧР), который до 2013 г. носил название «индекс развития человеческого потенциала»² (табл. 2). Представленные данные позволяют отметить существующую положительную динамику место России в данном рейтинге: поэтапно, за 5 лет показатели ИЧР позволили переместить нашу страну с 66-го на 49-е место.

Таблица 2

Сравнительный анализ ИЧР разных стран и РФ

| Страна | Год; место страны (значение индекса) | | | | |
|----------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2016 |
| Бразилия | 84 (0,715) | 85 (0,730) | 79 (0,744) | 75 (0,755) | 79 (0,754) |
| Великобритания | 28 (0,863) | 26 (0,875) | 14 (0,892) | 14 (0,907) | 16 (0,909) |
| Германия | 9 (0,905) | 5 (0,920) | 6 (0,911) | 6 (0,916) | 4 (0,926) |
| Индия | 134 (0,547) | 136 (0,554) | 135 (0,586) | 130 (0,609) | 131 (0,624) |
| Камбоджа | 139 (0,523) | 138 (0,543) | 136 (0,584) | 143 (0,555) | 143 (0,563) |
| Китай | 101 (0,687) | 101 (0,699) | 91 (0,719) | 90 (0,727) | 90 (0,738) |
| Мексика | 57 (0,770) | 61 (0,775) | 71 (0,756) | 74 (0,756) | 77 (0,762) |
| Россия | 66 (0,755) | 55 (0,755) | 57 (0,778) | 50 (0,798) | 49 (0,804) |
| США | 4 (0,910) | 3 (0,937) | 5 (0,914) | 8 (0,915) | 10 (0,920) |
| Франция | 20 (0,884) | 20 (0,893) | 20 (0,884) | 22 (0,88) | 21 (0,897) |
| Эфиопия | 174 (0,363) | 173 (0,396) | 173 (0,435) | 174 (0,442) | 174 (0,448) |
| Япония | 12 (0,901) | 10 (0,912) | 17 (0,890) | 20 (0,891) | 17 (0,903) |

Источник: Официальный сайт ФАО ООН. URL: <http://www.fao.org/docrep/018/i1688r/i1688r.pdf> (дата обращения: 03.12.2019).

Насколько эффективно формируется человеческий капитал, можно судить по вкладу в «экономику знаний» (НИОКР, образование, информационно-коммуникационные технологии, биотехнологии и здравоохранение). Так, доля «экономики знаний» в ВВП у нас крайне низка – всего 15 %, в то время как в советское время эта доля доходила до 20 %; в западноевропейских странах она составляет 30 %, в США – 40 %. А ведь экономика знаний – главный локомотив социально-экономического роста, наиболее быстро растущая сфера в народном хозяйстве, обладающая наибольшим мультипликативным эффектом.

Начиная с 2004 г. Всемирный банк в рамках специальной программы «Знания для развития» (Knowledge for development) проводит исследования разных стран по уровню развития экономики, основанной на знаниях. Индекс экономики знаний характеризует эффектив-

² Данный индекс включает следующие показатели: уровень образования (начального, среднего и высшего профессионального) и здоровья (физического и психологического благополучия); трудоустройства и занятости; а также инфраструктуру, правовую защиту и социальную мобильность.

ность использования знаний в целях экономического и общественного развития. Индекс знаний – это показатель потенциала страны, ее способности создавать, транслировать и распространять знания. Россия занимает 55-е место среди 146 стран, представленных в мировом рейтинге (рис. 1).

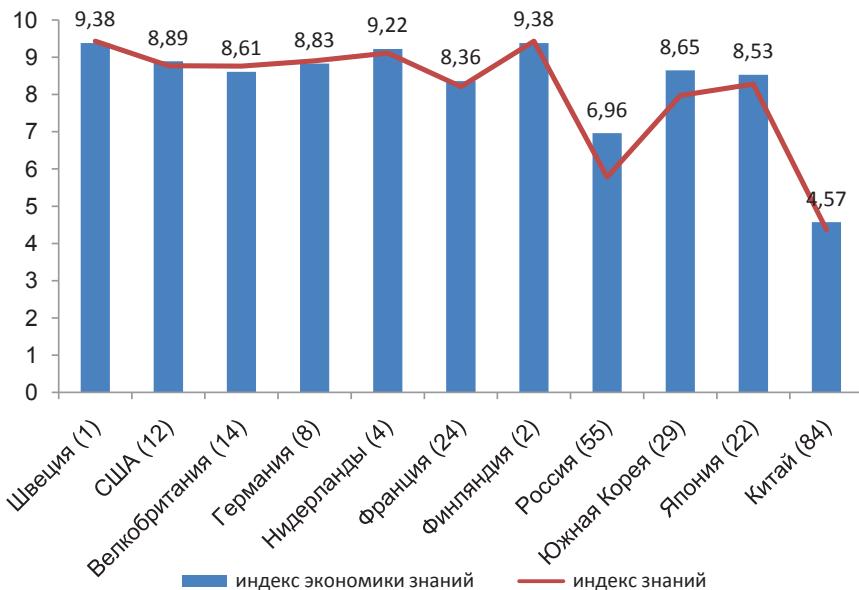


Рис. 1. Индекс знаний и экономики знаний за 2016 г. [8]

Индекс знаний России – 6,96, что свидетельствует о том, что страна обладает достаточным творческим, интеллектуальным, профессиональным и научно-технологическим потенциалом. Однако индекс экономики знаний России составляет 5,78, что означает, что потенциал используется недостаточно. Основная проблема российской науки и образования заключается в отсутствии должного пополнения кадрового потенциала науки.

Анализ показателей развития сферы образования РФ позволяет утверждать, что за период 2001–2014 гг. численность населения России с третичным образованием в расчете на 10 тыс. занятого населения возросло на 37 % (с 5640 до 7710 человек соответственно). Однако данное изменение произошло главным образом за счет работников со средним профессиональным образованием, а число занятых с высшим образованием увеличивалось более медленными темпами (темпер роста – 144 % против 128 %; табл. 3).

Следует отметить неравномерность распределения квалифицированных кадров по территории. Значительная часть занятого населения с профессиональным образованием сконцентрирована в Центральном федеральном округе (4530 человек со средним профессиональным образованием и 3750 человек с высшим образованием на 10 тыс. занятого населения), на остальных территориях квалифицированных специалистов было сравнительно меньше.

В экономике, основанной на знаниях, роль образования усиливается. Профессиональное образование превращается в главный источник формирования высококвалифицированных специалистов. Для этого требуется обновление системы высшего образования, ее реформирование. Чтобы оно проходило успешно, необходимо усиление академической автономии вузов, обновление содержания высшего образования и методов/технологий обучения, увеличение объемов финансирования, создание достойных условий труда и оплаты преподавателей и других работников сферы образования [5].

Таблица 3

**Численность занятого населения со средним и высшим профессиональным образованием
(на 10 тыс. занятого населения)**

| Территория | Среднее профессиональное образование | | | | Высшее профессиональное образование | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|------|------|-------------------|-------------------------------------|------|------|-------------------|
| | 2001 | 2005 | 2017 | 2017 к 2001, % | 2001 | 2005 | 2017 | 2017 к 2001, % |
| РФ | 3130 | 2560 | 4490 | 143,5 | 2510 | 2620 | 3220 | 128,3 |
| В разрезе федеральных округов: | | | | | | | | |
| Центральный ФО | 3100 | 2600 | 4530 | 146,1 | 2910 | 3050 | 3750 | 128,9 |
| Северо-Западный ЗФО | 3460 | 2410 | 4740 | 137,0 | 2640 | 2830 | 3250 | 123,1 |
| Южный ФО | 3000 | 2540 | 4380 | 146,0 | 2420 | 2570 | 3020 | 124,8 |
| Северо-Кавказский ФО | — | — | 2850 | — | — | — | 3090 | — |
| Дальневосточный ФО | 3380 | 2650 | 4440 | 131,4 | 2650 | 2610 | 3170 | 119,6 |
| Приволжский ФО | 2940 | 2390 | 4740 | 161,2 | 2140 | 2290 | 2890 | 135,0 |
| Сибирский ФО | 3210 | 2760 | 4390 | 136,8 | 2420 | 2440 | 2850 | 117,8 |
| Уральский ФО | 3160 | 2660 | 4790 | 151,6 | 2220 | 2160 | 3110 | 140,1 |

Источник: Регионы России. Социально-экономические показатели. 2015: стат. сб. М.: Росстат, 2017. С. 156–157.

Содержание образования должно соответствовать высокому темпу обновления технологий и знаний, т. е. получаемые теоретические знания должны соответствовать практической области применения этих знаний. Один из источников обновления образования – это научно-исследовательская деятельность.

Однако численность персонала, занятого исследованиями и разработками в сфере высшего профессионального образования, продолжает сокращаться, несмотря на то что количество вузов по сравнению с 2000 г. увеличилось с 390 до 671 (табл. 4).

Таблица 4

**Динамика количества образовательных учреждений и численности персонала,
занятого исследованиями в системе высшего образования в РФ**

| Показатель | 2000 г. | 2005 г. | 2012 г. | 2014 г. | 2017 г. | 2017 г. к 2000 г., % |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------|
| Число высших учебных заведений, ед. | 390 | 406 | 581 | 560 | 671 | 172,1 |
| Персонал, занятый исследованиями в вузах, чел. | 40 787 | 43 500 | 59 454 | 59 356 | 59 116 | 144,9 |

Источник: Российский статистический ежегодник. ФСГС РФ, 2017.

Кроме того, только 16 % российских преподавателей участвуют в научной работе [10]. Если в 2000 г., на один вуз в среднем приходилось 105 человек, занятых исследованиями, то в 2016 г. исследования выполняли 88 человек. Вместе с тем участие преподавателей в исследованиях позволит обогащать содержание учебных и образовательных программ новейшими материалами, актуальными знаниями, адаптировать их содержание к требованиям и запросам рынков.

Другой системной проблемой профессионального образования является неспособность обеспечивать экономику необходимыми специалистами в полной мере. Квалифицированных специалистов на рынке труда не хватает. При этом существует проблема невостребованности части выпускников образовательных учреждений, особенно с высшим образованием, из-за несоответствующего уровня полученных знаний и умений, а также из-за получения ими профессий, не пользующихся спросом у работодателей [8]. По нашему мнению, это является следствием по крайней мере трех главных проблем.

Первая проблема – бюджетные места в вузах по направлениям подготовки, не пользующимся спросом, заполняются абитуриентами независимо от уровня их подготовки, т.е. комплектуются «по остаточному принципу». Вторая – несоответствие содержания образовательных программ современным требованиям. Третья проблема – отсутствие контроля качества образования, особенно со стороны работодателей как будущих потребителей «продукции» системы подготовки кадров.

Абитуриенты, имеющие среднее или низкое количество баллов по профильным предметам, вряд ли смогут освоить в необходимой мере профессиональные знания, развить сложные профессиональные компетенции инженеров/технологов [10]. А для инновационной экономики первостепенное значение имеют специалисты технических и естественных наук и их междисциплинарных направлений.

Заметим, что перспективы развития РФ в долгосрочном периоде связываются с модернизацией промышленности, освоением производства высокотехнологичной научноемкой продукции, что формирует приоритетную потребность в инженерных специальностях (конструкторы, технологии, инженеры-строители). Количественная и качественная потребность в инженерных кадрах в ближайшей перспективе будет только возрастать.

Необходимость формирования и реализации в РФ эффективных механизмов профессиональной подготовки и переподготовки по специальностям является значимым фактором, обеспечивающим возможность инновационного развития страны.

Критический анализ научных публикаций по данной тематике позволяет сделать вывод о том, что проблемы подготовки специалистов в области техники и технологий, а также проблемы состояния отечественного инженерного дела остаются в фокусе острых дискуссий со стороны специалистов – представителей науки, образования, промышленности. Так, по оценкам экспертов Ассоциации инженерного образования (АИОР), среди которых более 80 % – представители образовательного сообщества, уровень и качество подготовки современных инженеров удовлетворительны (59%). Примерно 25 % экспертов признают его хорошим и 2 % – отличным. Вместе с тем 85 % этих же экспертов состояние инженерного дела в России оценили как неудовлетворительное [2].

Таким образом, развертывание процессов новой индустриализации в России требует новых подходов к уровню профессиональной подготовки, обеспечения нового качества рабочей силы, трансформации профессионально-квалификационной структуры занятости (табл. 5).

Последнее должно происходить в направлении наращивания кадрового потенциала страны высокообразованными техническими специалистами, учеными, инженерами и высоко-квалифицированными рабочими, основная функция которых – интеллектуальное обеспечение политики модернизации путем развития новых научных направлений, разработки конкурентных технологий, строительства промышленных предприятий и организации новых производств.

По имеющимся оценкам, текущий дефицит инженерных кадров в России составляет примерно 800 тыс. человек, особо острая нехватка кадров отмечается в ОПК [4]. В связи с этим на протяжении последних лет контрольные цифры приема на инженерные специальности постоянно увеличивались. В настоящее время подготовка инженерных кадров осуществляется в 560 вузах РФ, в которых по инженерным специальностям обучаются 1,5 млн студентов [4].

Таблица 5

**Выпуск бакалавров, магистров и специалистов
государственными и муниципальными вузами в 2015 г., тыс. чел.**

| Наименования специальностей | Число, чел. | Доля, % |
|--|-------------|---------|
| Экономика и управление | 350,5 | 33,07 |
| Инженерно-технические | 260,5 | 24,58 |
| Гуманитарные и социальные, включая право | 192,6 | 18,17 |
| Образование и педагогика | 102,6 | 9,68 |
| Здравоохранение | 36,0 | 3,40 |
| Естествознание и точные науки | 31,8 | 3,00 |
| Сельское и рыбное хозяйство | 35,2 | 3,32 |
| Культура и искусство | 20,6 | 1,94 |
| Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды | 14,0 | 1,32 |
| Сфера обслуживания | 16,2 | 1,53 |
| Итого | 1060,0 | 100 |

Источник: Бородина Д.Р., Гохберг Л.М., Жихарева О.Б. и др. Образование в цифрах: 2017: краткий стат. сб. М.: НИУ ВШЭ, 2017. 80 с.

Таким образом, воспроизводство кадров для инновационной экономики в рамках современной концепции развития регионов является важнейшей стратегической задачей. Сложившиеся в последние десятилетия региональные рынки труда, ориентированные в основном на замещение существующих рабочих мест, как правило, в традиционных секторах экономики, не соответствующих уровню технологического развития производства экономически развитых стран, не способны удовлетворить кадровые потребности научно-технической сферы.

Как показало исследование, решение вопросов развития инновационной деятельности и обеспечения ее соответствующими квалифицированными кадрами является одним из приоритетных направлений повышения уровня конкурентоспособности Российской Федерации. В связи с этим в целях получения точной, достоверной информации об инновационной практике промышленных предприятий Вологодский научный центр РАН проводит на территории Вологодской обл. мониторинг научно-технологической деятельности (опрос руководителей промышленных предприятий).

Результаты опроса свидетельствуют, что большинство (47 %) руководителей промышленных предприятий оценивают степень обеспеченности кадрами на 4 балла, в то же время около 43% респондентов отметили факт существенной нехватки кадров (рис. 2).

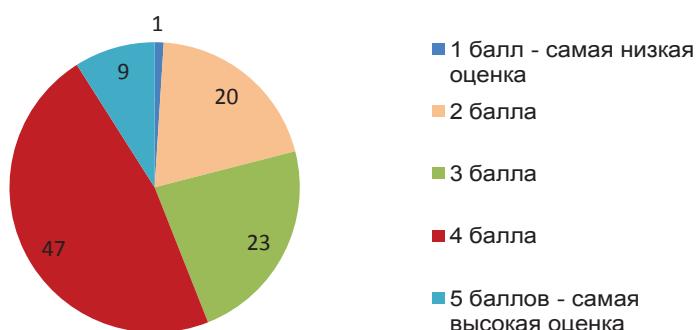


Рис. 2. Степень оснащенности кадрами промышленных предприятий Вологодской обл.
Источник: Данные мониторинга ВоНЦ РАН. 2017.

Большинство предприятий региона проблему нехватки кадров решают путем повышения квалификации работников, оптимизации производственной программы предприятий и привлечения специалистов из других организаций (табл. 6).

Таблица 6

Ответы респондентов на вопрос: «Каким образом решается проблема нехватки и требуемых кадров»?

| Ответ | Доля ответивших, % |
|---|--------------------|
| Повышение квалификации работников | 41 |
| Оптимизация производственной программы | 39 |
| Привлечение специалистов из других организаций | 30 |
| Передача заказов (работ) сторонним организациям | 24 |
| Привлечение специалистов, оказывающих услуги по поиску кадров | 21 |
| Взаимодействие с учреждениями профессионального образования | 21 |
| Повышение интенсивности труда за счет средств стимулирования | 19 |

Источник: Данные мониторинга научно-технологической деятельности предприятий Вологодской области. ВоЛНЦ РАН. 2017.

Рассматривая текущую потребность предприятий Вологодской обл. в работниках, связанных с инновационной деятельностью, респонденты отметили, что в настоящее время отсутствует потребность только лишь в руководителях специализированных подразделений. Вместе с тем предприятия отметили факт высокой нехватки инженеров, технологов, конструкторов и специалистов для работ на сложном технологическом оборудовании (табл. 7).

Таблица 7

Ответы респондентов на вопрос: «Какова текущая потребность вашего предприятия в работниках, связанных с инновационной деятельностью?»

| Ответ | Руководители специализированных подразделений | Инженеры | Технологи | Конструкторы | Специалисты для работ на сложном технологическом оборудовании | Специалисты по компьютеризации, программисты, системные администраторы |
|---------------|---|----------|-----------|--------------|---|--|
| Отсутствует | 47 | 20 | 16 | 21 | 22 | 31 |
| Низкая | 21 | 19 | 16 | 13 | 23 | 23 |
| Средняя | 21 | 27 | 36 | 26 | 31 | 27 |
| Высокая | 11 | 26 | 27 | 33 | 20 | 16 |
| Очень высокая | 0 | 8 | 5 | 7 | 4 | 3 |

Источник: Данные мониторинга научно-технологической деятельности предприятий Вологодской области. ВоЛНЦ РАН. 2017.

Как показало исследование, нехватка квалифицированных кадров и недостаток собственных финансовых средств – одни из основных причин того, почему промышленные предприятия региона не производят инновационные продукты. Также более 55% респондентов отметили, что у предприятий отсутствует необходимость в производстве данной продукции (рис. 3).



Рис. 3. Ответы респондентов на вопрос: «Если ваша компания не производит инновационные продукты, то по каким причинам?»

(в % от тех, кто не производит инновационные продукты)

Источник: Данные мониторинга ВолНЦ РАН. 2017.

Таким образом, решение стратегической задачи обеспечения конкурентоспособности отечественного производства и переход к новой модели экономического роста требует в первую очередь огромных инвестиционных ресурсов, но не менее важно наличие соответствующего человеческого капитала, наличие талантливых образованных людей, способных решать организационные, экономические и технологические задачи современной экономики. Качество человеческого капитала имеет особое значение в сфере науки, которая по определению является источником инновационного развития. Однако в настоящее время доля «экономики знаний» в ВВП в России существенно меньше (15 %), чем в западноевропейских странах (30 %) и в США (40 %). Невысокие позиции страны во многом связаны с отсутствием должного пополнения кадрового потенциала науки.

Как показало исследование, система профессионального образования не обеспечивает экономику необходимыми специалистами в полной мере. Также существует проблема невостребованности части выпускников образовательных учреждений – из-за низкого уровня полученных знаний, а также из-за получения ими специальностей, не пользующихся спросом у работодателей.

Для реализации нового типа взаимоотношений между российской наукой, образованием и производством необходимо в первую очередь преодоление разрыва между ними. Важно единство целей образовательной системы, науки и производства.

В этой системе отношений вузы обеспечивают науку и производство кадрами высокой квалификации; наука и производство поставляют в образовательные системы новые знания о технологиях, которые воплощаются в содержании образовательных программ и сделают их современными и конкурентоспособными (рис. 4).

Вместе с тем в условиях становления инновационной экономики другой актуальной, объективно востребованной и стратегически значимой задачей является формирование региональных систем, обеспечивающих расширенное воспроизведение научно-технических и инженерно-конструкторских кадров, основная функция которых – интеллектуальное обеспечение политики модернизации путем развития новых научных направлений, разработки конкурентных технологий, строительства промышленных предприятий и организаций новых производств.



Рис. 4. Система взаимодействия и взаимообогащения науки, образования и производства

Таким образом, развитая система подготовки высококвалифицированных кадров выступает основой воспроизведения научно-технологического потенциала государства. Важность и актуальность такой подготовки обусловлена тем, что в настоящее время большинство промышленных предприятий (как крупных, так и малых) не обладают специалистами, которые могут грамотно продвигать наукоемкую продукцию на рынок. Общая потребность в таких кадрах, по свидетельствам российских исследователей [12], составляет несколько десятков тысяч человек. Проблему можно решить, только организовав целенаправленную работу по их подготовке.

Говоря о проектировании и создании систем воспроизведения кадров, необходимо особо подчеркнуть, что они не должны иметь обособленный характер (т. е. «создание системы ради системы»). Их функционирование окажется эффективным только в том случае, если оно будет сфокусировано на кадровом обеспечении процессов развития территорий. При этом, на наш взгляд, необходимо решать три основные задачи: обеспечение массовости, выращивание талантов, минимизация оттока талантов (табл. 8).

Формирование системы развития научно-технического творчества, подготовки кадров для инновационной сферы региона будет направлено на обеспечение региональной экономики высококвалифицированными специалистами.

Таблица 8

Система подготовки высококвалифицированных кадров для инновационной сферы региона

| Задача | Направление | Мероприятия |
|-----------------------------|---|--|
| Обеспечение массовости | Формирование среды для реализации способностей к научно-техническому творчеству | Совершенствование программ общего образования Материально-техническое и кадровое обеспечение |
| Выращивание талантов | Создание системы выявления и сопровождения развития талантов | Развитие инфраструктуры дополнительного образования. Создание регионального «банка талантов» в научно-технической сфере |
| Минимизация оттока талантов | Формирование условий для самореализации и закрепления талантов в регионе | Создание эффективной системы профессиональной ориентации Формирование сетей взаимодействия учреждений образования и хозяйствующих субъектов |

Таким образом, в основе подготовки научно-технических и инновационных кадров лежит комплексный подход, включающий последовательность интегрированных этапов и подсистем образования и профессионального развития детей и молодежи. За счет сочетания массовости, с одной стороны, и выявления и сопровождения талантов – с другой обеспечивается максимально полное раскрытие потенциала детей и молодежи, проявляющих склонности и способности к научно-техническому творчеству. Вовлечение в эту систему хозяйствующих субъектов обеспечивает самоопределение молодежи и закрепление их на территориях.

Статья подготовлена при поддержке гранта Президента РФ (МК-3098.2019.6).

Список литературы

1. Астапенко М.С., Никитская Е.Ф. Пространственное развитие экономики России в условиях формирования национальной инновационной системы // Управление экономическими системами: электрон. науч. журнал. 2017. № 3 (97). URL: <http://uecs.ru/regionalnaya-ekonomika/item/4322-2017-04-03-07-40-24> (дата обращения: 04.12.2019).
2. Балашова Е.С., Громова Е.А. Технологическое предпринимательство как конкурентоспособная модель инновационного развития. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/tehnologicheskoe-predprinimatelstvo-kak-konkurentosposobnaya-model-innovatsionnogo-razvitiya> (дата обращения: 04.12.2019).
3. Баутин В.М. Инновационная экономика: содержание, место и роль инноваций // Изв. ТСХА. 2014. Вып. 2. С. 103–118.
4. Бедный Б.И. Воспроизводство кадров для науки и высшей школы // Высшее образование в России. 2008. № 4. С. 46–49.
5. Гулин К.А., Мазилов Е.А., Ермолов А.П. Импортозамещение как инструмент активизации социально-экономического развития территорий // Проблемы развития территории. 2015. № 3. С. 7.
6. Гулин К.А., Усков В.С. Тренды четвертой промышленной революции // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2017. № 5. С. 216–221.
7. Гулин К.А. Концепция долгосрочного социально-экономического развития («Россия-2020»): вызовы для регионов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2008. № 4.
8. Задумкин К.А., Кондаков И.А. Научно-технический потенциал региона: оценка состояния и перспективы развития: монография. Вологда: ИСЭРТ РАН, 2010. 205 с.
9. Ленчук Е.Б. Формирование кадрового потенциала для инновационной экономики России: мат-лы IV Междунар. науч.-практ. конф. «Дети и молодежь – будущее России»: в 2-х ч. / Вологда, 5–7 октября 2016 г. Вологда: ИСЭРТ РАН, 2017. Ч. 1. 416 с.
10. Майер Г.В., Маковеева В.В. О роли вузов в подготовке конкурентоспособных кадров для новой экономики // Проблемы управления в социальных системах. 2009. С. 17–28.
11. Леонидова Г.В., Устинова К.А., Попов А.В. и др. Проблемы эффективности государственного управления. Человеческий капитал территорий: проблемы формирования и использования: монография / под общ. ред. А.А. Шабуновой. Вологда: Ин-т соц.-эконом. развития территорий РАН, 2013. 184 с.
12. Рябков О.А. Высокотехнологичное производство – основа инновационной экономики // Управление экономическими системами: электрон. науч. журнал. 2017. № 3 (97). URL: <http://uecs.ru/innovacii-investicii/item/4304-2017-03-06-07-41-42> (дата обращения: 04.12.2019).
13. Ускова Т.В., Ворошилов Н.В., Гутникова Е.А., Кожевников С.А. Социально-экономические проблемы локальных территорий: монография. Вологда: ИСЭРТ РАН, 2013. 196 с.

References

1. Astapenko M.S., Nikitskaya E.F. Spatial development of the Russian economy in the conditions of formation of the national innovation system. Management of economic systems: electron. science. journal. 2017. No. 3 (97). Available at: <http://uecs.ru/regionalnaya-ekonomika/item/4322-2017-04-03-07-40-24> (accessed 04.12.2019).

2. Balashova E.S., Gromova E.A. Technological entrepreneurship as a competitive model of innovative development. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/tehnologicheskoe-predprinimatelstvo-kak-konkurentosposobnaya-model-innovatsionnogo-razvitiya> (accessed 04.12.2019).
3. Bautin V.M. Innovative economy: content, place and role of innovations. *Izv. TLC.* 2014. Vol. 2. P. 103–118.
4. Bedniy B.I. Reproduction of personnel for science and higher education. *Higher education in Russia.* 2008. No. 4. P. 46–49.
5. Gulin K.A., Mazilov E.A., Ermolov A.P. import Substitution as an instrument of activation of social and economic development of territories. *Problems of territory development.* 2015. No. 3. P. 7.
6. Gulin K.A., Uskov V.S. Trends of the fourth industrial revolution. *Economic and social changes: facts, trends, forecast.* 2017. No. 5. P. 216–221.
7. Gulin K.A. the Concept of long-term socio-economic development («Russia-2020»): challenges for the regions. *Economic and social changes: facts, trends, forecast.* 2008. No. 4.
8. Zadumkin K.A., Kondakov I.A. Scientific and technological potential of the region: assessment of the state and prospects of development: monograph. Vologda. VolSC RAS, 2010. P. 205.
9. Lenchuk E.B. Formation of personnel potential for innovative economy of Russia: materials IV international. science.- pract. Conf. «Children and youth – the future of Russia»: in 2 hours. Vologda, 5–7 October 2016 Vologda: VolSC RAS, 2017. Part 1. P. 416.
10. Mayer G.V., Makoveeva V.V. on the role of universities in training competitive personnel for the new economy. *Problems of management in social systems.* 2009. P. 17–28.
11. Leonidova G.V., Ustinova K.A., Popov A.V. and others. Problems of efficiency of public administration. The human capital of territories: problems of formation and use: monograph. General editor A.A. Shabunova. Vologda: In-t of socio-economic development of territories (VolSC RAS), 2013. P. 184.
12. Ryabkov O.A. Hi-Tech production—the basis of innovative economy. Management of economic systems: Electronic Science Journal. 2017. No. 3 (97). Available at: <http://uecs.ru/innovacii-investicii/item/4304-2017-03-06-07-41-42> (accessed 04.12.2019).
13. Uskova T.V., Voroshilov N.V., Gutnikova E.A., Kozhevnikov S.A. Social and economic problems of local territories: monograph. Vologda. VolSC RAS, 2013. P. 196.

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-44-63

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И ИСТОРИЧЕСКИХ КАРТ В ИСТОРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ. ЛИТЕРАТУРА, МЕТОДЫ, КЕЙСЫ

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

С.К. Лямин, доц. Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, канд. ист. наук, доц., *laomin@mail.ru*

К.С. Кунавин, ст. преп. Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, канд. ист. наук, доц., *kunavinks@gmail.com*

Рецензент: В.В. Канищев

Задача исследования – рассмотреть методологические наработки экологической истории (включая некоторые методики смежных дисциплин), которые могут быть заимствованы и адаптированы для исторических изысканий. Представлен обзор литературы, в которой исторические карты и материалы аэрофотосъемки использованы для историко-экологических реконструкций. Изучены ключевые подходы и инструментарий подобного рода исследований и изложены в качестве примеров некоторые конкретно-предметные работы. Анализ и сопоставление исторических карт, материалов аэрофотосъемки, полевых исследований и некартографических исторических источников – мощные инструменты реконструкции исторической динамики ландшафтов. Такой анализ является значимым поставщиком сведений, необходимых для понимания эволюции среды обитания и для выявления движущих, в том числе антропогенных, сил ее развития. В исторических изысканиях исследовательская оптика перефокусируется с изменений ландшафта на изучение человеческой жизнедеятельности во взаимодействии с изменяющейся средой обитания. Авторы делают вывод, что подобного рода подход обещает быть эвристически продуктивным.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, ортофотоплан, историческая карта, ландшафт, история.

EXPERIENCE IN USING AERIAL PHOTOGRAPHY AND HISTORICAL MAPS IN HISTORICAL RESEARCH. LITERATURE, METHODS, CASES

D.S. Zhukov, Associate Professor, G.R. Derzhavin Tambov State University, Doctor of Historical Sciences, *ineternatum@mail.ru*

S.K. Lyamin, Associate Professor, G.R. Derzhavin Tambov State University, Doctor of Historical Sciences, *laomin@mail.ru*

K.S. Kunavin, Senior Lecturer, G.R. Derzhavin Tambov State University, Doctor of Historical Sciences, Associate Professor, *kunavinks@gmail.com*

The objective of the study is to look into the best practices of environmental history in terms of methodology (including some interdisciplinary methods) – ones that can be adopted and adjusted for historical research. A review of literature is presented in which historic maps and the data of aerial photography are used for historical and environmental reconstructions. Key approaches and methods of such research are examined; and some case studies carried out with the implication of these methods are outlined as examples. An analysis and comparison of historic maps, modern data of aerial

photography, field surveys and non-cartographic historical evidence is a powerful tool for reconstructing the historical dynamics of the landscapes. Such an analysis is a major provider of the information necessary to understand the evolution of the environment and to reveal the driving force – including anthropogenic ones – of its development. In historical studies, the research lens is refocused from the landscape to the study of human activity interacting with the changing environment. The authors conclude that this sort of an approach is supposed to be heuristically effective.

Keywords: aerial photography, orthophotomap, historical map, landscape, history.

Одна из ключевых проблем истории — разъяснение механизмов, закономерностей и результатов воздействия человека на окружающую среду, в частности на ландшафт, и наоборот — воздействия среды на социальные процессы.

Новейшими инструментами для решения подобного рода проблем являются изучение и сопоставление исторических карт, иных исторических сведений о ландшафте и данных аэрофотосъемки.

Долгое время этот инструмент не привлекал внимания историков. Исторические карты, безусловно, использовались в качестве информативного источника, однако основные сведения, которые извлекались из них, касались не собственно ландшафта, а политических, владельческих границ и иного рода сугубо антропогенных объектов или хозяйственно-экономических ресурсов. Аэрофотосъемка активно привлекается для археологических изысканий (напр., [1]), но не для исследований нового и новейшего времени.

Тем не менее существует довольно обширная литература, посвященная методам анализа исторических карт и данных аэрофотосъемки. Создана эта литература не в рамках истории человеческого общества, а в рамках истории экологии, т.е. не историками, а экологами, географами, биологами и представителями смежных естественных наук.

Поэтому историки на этом новом для них методологическом поле оказываются вовсе не первоходцами и могут заимствовать наработки коллег. Необходимо отметить, что коллегии, изучая фото- и картографические материалы, не выполняли работу историков, а преследовали свои собственные цели. Иначе говоря, их усилия — и в содержательном, и в методическом плане — были сфокусированы на изменениях ландшафта, а не на жизни людей.

Однако с определенного момента ключевым фактором изменения ландшафта стал именно антропогенный фактор. Соответственно, вне зависимости от задач конкретных исследований этот фактор фиксировался и интерпретировался. И именно этот фактор находится в центре внимания историков. Поэтому методологические наработки экологической истории и смежных дисциплин вполне могут быть заимствованы для исторических изысканий. Для этого необходимо как минимум перефокусировать исследовательскую оптику истории экологии — со среды, в которой, среди прочего, живет и действует человек, на человека, который живет и действует в некоторой среде.

Задачей данной работы является обзор литературы, в которой исторические карты и материалы аэрофотосъемки использованы для историко-экологических реконструкций. Мы также рассмотрим ключевые методологические подходы и инструментарий подобного рода исследований и изложим в качестве примеров некоторые конкретно-предметные исследования, выполненные в рамках этой методологии.

Сопоставление исторических карт: подходы и литература

Сопоставление исторических карт — метод, являющийся, в сущности, довольно простым, — связан в большинстве случаев со значительными техническими сложностями. Во-первых, наложение старых карт и их привязка к координатам в геоинформационной системе (ГИС) — задача нетривиальная. Во-вторых, сравнение карт предусматривает, что одни и те же объекты на разных картах должны быть идентифицированы как тождественные. Поэтому необходимо разработать единую для всех карт классификацию объектов. Для этого требуется, как правило, скрупулезное историческое исследование, охватывающее несколько периодов.

Составление такой полной классификации может потребовать привлечения дополнительных исторических источников. Однако во многих случаях интерес для исследователя представляют не все, а лишь отдельные объекты на разных картах. Поэтому задача сводится к тому, чтобы обнаружить и вычленить целевые объекты. Пример такого подхода можно найти в [23]. Авторы проанализировали эволюцию основных дюн бывшего Гуанартемского дюнного поля (Канарские о-ва, Испания) в течение XVIII в. (рис. 1). В более позднее исследование по тому же дюнному полю [24] было вовлечено 11 исторических карт за период с 1834 по 2012 г.

Средствами ГИС, таким образом, можно не только визуализировать историческую динамику интересующих объектов, но и получить ее точное – численное – описание. Более детально эти вопросы рассмотрены в обзоре [25].

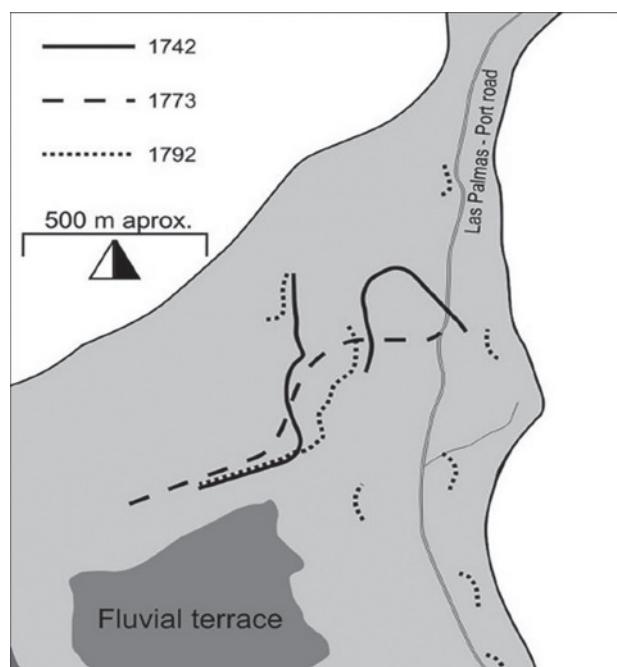


Рис. 1. Основные дюны Гуанартемского дюнного поля
в течение XVIII в. [23]

Аналогичные приемы можно обнаружить и во множестве других исследований, посвященных различным предметам, например историческим картам Саксонии [12], моделям расселения в Южной Палестине [15], изменениям ландшафта за последние 60 лет в итальянских Альпах [30].

В [17] рассматривается конфликт между эксплуатацией полезных ископаемых и охраной природы в пойме р. Морава близ г. Товачов (Центральная Моравия, Чехия). Итальянские исследователи в [21] изучили динамику ландшафтов Соррентийского п-ова на основе исторических карт за период более 200 лет (сравнение было сделано по четырем картам – 1817, 1875, 1960 и 2006 гг.). В работах ряда чешских исследователей выявляются категории земель (прежде всего леса) и прослеживается изменение площади этих категорий [26, 27].

Поскольку хронологические рамки многих подобных исследований доходят до 2000-х или 2010-х гг., то исследователям представляется логичным взять в качестве последнего сравниваемого элемента современный ортофотоплан. При этом возникает несколько вопросов,

в частности: что именно зафиксировала аэрофотосъемка; как сопоставить объекты на ортофотоплане с объектами на исторических картах. Эти вопросы мы отчасти рассмотрим далее.

Подходы к ручной интерпретации материалов аэрофотосъемки

Из двух типов аэрофотосъемки – вертикальной и косой – нас интересует главным образом вертикальная. Как отмечают Дж. Морган и коллеги [20], в аэрофотосъемке соучаствуют две тесно связанные дисциплины с четкими конечными целями – фотограмметрия и интерпретация аэрофотоснимков: «Фотограмметрия связана с получением исключительно точных количественных измерений с помощью аэрофотоснимков, в то время как фотографическая интерпретация (или интерпретирующая фотограмметрия) больше фокусируется на распознавании, идентификации и установлении значимости признаков на фотографиях» [20]. Фотограмметрия как техническая дисциплина останется вне рамок нашего обзора. Обычно историки и экологи имеют возможность работать с готовыми результатами аэрофотосъемки – в лучшем случае с ортофотопланами. Поэтому мы сосредоточимся на методах интерпретации. Помимо ручной интерпретации, развиваются методы автоматической – компьютеризированной – идентификации образов на аэро- и спутниковых снимках. Тем не менее ручная интерпретация сохраняет значимость и показывает весьма качественные результаты. Определенным недостатком ручной интерпретации является необходимость привлечения высокопрофессиональных специалистов. Кроме того, этот метод в значительной степени зависит от личного опыта и знаний интерпретатора, а также от его представлений о том, чего следует ожидать на данном участке [20]. Однако субъективность ручной интерпретации компенсируется высокой способностью человека различать разного рода сложные нетривиальные образы. Сравнение разных подходов к интерпретации представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные преимущества и недостатки ручной интерпретации аэрофотоснимков, пиксельного анализа и объектной классификации [20]

| Тип | Преимущества | Недостатки |
|-----------------------------------|---|--|
| Ручная интерпретация | <ul style="list-style-type: none"> – Может быть довольно точной; – требует лишь небольшой подготовки изображения; – комплексный подход, использующий человеческие знания для принятия рациональных решений; – хорошо развитая дисциплина | <ul style="list-style-type: none"> – Зависимость от субъективного мнения и опыта интерпретатора; – кропотливая и дорогостоящая работа; – возможна несовместимость подходов разных интерпретаторов; – нехватка хорошо обученных и опытных интерпретаторов; – стандарты точности сильно различаются |
| Пиксель-ориентированные методики | <ul style="list-style-type: none"> – Системный подход; – совместимость разных методик; – воспроизводимость результатов; – имеется множество эффективных и доступных программ; – способы оценки точности хорошо разработаны | <ul style="list-style-type: none"> – Произвольная единица анализа (пиксель); – имеется тенденция к использованию только спектральной информации; – менее подходят для анализа изображений с высоким пространственным разрешением; – могут давать «крапчатые» результаты |
| Объектно-ориентированные методики | <ul style="list-style-type: none"> – Системный подход; – совместимость разных методик; – воспроизводимость результатов; – возможность рассматривать несколько масштабов; – хорошо имитируют человеческое восприятие объектов; – используют атрибуты, важные для ландшафтного анализа (тон, форма, размер, текстура, контекст) | <ul style="list-style-type: none"> – Идентификация объекта сложна и может привести к неожиданным результатам; – меньшая доступность программного обеспечения; – лучше подходят для изображений с высоким пространственным разрешением; – объектно-ориентированные процедуры оценки точности менее развиты |

Ручная интерпретация сводится к двум операциям: 1) определение границ полигонов (областей с аналогичными свойствами) на ортофотоплане; 2) классификация полученных полигонов (иначе говоря, выявление того, что, собственно, представляет собой на местности тот или иной полигон). Подобного рода операции выполняются с помощью программного обеспечения для ГИС, где на отдельном слое (или слоях) вычерчиваются полигоны, которые затем классифицируются.

Примеры результатов ручной интерпретации представлены на рис. 2 и 3.

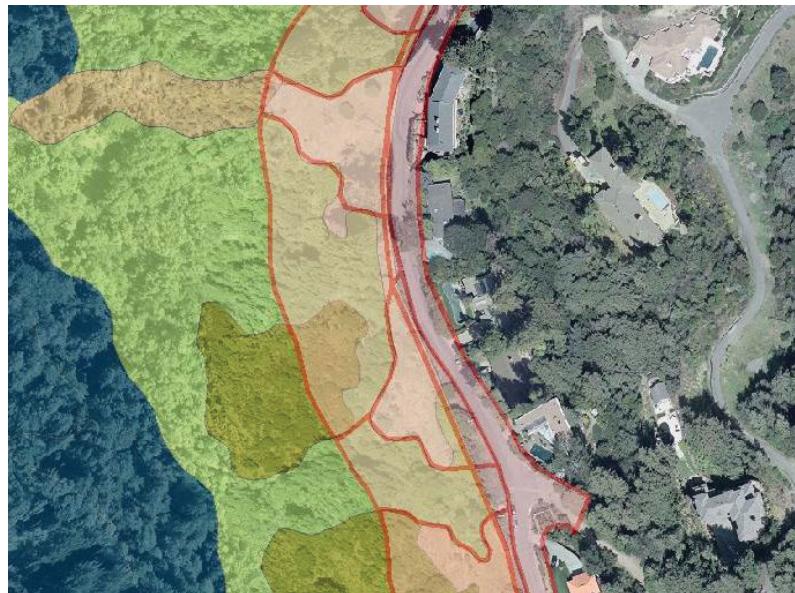


Рис. 2. Создание полигонов, маркирующих территории с разными видами растительности и землепользования [29]

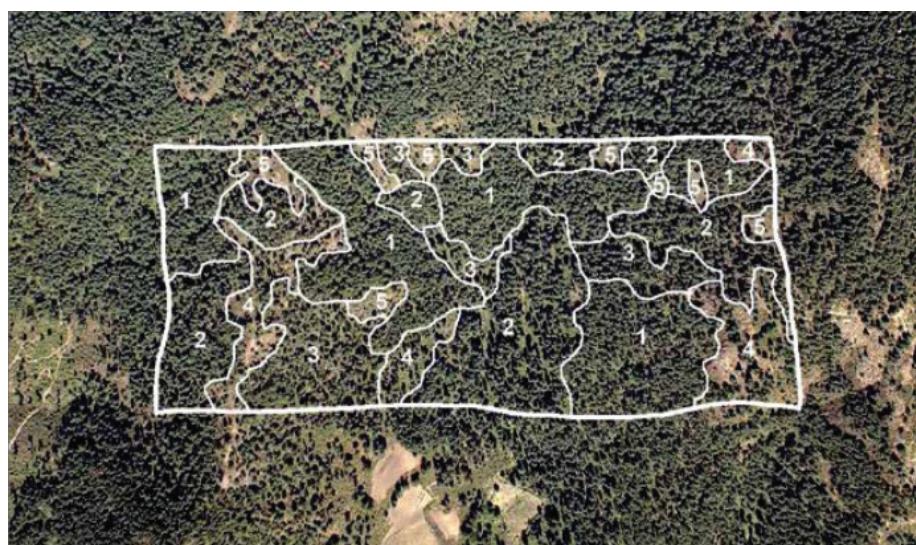


Рис. 3. Центральная часть изображения представляет собой фотоинтерпретируемую область, в которой размечены различные типы лесного покрова [16]

Для идентификации и классификации полигонов используются обычно восемь ключевых характеристик: тон или цвет, размер, форма, паттерн (узор, структура), текстура, тень, местоположение и контекст. Рис. 4, который приводят Дж. Морган и коллеги [20], иллюстрирует эти характеристики:

- (а, тон) более темные породы вблизи воды — хвойные; более светлые — лиственные;
- (б, цвет) желтые деревья — осина; зеленые деревья — ель;
- (с, размер) более крупные деревья на левой стороне фотографии — зрелые экземпляры; на правой стороне фотографии — молодая поросль;
- (д, форма) протяженный линейный объект представляет собой дорогу, а нерегулярные геометрические участки — возделываемые поля;
- (е, текстура) грубая текстура в правом верхнем углу фотографии указывает на зрелые лесонасаждения с высокой изрезанностью; гладкая текстура внизу указывает на лесонасаждения, более однородные по высоте и более молодые;
- (ф, паттерн) различные узоры указывают на различные виды сельскохозяйственного использования (зерновые, виноградники и т.д.);
- (г, тени) тени деревьев, отбрасываемые на реку, помогают идентифицировать виды;
- (х, локальные характеристики) более светлая окраска деревьев предполагает наличие лиственной растительности;
- (и, контекст) наличие реки указывает на характер долины;
- (ж, позиция) тень на левой стороне фотографии предполагает уменьшение высоты по направлению к правой стороне фотографии.

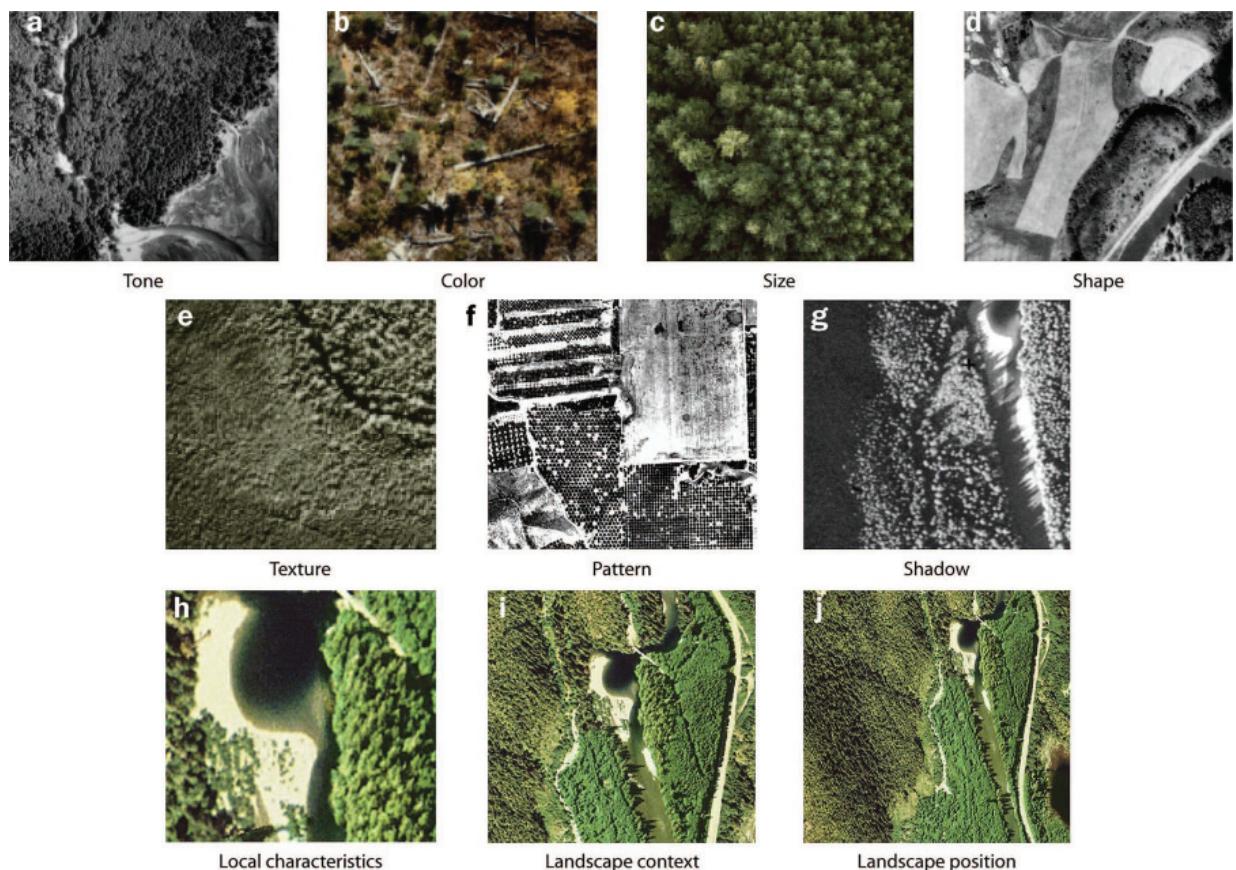


Рис. 4. Примеры интерпретаций в зависимости от характеристик объектов [20]

Дж. Морган и коллеги приводят также примерный список объектов, которые могут быть обнаружены и интерпретированы на основании какой-либо из характеристик (табл. 2). В большинстве случаев для идентификации требуется рассмотреть сочетание нескольких характеристик.

Тон и/или цвет представляют собой, конечно, наиболее простую и наиболее важную характеристику для интерпретации объектов. «Тон или цвет, — отмечают Дж. Морган и коллеги, — также могут быть использованы для того, чтобы сделать выводы, связанные с состоянием определенных объектов. Поверхностные отложения с темными тонами могут свидетельствовать о плохом дренаже и высоком содержании органических веществ, по сравнению со светлоокрашенными отложениями, которые обычно указывают на хорошо дренированные материалы, такие как песок или гравий» [20].

Абсолютные и относительные размеры также используются не только для интерпретации объектов, но и для диагностирования их состояний. Например, ширина полосы растительности вдоль русла реки может быть важна для количественной оценки состояния приусадебных насаждений.

Таблица 2

Восемь основных характеристик аэрофотоснимков, используемых при ручной интерпретации, связанные с ними экологические особенности/детали и примеры соответствующих цифровых методов, которые также могут быть полезны для анализа этих характеристик [20]

| № п/п | Характеристика | Связанные экологические особенности/объекты | Технология автоматизации | Описание |
|-------|--|---|---|--|
| 1 | Тон или цвет: относительная яркость или оттенок пикселей | Идентификация природных и антропогенных признаков (растительность, почва, город и т. д.) | Манипуляции с контрастом | Изменение значений яркости пикселей |
| 2 | Размер: количество пикселей, которые объединяются в группу пикселей со сходными характеристиками | — Возраст и структура растительности; — городские детали и землепользование | Вариограммный анализ | Вариограмма используется для оценки различия между пикселами в зависимости от рассеяния между ними |
| 3 | Форма: порядок расположения связанных групп пикселей; сложность элемента или границы участка | — Идентификация природных объектов (неправильная форма); — идентификация антропогенных объектов (геометрически правильная форма) | Пространственные манипуляции | Выделение специфических областей посредством разного рода фильтров (выделение резких изменений яркости и пр.) |
| 4 | Текстура: изменения тона на уровне пикселей (гладкость или шероховатость) | — Идентификация растительности; — оценка биоразнообразия; — выявление природных и антропогенных деталей | GLCM (полутоновая матрица смежности) | Матрица GLCM содержит статистическое описание текстуры (распределение частот различных комбинаций значений яркости пикселей) |
| 5 | Паттерны (структуры, узоры): повторение объектов (групп пикселей) на некотором участке | — Землепользование; — природные и антропогенные нарушения; — ландшафтная структура | Вейвлет-анализ | Математический метод, который позволяет анализировать различные частотные компоненты данных |

Окончание таблицы 2

| № п/п | Характеристика | Связанные экологические особенности/объекты | Технология автоматизации | Описание |
|-------|--|--|------------------------------------|--|
| 6 | Тень: комбинация темных пикселей, смежных с более яркими пикселями | — Идентификация природных и антропогенных деталей; — выявление очертаний | Цифровая коррекция эффекта рельефа | Цифровая информация о рельефе/высоте используется для стандартизации изображений, в частности для исправления вариаций яркости, вызванных топографией (топографическая нормализация) |
| 7 | Локальные характеристики: особенности на уровне отдельных деталей и участков | — Микроклимат; — идентификация местных видов; — пригодность среды обитания | Модели высоты | Информация о высоте, особенно при высоком пространственном разрешении, может быть очень полезной для классификации местных особенностей (а также растительного покрова) |
| 8 | Контекст ландшафта: условия, прилегающие к объекту или окружающие его | — Землепользование; — пригодность среды обитания | Объектно-ориентированный анализ | Количественные контекстные методы могут использоваться для классификации объектов на основе окружающих условий |

Форма позволяет идентифицировать антропогенные объекты (благодаря их прямолинейной геометрии), а также геоморфологические объекты и нарушения ландшафта (оползни и пр.).

Текстура выражается в мелкомасштабных – на уровне пикселей – вариациях тона. Текстура особенно полезна для классификации рельефа и почвенно-растительного покрова. Например, текстура лесных участков дает информацию о возрасте лесов, сомкнутости кроны и пр. Текстура также полезна для определения типов почв, растительности сельхозугодий. Текстурные характеристики будут меняться по мере изменения масштаба фотографии.

Паттерн (узор, структура) представляет собой вариацию тона в более крупном масштабе, нежели текстура. Хорошо различимы случайные и регулярные паттерны, состоящие из строго повторяющихся элементов. Поэтому паттерны удобны для идентификации разных типов землепользования.

Тени могут как подсказать форму и вертикальные параметры объектов, так и скрыть мелкие объекты. Местоположение и контекст дают представление об окружении целевых объектов и участков, позволяют понять систему взаимосвязей, в которую включен изучаемый ландшафт [20].

Проблема классификации

Интерпретация неразрывно связана с необходимостью принять некоторую классификацию (номенклатуру) объектов, чтобы иметь возможность отнести к одному классу объекты, в той или иной мере схожие. Детальность классификации задает меру сходства объектов в одном классе. Недетализированные классификации содержат весьма общие классы и требуют, чтобы в одном классе объединялись довольно разные объекты. Сверхдетализированные классификации, напротив, имеют множество классов, среди которых найдется класс для любой группы идентичных объектов. Однако такие классификации, как правило, страдают информационной избыточностью и в некоторых случаях затрудняют типизацию объектов, разводя их по множеству мелких групп.

Наиболее известной классификацией является Corine Land Cover, которая разработана для целей европейской Программы координации информации об окружающей среде (Coordination of Information on the Environment). В рамках этого проекта создается электронный (векторный) кадастр земного покрова Европы. Основной метод – ручная интерпретация спутниковых изображений. Для обеспечения сопоставимости интерпретаций принята номенклатура различных типов поверхности, которая сосредоточена на биофизических особенностях земной поверхности (а не на социально-экономических функциях тех или иных территорий). Эта номенклатура состоит из трех уровней и имеет весьма общий характер. Например, класс 3 «Лесные угодья и полуестественные среды» состоит из подклассов: 31 «Леса», 32 «Среда с кустарниковой и/или травянистой растительностью», 33 «Открытые пространства, без или с небольшим количеством растительности». А подкласс 31 «Леса» состоит из: 311 «Лиственные», 312 «Хвойные», 313 «Смешанные» [8]. Пример использования этой классификации для описания ландшафтов можно найти в статье [3].

Corine Land Cover соответствует размаху проекта, для которого она была создана, но для целей исторических исследований эта классификация является, безусловно, слишком общей. Поэтому при многих эколого-исторических изысканиях исследователям приходится создавать собственные классификации, описывающие объекты, их признаки, важные для данной местности и для целей данного исследования. Это позволяет установить единые стандарты для распознавания исторических карт, современных карт и материалов аэрофотоснимки, включенных в конкретный проект. Безусловно, такая задача во многих случаях является нетривиальной, требует знаний из разных областей науки и сопряжена с существенными ограничениями.

В статье П. Мацковчина «Land use categorization based on topographic maps» представлен выдающийся пример работы, в которой была поставлена и решена задача классификации землепользования по старым и современным картам всей территории Чехии. Такие карты изначально содержали разные номенклатуры, которые нужно было свести к одной. Автор отмечает: «Полезно изучить землепользование в историческом прошлом для лучшего понимания современного состояния ландшафта и прогнозирования его дальнейшего развития» [18]. В исследовании были использованы карты за период 1763–2006 гг. Рассмотрены 5 хронологических срезов (1836–1852, 1876–1880, 1952–1956, 1988–1994 и 2002–2006 гг.). Легенды изученных карт включают более 1240 элементов. Эти элементы необходимо было разделить на 10 групп. Полученные типы позволили автору провести количественную оценку динамики землепользования в широких хронологических рамках.

Автоматизированный анализ материалов аэро- и спутниковой съемки

Значительное увеличение доступности спутниковых снимков стимулировало развитие различных автоматизированных средств их распознавания и анализа. Хотя спутниковые снимки имеют, как правило, меньшее разрешение, некоторые из этих средств могут быть заимствованы и адаптированы для изучения результатов аэрофотосъемки, особенно если речь идет о значительных объемах информации.

Объектно-ориентированные методы основаны на объединении соседних пикселей со схожими свойствами в отдельные объекты [13], которые затем можно классифицировать на основании различных характеристик и подвергать анализу.

Примером автоматизированной интерпретации спутниковых снимков является работа китайских исследователей [31]. Исследование выполнено на материалах одного из национальных заповедников Китая: авторы сравнили спутниковые снимки 2009 и 2014 гг. для фиксации и анализа распределения антропогенной деятельности, такой как сельское хозяйство, промышленность, проживание, транспорт и другие виды. В работе использованы различные индексы (аналитические инструменты) для изучения конфигурации, распространенности, плотности, взаимного расположения и прочих параметров ландшафтов, чтобы оценить антропогенный фактор, масштаб и закономерности его проникновения/воздействия на исследуемую территорию. Аналогичное по задачам и методам исследование представлено в [28].

Оценка точности

Ошибки при интерпретации материалов аэрофотосъемки обычно подразделяются на два рода: позиционные (когда некорректно заданы полигоны) и классификационные (когда неверно распознано, что обозначает в реальности тот или иной полигон). Таким образом, одни ошибки порождают неверные границы, другие – неверное содержание внутри границ. Весьма любопытно описывают ошибки первого рода Дж. Морган и коллеги: «Позиционная точность при ручной интерпретации имеет принципиальное значение, но положение полигонов может быть очень изменчивым и часто зависит от стиля интерпретатора. «Соединители» (lumpers) – это интерпретаторы, которые имеют тенденцию очерчивать более крупные полигоны, тем самым слепляя области несколько схожего характера. В отличие от них «разделители» (splitters) очерчивают более мелкие полигоны, распознавая области с тонкими различиями» [20].

Хотя существует множество приемов для оценки точности интерпретации [9], наиболее распространенной формой представления точности является матрица ошибок (напр., табл. 3).

Таблица 3
Матрица ошибок, пример [2]

| | | Расчетные классы | | | | | |
|-----------------|----------|------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Реальные классы | | Вода | Грунт | Лес-1 | Лес-2 | Город | Σ |
| | Вода | 367 | 2 | 4 | 3 | 6 | 382 |
| | Грунт | 2 | 418 | 8 | 9 | 17 | 454 |
| | Лес-1 | 3 | 14 | 329 | 24 | 25 | 395 |
| | Лес-2 | 12 | 5 | 26 | 294 | 23 | 360 |
| | Город | 16 | 26 | 29 | 43 | 422 | 536 |
| | Σ | 400 | 465 | 396 | 373 | 493 | 2127 |

В матрице сопоставляются расчетные (полученные в результате интерпретации) данные с некоторым объемом проверочных (реальных, достоверных) данных. В ячейках записывается, какое количество точек, относящихся к тому или иному реальному классу, интерпретировано и отнесено к тому или иному расчетному классу. Соответственно, в ячейках по диагонали (серая заливка) обозначено число «правильных ответов». Матрица является исходным материалом для применения разного рода аналитических инструментов в целях выявления объема и характера ошибок.

Повторная фотосъемка

В [25] повторная фотосъемка определена следующим образом: «По существу, сравнение производится между двумя фотографиями одного и того же места, которые были сделаны в разное время, но с одной и той же точки». Этот метод технически весьма прост и недорог по сравнению с вертикальной фотосъемкой, но может фиксировать изменения лишь на локальных участках. Тем не менее в некоторых случаях он способен дать весьма полезные результаты. Как правило, этот метод позволяет судить о мелкомасштабных изменениях ландшафта, а также помогает идентифицировать объекты при изучении исторических карт и материалов аэрофотосъемки [7, 22]. Пример кросс-временного сравнения представлен на рис. 5.

В ряде исследований этот метод позволил сделать довольно длительные сопоставления. Например, работы [14, 22] посвящены изменениям растительного покрова на некоторых территориях Южной Африки с 1876 г. (самая ранняя хронологическая точка) до настоящего времени. В [10] использован набор повторных фотографий каталонского побережья

(Испания), а в [19] – набор повторных фотографий ландшафтов Йеллоустонского национального парка (США).



Рис. 5. Пример повторной фотосъемки [22]

Факторы ландшафтных изменений

Обширная теоретико-методологическая литература сложилась вокруг вопроса о движущих силах ландшафтных изменений. Среди этих факторов, безусловно, значительным весом обладает жизнедеятельность людей, т. е. собственно история. Однако в этом обзоре мы не будем детально рассматривать проблему факторов, поскольку вследствие своей сложности и множественности толкований она требует отдельного детального изложения. Отметим лишь некоторые работы, которые комплексно освещают данную тематику.

В [6] авторы – Матиас Бьорги и коллеги – описали некоторые подходы к выявлению антропогенного воздействия. Один из наиболее надежных методов сводится к сопоставлению двух временных рядов с одной и той же единицей измерения времени и в одном и том же хронологическом интервале. Один из этих рядов представляет собой динамику некоторых экологических (в частности, ландшафтных) характеристик, а другой ряд – динамику человеческой жизнедеятельности. Сравнение этих рядов позволяет обнаружить периоды наиболее сильного взаимодействия человека и среды (рис. 6). Обычно между антропогенным действием и его проявлением в окружающей среде имеется временной лаг [25].

Методологические наработки, полученные при участии М. Бьорги, представлены также в фундаментальной статье «Driving forces of landscape change – current and new directions» [5], а также в конкретно-предметном исследовании, посвященном долине Лимпы в Швейцарии [7].

Группа американских исследователей [4] изучила историю ландшафта в нижнем течении р. Сент-Круа в широком хронологическом диапазоне (с 1830 г. по настоящее время). Исследование интересно тем, что авторы – О. Андерсен и коллеги – сопоставили динамику ландшафтных изменений с социальной историей региона и получили содержательные результаты. «Антропогенный фактор, – отмечают исследователи, – возрастал неэволюционно. Были выявлены два периода быстрых изменений. Изменения были быстрыми с 1850 по 1880 год, когда первые лесорубы, а затем фермеры превратили малонаселенный ландшафт дубовой саванны, прерий, смешанных лиственных и хвойных лесов и заболоченных земель, поддерживаемых частыми пожарами, в преимущественно обезлесенный сельскохозяйственный ландшафт. Второй период быстрых изменений начался с 1940 года и продолжается по настоящее время. Этот период характеризуется экспансиею городских территорий» [4].

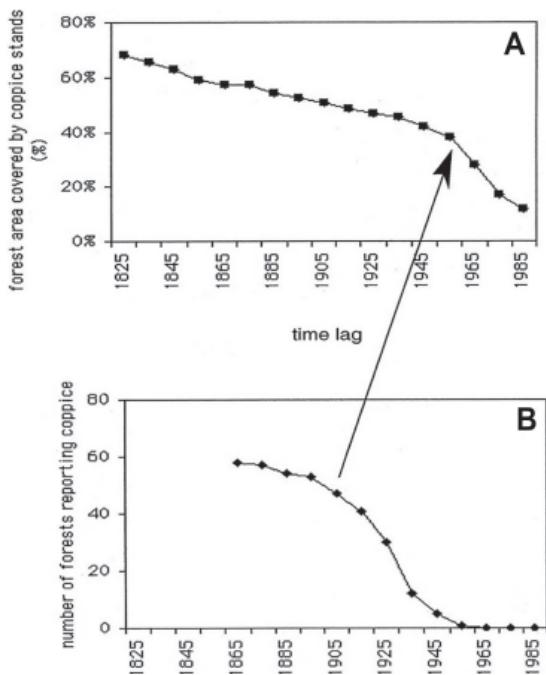


Рис. 6. Выявление антропогенного воздействия:

А – изменения окружающей среды; В – изменение человеческой активности

Кейс 1. Историко-ландшафтная реконструкция Кремниевой долины

Рассмотрим, каким образом применяются и какие результаты дают некоторые из представленных выше подходов и методик в конкретно-предметных исследованиях.

Одним из подобного рода образцов является работа Робина Гроссингера и коллег «Historical landscape ecology of an urbanized California valley: wetlands and woodlands in the Santa Clara Valley» [11].

Авторы исходили из представления, что «историческая реконструкция ландшафта может быть ценным инструментом для сохранения и восстановления среды обитания в регионе. Понимание природных условий, существовавших до масштабных современных потрясений, помогает ученым и руководителям устанавливать ориентиры и цели восстановления, разрабатывать стратегии сохранения ландшафта и оценивать успех этих усилий» [11]. Помимо собственно историко-экологических задач в работе поставлены методологические и источниковые проблемы: «Какие данные доступны для формирования исторического взгляда на локальные и региональные экологические модели? Как можно извлечь достаточно строгие и транспарентные выводы из нестандартных качественных исторических данных?» [11].

Авторам удалось привлечь большое количество исторических документов (карт, фотографий, зарисовок, текстовых описаний), фиксирующих в разные годы размеры и состояние болотистых и лесных массивов вдоль р. Койот-Крик. Это часть долины р. Санта-Клара (Кремниевой долины) в штате Калифорния. Все картографические и иного рода источники были сведены в одну ГИС.

Были реконструированы исторические ландшафты, включая лесные экосистемы, береговые линии, устья рек и речную долину. Большинство реконструкций, относящихся к XX в., были основаны главным образом на относительно стандартизованных материалах, созданных Общественной земельной службой (PLS) Главного земель-

ного управления США. Что касается более ранних периодов, то, конечно, для Калифорнии не существует столь же информативного, стандартизированного и надежного источника. Поэтому возникла необходимость обращения к разного рода историческим материалам. Для повышения точности было проведено сравнение источников.

Был также создан непрерывный исторический аэрофотоснимок для исследуемой области на основе самых ранних доступных изображений (75 изображений, около 1939 г.).

Примеры использованных источников представлены на рис. 7:

- (a) – карта PLS;
- (b) – аэрофотосъемка (USDA, 1939 г.) показывает четкую границу между высококачественной пахотной землей и слабодренированным щелочным лугом (вверху справа), неправильное темное пятно в правом верхнем углу обозначает, вероятно, пресноводное болото;
- (c) – болото и граница землепользования, видимые на аэрофотоснимке, подтверждаются более поздним почвоведческим исследованием;
- (d) – мексиканский чертеж 1847 г. показывает комплекс водо-болотных угодий;
- (e) – пейзажная фотография 1916 г.;
- (f) – ивовые рощи, обозначены на карте PLS Томпсона 1857 г.;
- (g) – дубовая роща, указанная в мексиканских документах о землевладении;
- (h) – остатки дубовой рощи видны как разбросанные крупные деревья в садах на аэрофотоснимке (USDA, 1939 г.);
- (i) – фотография гравийной поверхности и прибрежного кустарника, 1938.

Исторические карты с информацией о земном покрове были привязаны к ортофотоплану 2002 г. В ГИС к каждому объекту были привязаны все сведения об источниках, которые позволили данный объект выявить. В ГИС была также включена и привязана описательная информация из некартографических источников.

Для фиксации расхождений в источниковых данных и для маркировки уровня достоверности каждого источника был разработан набор атрибутов для формализованного описания как исторических источников, так и предполагаемых уровней достоверности. Эти атрибуты также были внесены в единую ГИС. Применение таких атрибутов дает возможность пользователям ГИС оценивать точность различных элементов карты и узнать об их исходных источниках. ГИС, таким образом, выступает в качестве каталога источников информации.

С помощью ГИС была рассчитана общая площадь каждого типа земного покрова. Затем были рассмотрены изменения ландшафта – пример на рис. 8.

Была проведена реконструкция типов земного покрова по историческим источникам до «значительной евроамериканской модификации», т.е. до освоения территории североамериканскими колонистами и урбанизации (рис. 9).

Сравнив реконструкцию с современным состоянием, авторы сделали ряд оценок по поводу состояния ландшафтов и экосистем, а также выработали рекомендации по их охране и восстановлению.

Кейс 2. Сопоставление карт и реклассификация

Работа А. Велли и коллег «Evaluating landscape changes using vegetation and land-use maps: an integrated approach» [30] интересна в контексте данного обзора прежде всего тем, что авторы смогли решить сложную проблему реклассификации множества элементов ландшафта в легендах нескольких разных карт. Это позволило сравнить данные карты и реконструировать динамику различных типов землепользования. Авторы исходили из того, что «изменения в землепользовании считаются наиболее значительным изменением земной поверхности: они имеют многочисленные последствия, начиная от изменения биоразнообразия и заканчивая снижением благосостояния людей» [30]. Объектом исследования являются окрестности Бормио на южной стороне Альп (Италия). Поскольку Бормио – популярный горнолыжный курорт, этот район можно считать образцом для описания «туристической эксплуатации», которая сильно повлияла на южные Альпы за последние 60 лет.

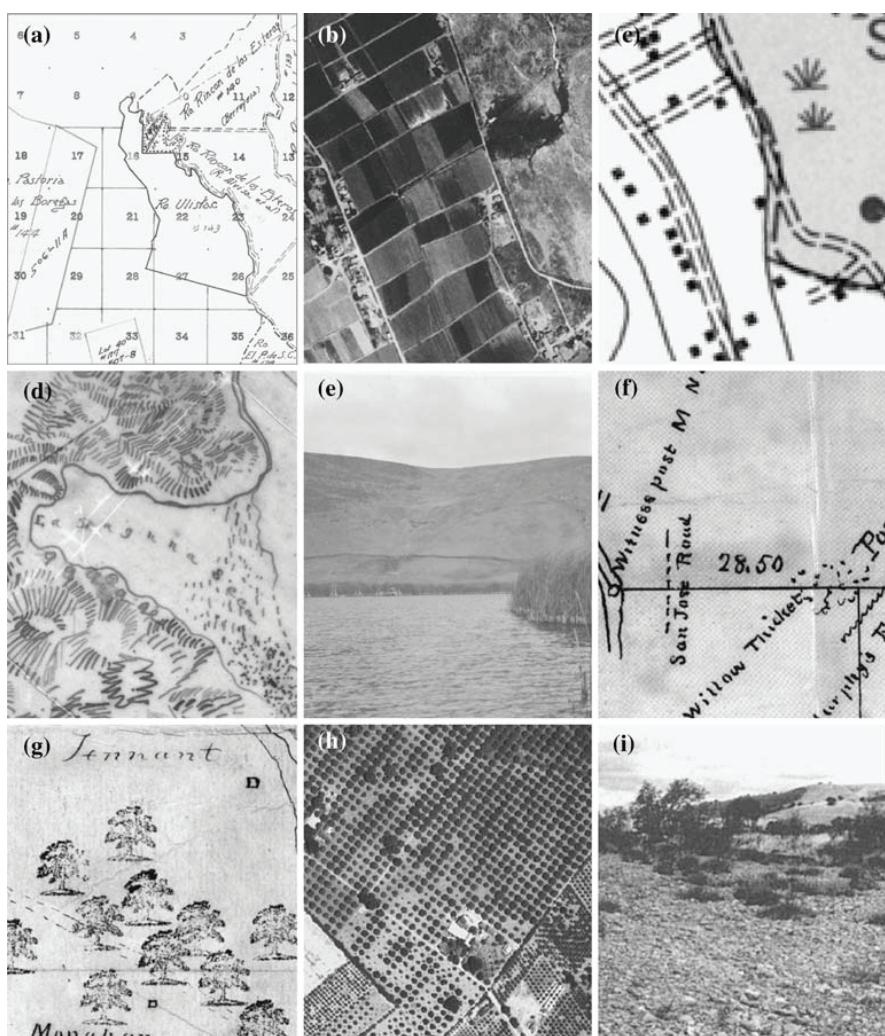


Рис. 7. Некоторые примеры исторических источников [11]



Рис. 8. Озеро Коттонвуд на снимках: А – 1939 г.; В – 2005 г. [11]

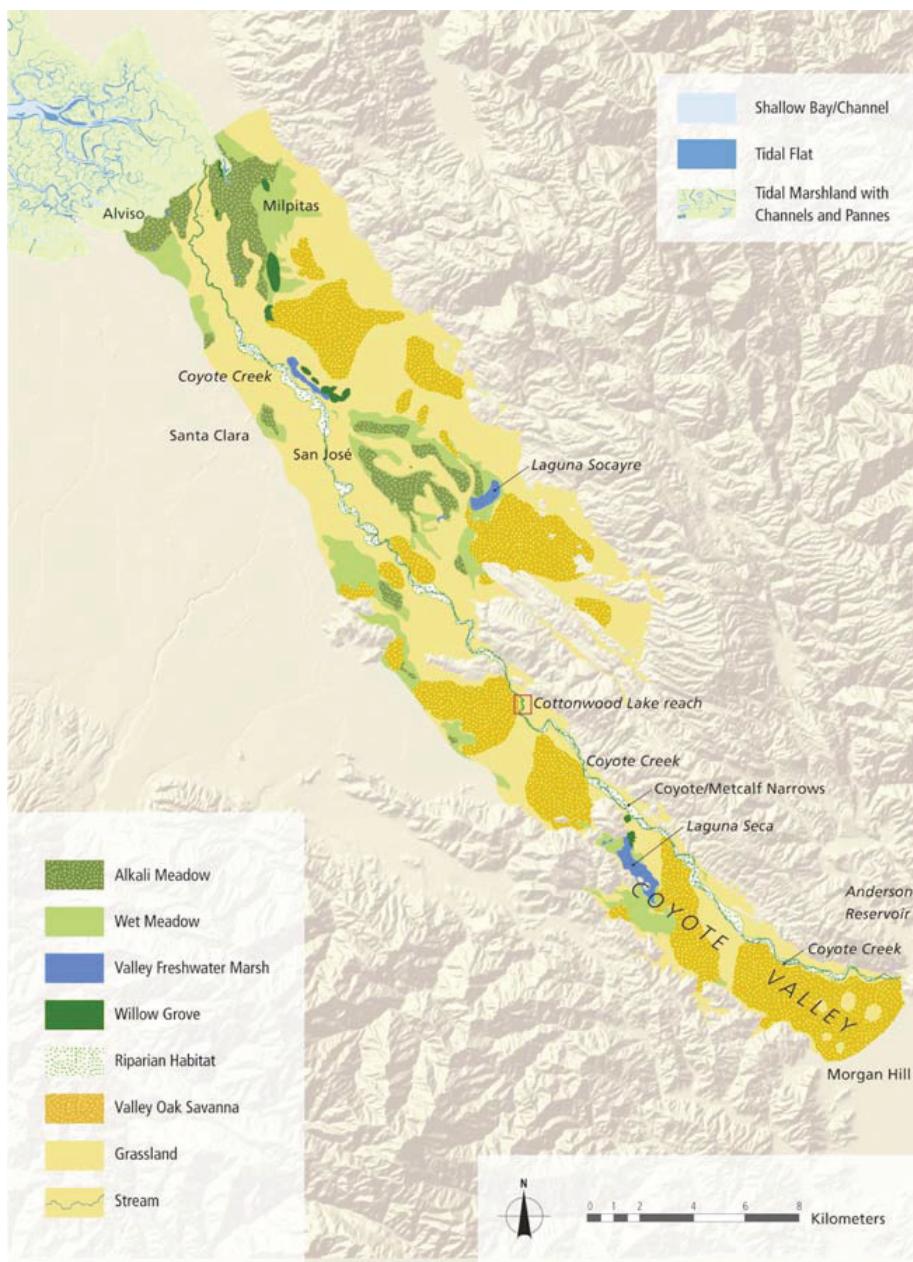


Рис. 9. Реконструированная карта земного покрова дна долины Койот-Крик до «значительной евроамериканской модификации» [11]

«Для нашего анализа, — отмечают авторы, — основной проблемой было то, что три набора данных (три карты) различались как по тематике, так и по пространственному масштабу. По этой причине необходимо было выполнить их точное согласование в среде ГИС. Картографические единицы из трех карт были повторно классифицированы как элементы ландшафта. Изменения в размерах таких элементов на трех последовательных картах (1959, 1975 и 2009 гг.) были проанализированы, чтобы описать широкомасштабные экологические последствия землепользования в горах под воздействием интенсивной туристической эксплуатации» [30].

Карты 1959 и 1975 гг. были бумажными картами растительности, где растительность описывалась с помощью подхода Брауна-Бланке (см. [32]). Эти две карты были отсканированы с разрешением 600 точек на дюйм и оцифрованы в ArcGIS 9.3 для получения векторного слоя с географической привязкой. Карта 2009 г. была получена путем вырезания цифровой карты землепользования провинции Сондрио, которая основана на ортофотоплане 2007 г. Классы карты землепользования были основаны на классификации Corine Land Cover.

«Таким образом, — продолжают авторы, — карты землепользования (2009 г.) и карты растительности (1959 и 1975 гг.) были составлены с использованием двух разных классификаций. Чтобы решить эту проблему и сделать возможным сравнение между тремя картами, мы реклассифицировали единицы карт как элементы ландшафта (LE), как показано в табл. 4. Целью такой процедуры было сокращение избыточной информации путем объединения фитосоциологических таксонов, которым соответствует близкая экологическая информация» [30].

Таблица 4

Элементы ландшафта (LE, средняя колонка), полученные в результате реклассификации картографических единиц (фитосоциологических единиц и единиц землепользования) [30]

| Фитосоциологические единицы, 1959–1975 | Элементы ландшафта (LE) | Единицы карты землепользования, 2009 г. |
|--|--|---|
| Nardetum alpinum Seslerieto – Semperviretum | Альпийские луга (Agr) | Естественные альпийские луга (321) |
| Rhodoreto – Vaccinietum cembretosum | Субальпийские кустарники с сосной Аролла (Abh) | Переходные лесные кустарники (324) |
| Rhodoreto – Vaccinietum | Безлесные субальпийские кустарники (Ash) | Болота и пустоши (322) |

Для изучения размеров, конфигурации, связанных и прочих характеристик участков различных типов был использован ряд аналитических инструментов. В качестве примера приведем один из выводов исследования: «Населенные пункты показали прирост, соответствующий 104 % их первоначальной площади. Это расширение составило почти 50 % общей площади всех изменений, подтверждая соответствующую роль населенных пунктов в динамике ландшафта. Что касается структуры [урбанизированной территории] то населенные пункты следовали двум различным схемам расширения в течение первого и второго периодов. В целом мозаичность территории населенных пунктов значительно увеличилась (с 9 до 63) к 1975 г., в то время как к 2009 году этот показатель снизился, а кучность городских территорий сильно увеличилась вместе с индексом агрегации.

За последние 50 лет, особенно с 1950 по 1981 г., в окрестностях Бормио наблюдался демографический рост — с 2700 до 4000 жителей на сегодняшний день. В первый период (1958–1975 гг.) расширение населенных пунктов следовало за водными потоками. В последующий период (до 2009 г.) населенные пункты прекратили расширение по линейным элементам ландшафта и начали разрастаться во всех направлениях. В 1958–1975 гг. динамика населенных пунктов и лесных массивов привела к значительному сокращению пастбищных угодий без явной фрагментации. В Южной Европе наблюдается явное увеличение лесных массивов, связанное с централизацией человеческой деятельности вблизи основных городских поселений» [30].

Заключение

Анализ и сопоставление исторических карт, современных материалов аэрофотосъемки, полевых исследований и некартографических исторических источников является мощным инструментом реконструкции исторической динамики ландшафтов. Представленный комплекс методов является значимым поставщиком сведений, необходимых для понимания

эволюции среды обитания и для выявления движущих, в том числе антропогенных, сил ее развития.

Подходы и методики, которые разработаны в рамках истории экологии и смежных естественнонаучных дисциплин, могут быть заимствованы и адаптированы для исследования истории человеческого общества. В исторических исследованиях исследовательская оптика перефокусируется с изменений ландшафта на изучение человеческой жизнедеятельности во взаимодействии со изменяющейся средой обитания. Ландшафт в таком случае рассматривается как фактор и контекст социальной истории, а социальная история – как фактор и контекст динамики ландшафта. Подобного рода подход обещает быть эвристически продуктивным.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант 19-18-00322 «Сравнительно-историческое изучение антропогенных ландшафтов различных регионов средствами беспилотных летательных аппаратов (Тамбовская область и Удмуртия, середина XVIII – начало XX вв.)».

Список литературы

1. Журбин И.В., Борисов А.В., Назмутдинова А.И. и др. Комплексное использование методов дистанционного зондирования, геофизики и почвоведения при изучении археологических памятников, разрушенных распашкой // Археология, этнография и антропология Евразии. 2019. Т. 47. № 2. С. 103–111.
2. Рыков Д. Матрица ошибок и расчет показателей точности тематических карт // GIS-Lab: географические информационные системы и дистанционное зондирование. 2010. URL: <http://gis-lab.info/qa/error-matrix.html> (дата обращения: 04.11.2019).
3. Скачкова А.С., Курлович Д.М., Катковский Л.В. Структура и динамика земельного фонда Воложинского района Минской области за период с 1975 по 2010 г. (по результатам автоматизированного дешифрирования классов земных покрытий в европейской номенклатуре Corine land cover) // Вестник БГУ. Сер. 2: Химия. Биология. География. 2013. № 1. С. 98–103.
4. Andersen O., Crow T.R., Lietz S.M., Stearns F. Transformation of a landscape in the upper mid-west, USA: The history of the lower St. Croix river valley, 1830 to present // Landscape and Urban Planning. 1996. Vol. 35. № 4. P. 247–267.
5. Bürgi M., Hersperger A.M., Schneeberger N. Driving forces of landscape change – current and new directions // Landscape Ecology. 2004. Vol. 19. № 8. P. 857–868.
6. Bürgi M., Russell E.W.B. Integrative methods to study landscape changes // Land Use Policy. 2001. Vol. 18. № 1. P. 9–16.
7. Bürgi M., Straub A., Gimmi U., Salzmann D. The recent landscape history of Limpach valley, Switzerland: considering three empirical hypotheses on driving forces of landscape change // Landscape Ecology. 2010. Vol. 25. № 2. P. 287–297.
8. Corine Land Cover // OpenStreetMap Wiki. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Corine_Land_Cover (дата обращения: 04.11.2019).
9. Foody G.M. Status of land cover classification accuracy assessment // Remote Sensing of Environment. 2002. Vol. 80. № 1. P. 185–201.
10. Garcia-Lozano C., Pintó J., Daunis-i-Estadella P. Changes in coastal dune systems on the Catalan shoreline (Spain, NW Mediterranean Sea). Comparing dune landscapes between 1890 and 1960 with their current status // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2018. Vol. 208. P. 235–247.
11. Grossinger R.M., Stripelen C.J., Askevold R.A., Brewster E., Beller E.E. Historical landscape ecology of an urbanized California valley: wetlands and woodlands in the Santa Clara Valley // Landscape Ecology. 2007. Vol. 22. № 1. P. 103.
12. Haase D. et al. Changes to Central European landscapes—Analysing historical maps to approach current environmental issues, examples from Saxony, Central Germany // Land Use Policy. 2007. Vol. 24. № 1. P. 248–263.

13. Hay G.J., Blaschke T., Marceau D.J., Bouchard A. A comparison of three image-object methods for the multiscale analysis of landscape structure // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2003. Vol. 57. № 5. P. 327–345.
14. Hoffman M.T., Rohde R.F. From pastoralism to tourism: The historical impact of changing land use practices in Namaqualand // Journal of Arid Environments. 2007. Vol. 70. № 4. P. 641–658.
15. Levin N., Kark R., Galilee E. Maps and the settlement of southern Palestine, 1799–1948: an historical/GIS analysis // Journal of Historical Geography. 2010. Vol. 36. № 1. P. 1–18.
16. López García J., Prado Molina J., Manzo Delgado L., Peralta Higuera A. Monitoring changes of forest canopy density in a temperature forest using high-resolution aerial digital photography // Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. 2016. Vol. 2016. № 90. P. 59–74.
17. Machar I., Servus M. Linking Historical Research with Restoration Ecology in the Floodplain Landscape Case Study: Landscape-Ecological Study and Management Plan of the Tovačov Lakes (Czech Republic) // Journal of Landscape Ecology. 2010. Vol. 3. № 1. P. 16–41.
18. Mackovčin P. Land use categorization based on topographic maps // Acta Pruhonicensia. 2009. Vol. 91. P. 5–13.
19. Meyer J.L., Youngs Y. Historical Landscape Change in Yellowstone National Park: Demonstrating the Value of Intensive Field Observation and Repeat Photography // Geographical Review. 2018. Vol. 108. № 3. P. 387–409.
20. Morgan J.L., Gergel S.E., Coops N.C. Aerial Photography: A Rapidly Evolving Tool for Ecological Management // BioScience. 2010. Vol. 60. № 1. P. 47–59.
21. Pindozzi S., Cervelli E., Capolupo A., at all. Using historical maps to analyze two hundred years of land cover changes: case study of Sorrento peninsula (south Italy) // Cartography and Geographic Information Science. 2016. Vol. 43. № 3. P. 250–265.
22. Rohde R.F., Hoffman M.T. The historical ecology of Namibian rangelands: Vegetation change since 1876 in response to local and global drivers // Science of The Total Environment. 2012. Vol. 416. P. 276–288.
23. Santana-Cordero A., Monteiro-Quintana M.L., Hernández-Calvento L. Reconstructing the environmental conditions of extinct coastal dune systems using historical sources: the case of the Guanarteme dune field (Canary Islands, Spain) // Journal of Coastal Conservation. 2014. Vol. 18. № 4. P. 323–337.
24. Santana-Cordero A.M., Monteiro-Quintana M.L., Hernández-Calvento L. Reconstruction of the land uses that led to the termination of an arid coastal dune system: The case of the Guanarteme dune system (Canary Islands, Spain), 1834–2012 // Land Use Policy. 2016. Vol. 55. P. 73–85.
25. Santana-Cordero A.M., Szaby P. Exploring Qualitative Methods of Historical Ecology and Their Links With Qualitative Research // International Journal of Qualitative Methods. 2019. Vol. 18. P. 16094069198 72112.
26. Skaloš J., Engstová B. Methodology for mapping non-forest wood elements using historic cadastral maps and aerial photographs as a basis for management // Journal of Environmental Management. 2010. Vol. 91. № 4. P. 831–843.
27. Skaloš J., Engstová B., Trpáková I., Šantrůčková M., Podrázský V. Long-term changes in forest cover 1780–2007 in central Bohemia, Czech Republic // European Journal of Forest Research. 2012. Vol. 131. № 3. P. 871–884.
28. Song X., Huang Y., Fu J., Jiang D., Tian G. Spatial Variability and Ecological Effects of Anthropogenic Activities in a Nature Reserve: A Case Study in the Baijitan National Nature Reserve, China // Sustainability. 2017. Vol. 9. № 2. P. 1–14.
29. Vegetation Mapping Projects Underway in Marin and San Mateo // Web-site of U.S. National Park Service. URL: <https://www.nps.gov/articles/vegetation-mapping-projects-underway.htm> (дата: 04.11.2019).
30. Velli A., Pirola A., Ferrari C. Evaluating landscape changes using vegetation and land-use maps: an integrated approach // Landscape Research. 2019. Vol. 44. № 6. P. 768–781.
31. Wan L., Zhang Y., Zhang X., Qi S., Na X. Comparison of land use/land cover change and landscape patterns in Honghe National Nature Reserve and the surrounding Jiansanjiang Region, China // Ecological Indicators. 2015. Vol. 51. P. 205–214.
32. Westhoff V., van der Maarel E. The Braun-Blanquet approach // Classification of plant communities. Ed. by R.H. Whittaker. Den Haag: Junk, 1980. P. 287–399.

References

1. Zhurbin I.V., Borisov A.V., Nazmutdinova A.I. et al. Complex use of remote sensing methods, Geophysics and soil science in the study of archaeological sites destroyed by plowing. Archeology, Ethnography and anthropology of Eurasia. 2019. T. 47. No. 2. P. 103–111.
2. Rykov D. Matrix of errors and calculation of indicators of accuracy of thematic maps. GIS-Lab: geographic information systems and remote sensing. 2010. Available at: <http://gis-lab.info/qa/error-matrix.html> (date accessed: 04.11.2019).
3. Skachkova A.S., Kurlovich D.M., Katkovsky L.V. Structure and dynamics of the land Fund of Volozhin district of Minsk region for the period from 1975 to 2010 (based on the results of automated decoding of classes of land coverings in the European nomenclature Corine land cover). Bulletin of BSU. Ser. 2: Chemistry. Biology. Geography. 2013. No. 1. P. 98–103.
4. Andersen O., Crow T.R., Lietz S.M., Stearns F. Transformation of a landscape in the upper mid-west, USA: The history of the lower St. Croix river valley, 1830 to present. Landscape and Urban Planning. 1996. Vol. 35. No. 4. P. 247–267.
5. Bürgi M., Hersperger A.M., Schneeberger N. Driving forces of landscape change – current and new directions. Landscape Ecology. 2004. Vol. 19. No. 8. P. 857–868.
6. Bürgi M., Russell E.W.B. Integrative methods to study landscape changes. Land Use Policy. 2001. Vol. 18. No. 1. P. 9–16.
7. Bürgi M., Straub A., Gimmi U., Salzmann D. The recent landscape history of Limpach valley, Switzerland: considering three empirical hypotheses on driving forces of landscape change. Landscape Ecology. 2010. Vol. 25. No. 2. P. 287–297.
8. Corine Land Cover. OpenStreetMap Wiki. Available at: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Corine_Land_Cover (date accessed: 04.11.2019).
9. Foody G.M. Status of land cover classification accuracy assessment. Remote Sensing of Environment. 2002. Vol. 80. No. 1. P. 185–201.
10. Garcia-Lozano C., Pintó J., Daunis-i-Estadella P. Changes in coastal dune systems on the Catalan shoreline (Spain, NW Mediterranean Sea). Comparing dune landscapes between 1890 and 1960 with their current status. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2018. Vol. 208. P. 235–247.
11. Grossinger R.M., Stripen C.J., Askevold R.A., Brewster E., Beller E.E. Historical landscape ecology of an urbanized California valley: wetlands and woodlands in the Santa Clara Valley. Landscape Ecology. 2007. Vol. 22. No. 1. P. 103.
12. Haase D. et al. Changes to Central European landscapes—Analysing historical maps to approach current environmental issues, examples from Saxony, Central Germany. Land Use Policy. 2007. Vol. 24, No. 1. P. 248–263.
13. Hay G.J., Blaschke T., Marceau D.J., Bouchard A. A comparison of three image-object methods for the multiscale analysis of landscape structure. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2003. Vol. 57. No. 5. P. 327–345.
14. Hoffman M.T., Rohde R.F. From pastoralism to tourism: The historical impact of changing land use practices in Namaqualand. Journal of Arid Environments. 2007. Vol. 70. No. 4. P. 641–658.
15. Levin N., Kark R., Galilee E. Maps and the settlement of southern Palestine, 1799–1948: an historical/GIS analysis. Journal of Historical Geography. 2010. Vol. 36. No. 1. P. 1–18.
16. López García J., Prado Molina J., Manzo Delgado L., Peralta Higuera A. Monitoring changes of forest canopy density in a temperate forest using high-resolution aerial digital photography. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. 2016. Vol. 2016. No. 90. P. 59–74.
17. Machar I., Servus M. Linking Historical Research with Restoration Ecology in the Floodplain Landscape Case Study: Landscape-Ecological Study and Management Plan of the Tovačov Lakes (Czech Republic). Journal of Landscape Ecology. 2010. Vol. 3. No. 1. P. 16–41.
18. Mackovčin P. Land use categorization based on topographic maps. Acta Pruhonicensia. 2009. Vol. 91. P. 5–13.
19. Meyer J.L., Youngs Y. Historical Landscape Change in Yellowstone National Park: Demonstrating the Value of Intensive Field Observation and Repeat Photography. Geographical Review. 2018. Vol. 108. No. 3. P. 387–409.

20. Morgan J.L., Gergel S.E., Coops N.C. Aerial Photography: A Rapidly Evolving Tool for Ecological Management. *BioScience*. 2010. Vol. 60. No. 1. P. 47–59.
21. Pindozzi S., Cervelli E., Capolupo A., at all. Using historical maps to analyze two hundred years of land cover changes: case study of Sorrento peninsula (south Italy). *Cartography and Geographic Information Science*. 2016. Vol. 43. No. 3. P. 250–265.
22. Rohde R.F., Hoffman M.T. The historical ecology of Namibian rangelands: Vegetation change since 1876 in response to local and global drivers. *Science of The Total Environment*. 2012. Vol. 416. P. 276–288.
23. Santana-Cordero A., Monteiro-Quintana M.L., Hernández-Calvento L. Reconstructing the environmental conditions of extinct coastal dune systems using historical sources: the case of the Guanarteme dune field (Canary Islands, Spain). *Journal of Coastal Conservation*. 2014. Vol. 18. No. 4. P. 323–337.
24. Santana-Cordero A.M., Monteiro-Quintana M.L., Hernández-Calvento L. Reconstruction of the land uses that led to the termination of an arid coastal dune system: The case of the Guanarteme dune system (Canary Islands, Spain), 1834–2012. *Land Use Policy*. 2016. Vol. 55. P. 73–85.
25. Santana-Cordero A.M., Szaby P. Exploring Qualitative Methods of Historical Ecology and Their Links With Qualitative Research. *International Journal of Qualitative Methods*. 2019. Vol. 18. P. 1609406919872112.
26. Skaloš J., Engstová B. Methodology for mapping non-forest wood elements using historic cadastral maps and aerial photographs as a basis for management. *Journal of Environmental Management*. 2010. Vol. 91. No. 4. P. 831–843.
27. Skaloš J., Engstová B., Trpáková I., Šantrůčková M., Podrázský V. Long-term changes in forest cover 1780–2007 in central Bohemia, Czech Republic. *European Journal of Forest Research*. 2012. Vol. 131. No. 3. P. 871–884.
28. Song X., Huang Y., Fu J., Jiang D., Tian G. Spatial Variability and Ecological Effects of Anthropogenic Activities in a Nature Reserve: A Case Study in the Baijitan National Nature Reserve, China. *Sustainability*. 2017. Vol. 9. No. 2. P. 1–14.
29. Vegetation Mapping Projects Underway in Marin and San Mateo. Web-site of U.S. National Park Service. Available at: <https://www.nps.gov/articles/vegetation-mapping-projects-underway.htm> (date accessed: 04.11.2019).
30. Velli A., Pirola A., Ferrari C. Evaluating landscape changes using vegetation and land-use maps: an integrated approach. *Landscape Research*. 2019. Vol. 44. No. 6. P. 768–781.
31. Wan L., Zhang Y., Zhang X., Qi S., Na X. Comparison of land use/land cover change and landscape patterns in Honghe National Nature Reserve and the surrounding Jiansanjiang Region, China. *Ecological Indicators*. 2015. Vol. 51. P. 205–214.
32. Westhoff V., van der Maarel E. The Braun-Blanquet approach. Classification of plant communities. Ed. by R.H. Whittaker. Den Haag: Junk, 1980. P. 287–399.

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-64-69

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К РОСТУ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРОВ

Х.А. Амерханов, проф. РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, акад. РАН,
д-р с.-х. наук, *h.amerhanov@yandex.ru*

Л.А. Зернаева, зам. нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. с.-х. наук,
ZernaevaLA@extech.ru

О.В. Ласточкина, нач. отд. Министерства сельского хозяйства РФ, *o.lastochkina@mch.ru*

Рецензент: Р.М. Кертиев

В России преодолена отрицательная тенденция к снижению объема производства молока, и за последние годы достигнуты стабилизация объема производства и постепенный его рост. В условиях сокращения поголовья коров основные факторы, обеспечивающие указанную тенденцию, – это увеличение показателя молочной продуктивности путем проведения технологической модернизации в молочном скотоводстве и комплектация новых комплексов и ферм высокопродуктивным скотом, совершенствование генетического потенциала молочного скота, предоставление государственной поддержки за произведенную и реализованную продукцию при условии достижения установленного показателя молочной продуктивности.

Ключевые слова: молочная продуктивность, производство молока, технологическая модернизация, племенные организации, государственная поддержка.

INNOVATIVE APPROACHES TO INCREASE MILK PRODUCTIVITY OF COWS

H.A. Amerkhanov, Professor, K.A. Timiryazev RGAU-ICCA, Member of RAS,
Ph.D., *h.amerhanov@yandex.ru*

L.A. Zernaeva, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Agricultural Sciences,
ZernaevaLA@extech.ru

O.V. Lastochkina, Head of Department, Ministry of Agriculture of the Russian Federation,
o.lastochkina@mch.ru

In Russia, the negative tendency to decrease the volume of milk production has been overcome, and in recent years, the stabilization of production and its gradual growth have been achieved. In terms of reducing the number of cows, the main factors that ensure this trend are an increase in the indicator of milk productivity through technological modernization in dairy cattle breeding and the completion of new complexes and farms with highly productive cattle, the improvement of genetic potential – production of dairy cattle, the provision of state support for the produced and sold products, subject to the achievement of the established indicator of milk productivity.

Keywords: milk productivity, milk production, technological modernization, breeding organizations, state support.

Молочное скотоводство является одной из важнейших подотраслей в агропромышленном комплексе страны в деле обеспечения населения молоком и молочными продуктами за счет собственного производства, а также преодоления зависимости страны от импортных поставок.

В этой подотрасли занято более 1 млн человек, а ее удельный вес в ценовом отношении в общей продукции животноводства составляет более 30 %. Россия была и остается одним из крупных производителей молока в мире. В 1990 г. объемы его производства достигали

около 56 млн т. Это был максимальный уровень в стране и второй показатель в мире. (В 2018 г. – 30,6 млн т, это третий показатель в мире после США – 98,8 млн т, Индии – 76,0 млн т. Суммарный объем производства молока в странах Евросоюза – 154,8 млн т.)

Оценивая положение дел в молочном скотоводстве России, необходимо отметить, что в последние годы достигнуты определенные положительные изменения. Безусловно, важным этапом качественного перевооружения и модернизации молочного скотоводства стала Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции сырья и продовольствия, утвержденная Постановлением Правительства Российской Федерации от 14.07.2012 № 717.

По данным Росстата (рис. 1), за последние 10 лет объемы производства молока в хозяйствах всех категорий уменьшились на 1,62 млн т, или на 5,0% (с учетом корректировки показателей по итогам Всероссийской сельскохозяйственной переписи).

При этом в сельскохозяйственных организациях объем увеличился на 1,99 млн т, или на 14,0%, в крестьянских (фермерских) хозяйствах рост составил 1,14 млн т (почти двукратное увеличение).

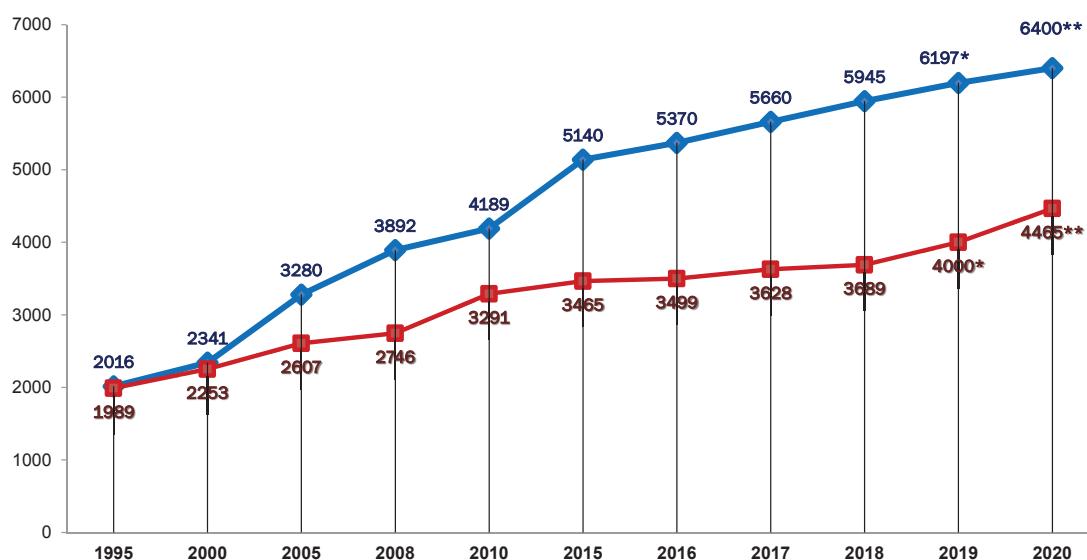


Рис. 1. Надой молока на 1 корову в Российской Федерации в сельскохозяйственных организациях и КФХ

В 2018 г. в пяти субъектах Российской Федерации общее производство молока составило свыше 1 млн т: в Республике Татарстан – 1848 тыс. т, в Республике Башкортостан – 1624 тыс. т, в Краснодарском крае – 1450 тыс. т, в Алтайском крае – 1179 тыс. т, в Ростовской обл. – 1096 тыс. т.

Наибольшие приrostы производства молока за прошлый год достигнуты в Краснодарском крае (69,14 тыс. т, или 5,0%), в Воронежской обл. (62,72 тыс. т, или 7,5%), в Калужской обл. (50 тыс. т, или 16,9%).

Недостаточно высокие темпы прироста молока обусловлены продолжающимся сокращением поголовья молочных коров. В 2018 г. в хозяйствах всех категорий его численность составила 6,8 млн голов, снизившись к уровню 2007 г. на 1,30 млн голов, в том числе в сельхозпредприятиях – на 677 тыс. голов, в хозяйствах населения – на 1,13 млн голов. Только в крестьянских (фермерских) хозяйствах за этот период обеспечен рост численности коров на 507 тыс. голов (табл. 1).

Таблица 1

Динамика поголовья коров молочного направления продуктивности, тыс. голов

| | 2007 г. | 2012 г. | 2017 г. | 2018 г. |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Хозяйства всех категорий | 8157 | 7412 | 6914 | 6856 |
| Сельхозпредприятия | 3597 | 3058 | 2950 | 2920 |
| Удельный вес, % | 44,1 | 41,2 | 42,7 | 42,6 |
| Хозяйства населения | 4357 | 3816 | 3275 | 3226 |
| Удельный вес, % | 53,4 | 51,5 | 47,4 | 47,0 |
| Крестьянские (фермерские) хозяйства | 203 | 538 | 689 | 710 |
| Удельный вес, % | 2,5 | 7,3 | 10,0 | 10,3 |

Еще более серьезная ситуация складывается в ряде регионов, основной специализацией которых является производство зерна и в которых доля организаций, не имеющих поголовья молочных коров, из общего числа сельхозорганизаций составляет, например, в Волгоградской обл. – 90%, в Ростовской обл. и Краснодарском крае – 86%, в Тамбовской области – 85%, в Ставропольском крае – 83%.

В представленных субъектах имеются все возможности для более интенсивного развития молочного скотоводства, в том числе путем строительства молочных ферм на 200–400 голов.

В то же время в таких молочных регионах, как Удмуртская Республика, Кировская и Вологодская области, где потенциал возможностей существенно ниже, доля указанных хозяйств достигает 60–70%.

В создавшихся условиях интенсификация производства путем роста молочной продуктивности является основным фактором, обеспечившим в последние годы положительную динамику в молочном скотоводстве (рис. 2).

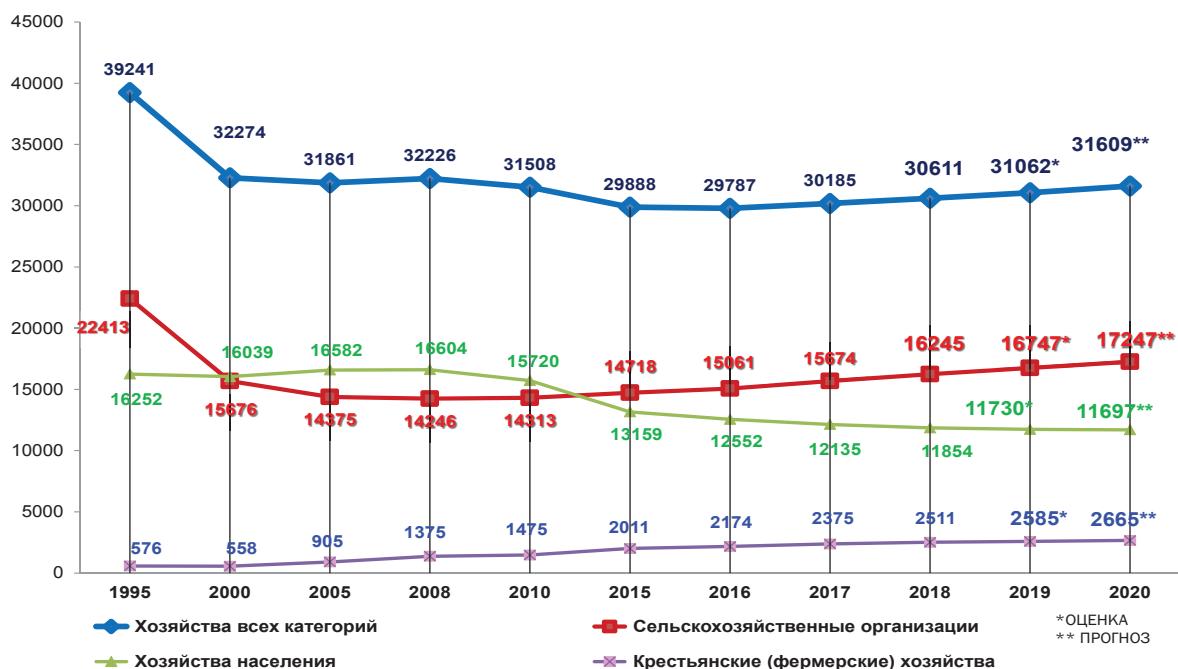


Рис. 2. Производство молока в Российской Федерации, тыс. т.

За последние 10 лет надой молока на одну корову в сельскохозяйственных организациях вырос на 2053 кг, составив 5945 кг, в крестьянских (фермерских) хозяйствах – на 943 кг и 3689 кг соответственно.

Вместе с тем средний показатель молочной продуктивности в отечественном молочном скотоводстве пока существенно ниже показателя мировых лидеров молочной индустрии, что связано с недостаточным применением высокоэффективных технологий в производстве молока, в системе управления стадом, а также с неполной реализацией имеющегося генетического потенциала молочного скота.

Реализация перечисленных проблем способна, по примеру наших передовых регионов, обеспечить совершенствование продуктивных показателей подотрасли. Так, например, в Ленинградской обл. за 2018 г. средний надой на корову по сельхозпредприятиям составил 8590 кг, в Калининградской обл. – 8043 кг, в девяти субъектах Российской Федерации – свыше 7 тыс. кг; на племенных заводах Ленинградской обл. по голштинской породе: АО «ПЗ «Гомонтово», ЗАО «ПЗ «Рабитицы», АО «ПЗ «Раздолье» – 13 246 кг, 12 868 кг и 12 817 кг соответственно; в ПАО «Родина» Краснодарского края – 12 781 кг. Рекордсменкой по молочной продуктивности в 2018 г. стала корова Каприза-953 (ЗАО «ПЗ «Рабитицы», Ленинградская обл.), надой которой по третьей лактации составил 19 254 кг молока с содержанием жира 4,01% и белка 3,17%.

Меры по стимулированию роста молочной продуктивности

Рост молочной продуктивности в стране является следствием принятия мер по повышению генетического потенциала молочного скота и создания условий для его реализации. В связи с этим особую роль играет развитие племенной базы, направленное на увеличение производства высококачественной племенной продукции (материала) и на ее реализацию на внутреннем рынке, на создание эффективного молочного скотоводства (рис. 3).

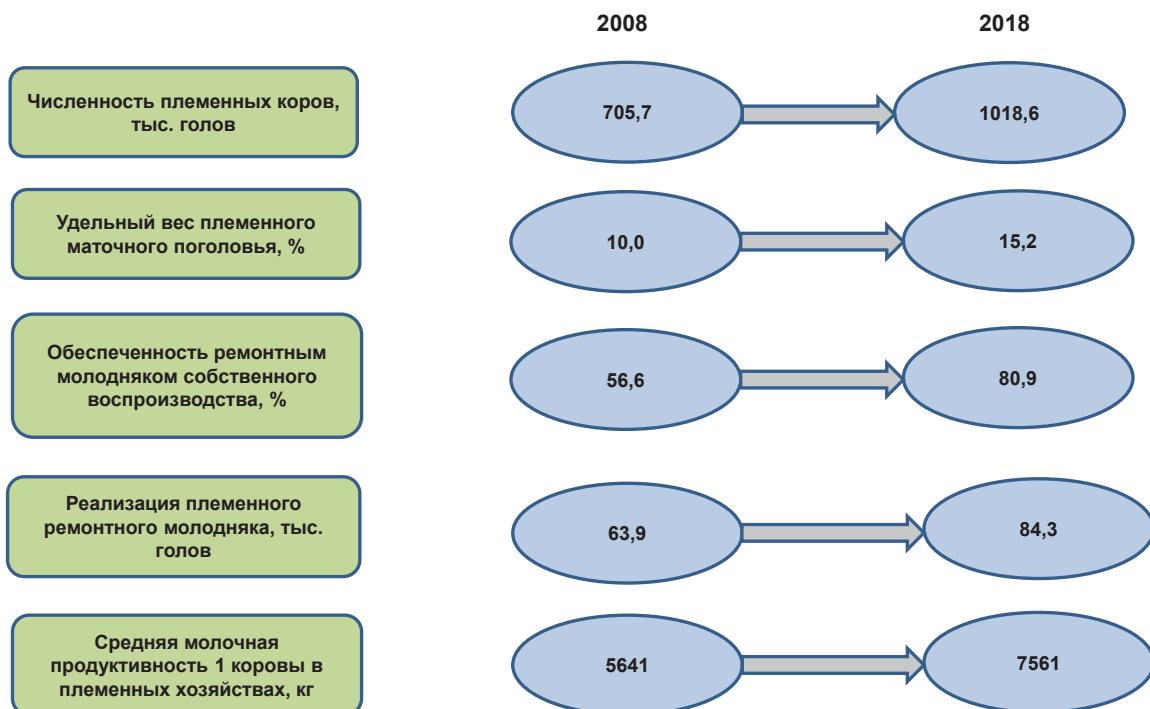


Рис. 3. Основные показатели развития племенной базы молочного скотоводства в Российской Федерации за последние 10 лет

Племенная база в молочном скотоводстве представлена 1120 племенными стадами (итоги 2018 г.).

За последние годы в данной части популяции молочного скота произошли существенные количественные и качественные изменения.

Увеличение за последние 10 лет численности коров в племенных хозяйствах и реализации племенного ремонтного молодняка способствовали росту удельного веса племенного маточного поголовья и уровня обеспеченности молодняком собственного воспроизводства. Как следствие, растет влияние племенной части популяции на ее товарную часть.

Средняя молочная продуктивность одной племенной коровы по итогам за 2018 г. составила 7561 кг, что на 1920 кг, или на 34,0 %, выше по сравнению с соответствующим показателем за 2008 г.

Мерой по поддержке развития племенной базы является выделение государственной поддержки, предусмотренной госпрограммой и предоставляемой в рамках Единой субсидии.

Один из факторов, обусловливающих рост объемов производства молока, – это технологическая модернизация, проводимая в молочном скотоводстве в рамках создания новых объектов, модернизации и реконструкции существующих. В 2018 г. было построено, реконструировано, модернизировано и введено в эксплуатацию 239 новых молочных ферм и комплексов. Дополнительное производство молока за счет указанных мероприятий составило 289,8 тыс. т.

Всего за 2012–2018 гг. были введены, реконструированы и модернизированы 1590 объектов по молочному скотоводству.

В целях сокращения сроков окупаемости вложенных инвестиций комплектация новых объектов осуществляется, как правило, коровами и нетелями с высоким генетическим потенциалом молочной продуктивности.

Стимулирующий критерий по росту молочной продуктивности предусмотрен при отборе проектов на оказание государственной поддержки путем возмещения части прямых капитальных затрат при создании и (или) модернизации животноводческих комплексов молочного направления (молочных ферм) в виде показателя его планируемого уровня, который на указанных объектах должен составлять не менее 6000 кг/год на одну корову.

С учетом природно-климатических и породных особенностей молочного скота, данный показатель для субъектов Дальневосточного и Северо-Кавказского федеральных округов, Республики Калмыкия, районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей должен быть не менее чем на 30 % выше среднего показателя молочной продуктивности в сельскохозяйственных организациях соответствующего субъекта Российской Федерации или в соответствии с условием, предусмотренным для субъектов Российской Федерации, кроме субъектов вышеперечисленных территорий.

За период действия данного направления господдержки (2015–2019 гг.) отобрано 366 проектов, реализованных в молочном скотоводстве.

Субсидии, направленные на повышение продуктивности в молочном скотоводстве из федерального бюджета в бюджеты субъектов Российской Федерации, в 2017–2019 гг. распределялись с использованием повышающего коэффициента, устанавливаемого для субъектов Российской Федерации, с уровнем молочной продуктивности по сельскохозяйственным организациям за отчетный год не ниже 5000 кг. При предоставлении субсидий сельскохозяйственным товаропроизводителям также был предусмотрен дифференцированный подход в зависимости от величины указанного показателя.

Заключение

На данном этапе развития молочного скотоводства перечисленные инновационные подходы явились эффективным способом перевода подотрасли на интенсивные пути развития. Дальнейший рост производства молока и достижение показателей мировых лидеров молоч-

ной отрасли возможны путем совершенствования селекционно-генетических методов в направлении использования геномной оценки, автоматизации учета скота в комплексе с углубленной технологической модернизацией производства и системой управления стадом.

Список литературы

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 14.07.2012 № 717 «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» (с изменениями на 08.02.2019).
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 24.11.2018 № 1413 «Об утверждении Правил предоставления и распределения иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на возмещение части прямых понесенных затрат на создание и (или) модернизацию объектов агропромышленного комплекса».
3. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 29.11.2018 № 549 «Об утверждении Порядка отбора инвестиционных проектов, представленных сельскохозяйственными товаропроизводителями, за исключением граждан, ведущих личное подсобное хозяйство, и российскими организациями, осуществляющими создание и (или) модернизацию объектов агропромышленного комплекса, на возмещение части прямых понесенных затрат по реализуемым объектам агропромышленного комплекса».
4. Данные Росстата России: 1995–2018 гг. (с учетом корректировки по итогам Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 г.).
5. Ежегодники по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации. М.: ВНИИПлем, 2008–2018.

References

1. Resolution of the Government of the Russian Federation of 14.07.2012 No. 717 «On the State program of development of agriculture and regulation of markets of agricultural products, raw materials and food» (as amended on 08.02.2019).
2. The resolution of the Government of the Russian Federation 24.11.2018 No. 1413 «About the statement of Rules of granting and distribution other inter-budget transfers from the Federal budget to budgets of Subjects of the Russian Federation on compensation of direct costs incurred for the creation and (or) the modernization of agriculture».
3. Order of the Ministry of agriculture of the Russian Federation from 29.11.2018 No. 549 «On approval of the Procedure of selection of investment projects submitted by agricultural producers, with the exception of the citizens, leading private farming, and the Russian organizations engaged in creating and (or) the modernization of agriculture, on the compensation of direct costs incurred for the ongoing objects of agrarian and industrial complex».
4. Data of Rosstat of Russia: 1995–2018 (adjusted for the results of the all-Russian agricultural census of 2016).
5. Yearbooks on breeding work in dairy cattle breeding in the farms of the Russian Federation. Moscow. VNIIPlem. 2008–2018.

ЭКСПЕРТИЗА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-70-76

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ЗА РУБЕЖОМ

A.B. Логунов, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. воен. наук, доцент, logunov@extech.ru

D.V. Ольшевский, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, olsh@extech.ru

A.V. Гренчихин, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, agseaman@extech.ru

Рецензент: А.И. Гаврюшин

В статье рассматриваются организационные вопросы проведения мониторинга результатов научной деятельности, осуществляемого за рубежом на глобальном, национальном, отраслевом и корпоративном уровнях.

Ключевые слова: научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, мониторинг результатов научной деятельности, международные организации, научно-исследовательские организации, мониторинговые мероприятия, трансфер технологий.

ORGANIZATION OF CONDUCTING OF RESULTS MONITORING OF SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS ABROAD

A.B. Logunov, Head of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Military Sciences, Associate Professor, logunov@extech.ru

D.V. Olshevsky, Head of Department, SRI FRCEC, olsh@extech.ru

A.V. Grenchikhin, Senior Researcher, SRI FRCEC, agseaman@extech.ru

The article deals with organizational issues of monitoring the results of scientific activities carried out abroad at the global, national, sectoral and corporate levels.

Keywords: research and development works, monitoring of results of scientific activity, international organizations, research organizations, monitoring activities, technology transfer.

Мониторинг результатов научных достижений осуществляется сегодня международными организациями, органами государственной власти (в том числе специальными службами), национальными научно-исследовательскими организациями (НИО) академического профиля и прикладной направленности, университетами, а также корпоративным сектором (компаниями и консалтинговыми агентствами).

Цели мониторинговых мероприятий могут быть различны. В основном они сводятся к следующим:

- научно-техническому и технологическому прогнозированию в интересах долгосрочного (стратегического) планирования;
- определению национальных (корпоративных) преимуществ и рисков, связанных с угрозой потери конкурентоспособности или военно-технического отставания от потенциальных противников;
- выявлению востребованности той или иной перспективной области исследований и разработок и повышения эффективности трансфера технологий.

В контексте данного исследования мониторинговые проекты проводятся:

- органами государственной власти – для предотвращения научно-технической (военно-технической) внезапности и выявления угроз в военно-технической сфере, областей национальных преимуществ и стратегического планирования;
- исследовательскими организациями и университетами – для отслеживания новых направлений профильных тематик научно-технологического развития, как в собственных интересах, так и в интересах государственных органов;
- компаниями и корпоративным сектором – для выявления своих конкурентных позиций, новых и зарождающихся рынков и т. д.
- международными организациями – для оценки уровня технологических достижений стран и их интеграционных объединений, планирования совместных, межгосударственных научно-технических проектов, различного рода оценок и прогнозистических заключений, международной стандартизации.

В мониторинговых проектах активно применяются качественные методы (информационно-аналитические и экспертно-аналитические, сценарные и др.), дополненные количественными методиками (библиометрический и патентный анализ и т. д.).

Международные организации

Наиболее обобщенные мониторинговые исследования в области научно-технического развития проводят специализированные учреждения ООН, такие как Всемирная организация здравоохранения (World Health Organization – WHO), Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO), Организация Объединенных Наций по промышленному развитию (United Nations Industrial Development Organization – UNIDO), Международный союз электросвязи (International Telecommunication Union – ITU), Международное агентство по атомной энергии (International Atomic Energy Agency – IAEA) и другие.

Так, проект ITU «Технологический мониторинг» (Technology Watch) рассматривает существующие тенденции в сфере информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), дает обоснования для поиска перспективных научно-технологических направлений и измерение их потенциала в части стандартизации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) [1]. В отчетах ITU представлены оценка воздействия возникающих технологий на конкурентоспособность экономик развитых и развивающихся стран, а также анализ соответствующих работ по стандартизации для выявления новых траекторий развития ИКТ. В целом «Технологический мониторинг» описывает широкий текущий и прогнозируемый контекст глобального научно-технологического развития и формирует нормативную базу для разработки правил и стандартов в сфере ИКТ на национальном и международном уровнях [2].

Особую роль среди специализированных учреждений ООН играет Всемирная организация интеллектуальной собственности (World Intellectual Property Organization – WIPO), выступающая одним из основных источников базовой информации для проведения мониторинговых исследований в целом.

Большую мониторинговую работу проводят международные отраслевые союзы и общества, такие как, например, Институт инженеров электротехники и электроники (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE) – международная некоммерческая ассоциация специалистов в области техники, мировой лидер в области разработки стандартов по радиоэлектронике, электротехнике и аппаратному обеспечению вычислительных систем и сетей. Главная цель IEEE – информационная и материальная поддержка специалистов для организации и развития научной деятельности в электротехнике, электронике, компьютерной технике и информатике, приложение их результатов для пользы общества, а также профессиональный рост членов IEEE.

Мониторинговую работу в области технологического прогнозирования на систематической основе ведет Директорат по науке, технологиям и инновациям Организации экономи-

ческого сотрудничества и развития (Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD). Так, экспертам организации отслеживаются общие (валовые) показатели развития сферы исследований и разработок государств-членов, а также иных значимых для оценок и прогнозирования стран. Статистические наблюдения OECD являются важнейшим источником для страновых сравнений и статистического прогнозирования развития сферы исследований и разработок в целом [3]. Кроме того, Организация публикует доклады по отдельным направлениям развития науки и технологий, в частности биотехнологиям, нанотехнологиям. Организация публикует также отчеты о перспективах развития того или иного сегмента прикладных исследований и разработок и их влияния на развитие своих стран-членов. В частности, следует отметить доклад «Перспективы развития цифровой экономики OECD в 2017 году» и другие.

Европейская комиссия (ЕК) реализует программы в области изучения глобальных технологических трендов, способных оказать существенное воздействие на перспективы развития экономики и общества, и публикует итоговые доклады с рекомендациями Европарламенту по проведению научно-технической политики. Так, например, Объединенный исследовательский центр при ЕК (Joint Research Centre – JRC) координирует и проводит мониторинговые исследования по различным научным и технологическим областям, имеющим значение для выработки позиции Европейского Союза по рассматриваемым вопросам. Характерными примерами таких работ являются, в частности, Отчет 2019 г. «Научно-исследовательский и инновационный потенциал транспортной инфраструктуры», в котором рассматриваются достижения в области развития транспортных технологий и вырабатываются рекомендации для Стратегической программы Европейской Комиссии по исследованиям и инновациям в области транспорта [4]. Еще одним примером является программа Института защиты и безопасности гражданина объединенного исследовательского центра ЕК (Institute for the Protection and Security of the Citizen European Commission Joint Research Centre – JRC-IPSC) «Европейский технологический мониторинг» [5], которая объединяет усилия различных участников (наука, бизнес, государство) с целью развития существующих компетенций и наращивания потенциала европейских стран в сфере науки и технологий для обеспечения ведущих позиций региона в мире. Подобный мониторинг предусматривает поиск потенциально значимых технологических областей и разработку мероприятий по стимулированию их развития в европейских странах.

Правительственный сектор

Мониторинговые мероприятия в области НИОКР проводятся организациями правительенного сектора для оценки эффективности и результативности исследований (с точки зрения выявления приоритетов для финансирования разработок), проводимых с государственным участием, выработки приоритетов национального научно-технического развития, исключения военно-научно-технической внезапности в сфере обороны и безопасности, а также улучшения процессов трансфера технологий внутри страны.

В США на государственном уровне общих подходов к оценке результативности научных организаций или отдельных ученых не существует; вместо этого оцениваются результаты реализации научных программ. Мониторинговые мероприятия «встроены» в процесс планирования, программирования и исполнения бюджета (Planning, Programming, and Budgeting System – PPBS) в соответствии с Законом «Об оценке результатов деятельности государственных учреждений» (Government Performance and Results Act) 1993 г. (с коррекцией 2010 г.). При этом целенаправленные мониторинговые мероприятия проводят основные органы и учреждения, которые осуществляют деятельность в сфере НИОКР: Министерство обороны, Министерство здравоохранения и социальных служб, включая Национальные институты здоровья, Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства, Министерство энергетики, Национальный научный фонд, Министерство внутренней безопасности, Министерство сельского хозяйства, Министерство торговли,

Министерство образования, Агентство по охране окружающей среды и Министерство транспорта.

Мониторинговые мероприятия проводятся организациями, отвечающими за трансфер технологий внутри страны. Ключевую роль здесь играют Консорциум федеральных лабораторий по передаче технологий (Federal Laboratory Consortium for Technology Transfer – FLC) и офисы (управления) по исследованиям и применению технологий (Offices of Research and Technology Application – ORTAs). FLC включает более 700 федеральных правительственные лаборатории по исследованиям и разработкам, а также центры, которые представляют 17 федеральных министерств и ведомств. В их числе министерства: сельского хозяйства; торговли; обороны (включая департаменты СВ, ВМС и BBC США); образования; энергетики; здравоохранения и социального обслуживания; внутренних дел; юстиции; транспорта; по делам ветеранов, а также ведомства (агентства): Центральное разведывательное управление; по защите окружающей среды; Авиационно-космическое; Национальный научный фонд.

Наряду с мониторинговыми исследованиями, подготовленными в академических кругах, в США значимое место занимают прогнозы структур, входящих в Разведывательное сообщество. Обобщение и частичное опубликование мониторинговых материалов, составление аналитических докладов выполняет, в частности, Национальный разведывательный совет (National Intelligence Council – NIC), орган Разведывательного сообщества США, отвечающий за среднесрочное и долгосрочное планирование разведдеятельности.

В целом мониторинговые методы, применяемые для оценок исследовательской деятельности и отбора перспективных проектов в США, классические: библиометрический анализ (публикации, патенты, цитируемость); бенчмаркинг (сопоставительный анализ на основе эталонных показателей); анкетирование и опросы; фокус-группы; интервью; экспертные панели; тематические исследования; отслеживание коммерциализации технологии; и т. д. [6].

В Великобритании эффективность научных учреждений оценивается экспертным советом (Research Excellence Framework – REF) с привлечением минимального количества библиографических показателей, которые носят справочный характер. При этом такая система мониторинга научных достижений считается весьма успешной.

В Германии мониторинговыми мероприятиями занимается Институт системных и инновационных исследований Общества Фраунгофера (Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research – ISI). В рамках Института действует специализированное подразделение – Центр компетенций по возникающим технологиям (Competence Center for Emerging Technologies – CCET) [2].

В Китае мониторинг результатов исследований и разработок и достижений проводится на основе баланса научометрических и экспертных подходов. При этом единая и централизованная государственная оценка результативности деятельности научных организаций, проводимая по всем ведомствам, не осуществляется. Каждое из китайских министерств и ведомств, имеющих в своем подчинении организации, которые выполняют НИОКР, проводит свои мониторинговые мероприятия. При этом результаты мониторингов носят закрытый характер.

Мониторингом в научно-технической сфере занимаются Министерство науки и техники Китая (Миннауки Китая) и Китайская академия наук (КАН). При Миннауки Китая создан отдельный научно-исследовательский институт – Национальный центр оценки науки и технологий (НЦОНТ), который специализируется на оценке научных программ. В нем работают более 100 сотрудников, также поддерживается связь более чем с 5000 внешних экспертов. КАН при проведении мониторинговых мероприятий руководствуется принципом «1–3–5»: одно позиционирование – три основных прорыва – пять потенциальных направлений. Первой составляющей принципа – «Одно позиционирование» – предполагается, что каждый НИИ должен специализироваться на своем поле исследований, культивировать свои уникальные особенности и ключевые компетенции. «Три основных прорыва» – подразуме-

вает три основных стратегически важных инновационных достижения, которых институт обязуется добиться в следующие 5–10 лет. «Пять потенциальных направлений» – призвана обеспечить выявление новых научно-исследовательских приоритетов, уникальных возможностей, будущих конкурентных преимуществ.

В Японии мониторингом результатов научных достижений занимается Национальный институт научно-технической политики (National Institute for Science and Technology Policy – NISTEP). Институт создан при участии правительства Японии для разработки политики в научно-технологической сфере, предоставления аналитических материалов компаниям и связанным с ними организациям, содействия исследовательской активности в важнейших технологических областях. На сайте Института в открытом доступе размещаются аналитические доклады с результатами мониторинговых мероприятий исследовательской деятельности государственных и коммерческих организаций страны.

Для проведения мониторинговых мероприятий в интересах формирования государственной научно-технической политики в зарубежных странах привлекаются и некоммерческие исследовательские организации, как правило, аффилированные с теми или иными государственными учреждениями, а также ведомственные исследовательские структуры. Для примера следует выделить деятельность хорошо известной некоммерческой корпорации RAND, США; Стокгольмского института проблем мира СИПРИ (Stockholm International Peace Research Institute – SIPRI), Лондонского института стратегических исследований (International Institute for Strategic Studies – IISS) и др. Эти организации публикуют различного рода периодичности аналитические доклады, в том числе по вопросам развития средств вооруженной борьбы, оборонно-промышленного комплекса, науки и технологий оборонной направленности и двойного назначения.

Университеты и исследовательские центры

Академические учреждения, в том числе негосударственные, вносят значительный вклад в научно-технический мониторинг. Мониторинговые мероприятия организаций такого типа носят, как правило, «узкий» характер, концентрируясь на собственных направлениях подготовки специалистов и исследований и имеющихся и развиваемых компетенций. Лишь некоторые университеты публикуют значимые для рассматриваемой темы мониторинговые обобщения: в качестве примера можно отметить Проект «Технологический мониторинг» (Technology Review) Массачусетского технологического института (MIT). Проект нацелен на выявление перспективных трендов, бизнес-моделей и инновационных решений, а также направлений глобального развития по таким областям как биомедицина и фармакология, медицинские технологии, цифровая экономика и мобильный мир, новая карта глобальной энергетики, новая эра производства, нанотехнологии и новые материалы, «умный город», потребительский рынок. По этим областям дается краткое описание, приводятся перечень ключевых трендов и технологий, страны-лидеры и прогнозные оценки дальнейшего развития технологий [2].

Корпоративный сектор

Значимые мониторинговые исследования проводят только крупные компании с глобальным охватом профильных рынков, прежде всего высокотехнологичных секторов (ИКТ, микроэлектроника, энергетика). Реализуются проекты по мониторингу в интересах обнаружения точек инновационного прорыва на ранних этапах для повышения конкурентоспособности. Результатом подобных проектов выступают альтернативные сценарии и перечни трендов (инновационных решений) в выбранных для рассмотрения технологических областях. Известны обобщающие мониторинговые и прогностические проекты компаний IBM, Shell, Microsoft и др.

Мониторинговые мероприятия консалтинговых компаний, как правило, носят узкоспециализированный характер – под заказ и запрос конкретных клиентов. Как правило, мони-

торинг и аналитика на его основе в консалтинговых компаниях ориентированы на производственные и бизнес-процессы, рыночную конъюнктуру и т.д.

Типичным примером консалтинговой компании, имеющей мировую известность, является американская компания BCC Research [7]. Компания предоставляет достаточно подробные и достоверные отчеты и обобщения на основе экспертных оценок и широких опросов по вопросам научно-технологического развития для промышленных, фармацевтических, и высокотехнологичных организаций. Типичный пример таких отчетов: Photonic Integrated Circuits: Technologies and Global Markets, PHO007A, BCC Research, Wellesley, MA 02481 USA, March 2014, 159 р. – обобщение по вопросам технологий производства фотонных интегральных схем и их внедрения в различные сферы. BCC Research также публикует периодические информационные бюллетени.

Следует выделить Jane's Information Group (Jane's IG) – британское издательство, специализирующееся на периодическом издании военных и военно-технических обзоров. Периодические справочники и новостные издания Jane's IG – одни из самых известных и считаются наиболее авторитетными среди изданий военной тематики, базирующихся на информации из открытых источников. Текущим владельцем Jane's IG является IHS Inc. Издательство базируется в Лондоне [8].

Таким образом, анализ опыта проведения мониторинга результатов научных достижений за рубежом показывает, что подобного рода проекты осуществляются на всех уровнях – глобальном, национальном, отраслевом, корпоративном. Интерес к результатам подобных исследований проявляют международные организации, государственные структуры, исследовательские институты и корпоративный сектор, вовлеченные в процесс разработки и внедрения передовых технологических достижений.

Статья выполнена в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Минобрнауки Российской Федерации по результатам работ в рамках Государственного задания по проекту № 2.13325.2019/13.1.

Список литературы

1. ITU (2014) Technology Watch. URL: <http://www.itu.int/en/ITU-T/techwatch/Pages/reports.aspx> (дата обращения 23.12.2019).
2. Микова Н., Соколова А. Мониторинг глобальных технологических трендов: теоретические основы и лучшие практики // Форсайт. Т8. № 4. С. 64–83.
3. Расходы на НИОКР, количество исследователей, расходы военного бюджета на НИОКР, патенты и т.п. URL: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STI_PUB (дата обращения 23.12.2019).
4. Research and innovation capacity in transport infrastructure. An assessment based on the Transport Research and Innovation Monitoring and Information System (TRIMIS). URL: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC115317/kjna29687enn.pdf> (дата обращения 23.12.2019).
5. URL: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/11111111/12930/1/reqno_jrc50348_stacato%20tech%20watch.pdf (дата обращения 23.12.2019).
6. Гусев А.Б., Доронина Е.Г., Вершинин И.В., Малахов В.А. Мониторинг и оценка результатов научно-технической деятельности: зарубежный опыт и российская практика // Наука. Инновации. Образование. 2018. № 1 (27). С. 65–91.
7. URL: <https://www.bccresearch.com> (дата обращения 08.08.2019).
8. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Jane%20Information_Group; <https://www.janes.com> (дата обращения 23.12.2019).

References

1. ITU (2014) Technology Watch. Available at: <http://www.itu.int/en/ITU-T/techwatch/Pages/reports.aspx> (accessed 23.12.2019).

2. Mikova N., Sokolova A. Monitoring of global technological trends: theoretical foundations and best practices. *Foresight*. T8. No. 4. P. 64–83.
3. R&D expenditures, number of researchers, military budget expenditures on R&D, patents, etc. Available at: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB (accessed 23.12.2019).
4. Research and innovation capacity in transport infrastructure. An assessment based on the Transport Research and Innovation Monitoring and Information System (TRIMIS). Available at: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC115317/kjna29687enn.pdf> (accessed 23.12.2019).
5. Available at: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/12930/1/reqno_jrc50348_staccato%20tech%20watch.pdf (accessed 23.12.2019).
6. Gusev A.B., Doronina E.G., Vershinin I.V., Malakhov V.A. Monitoring and evaluation of results of scientific and technological activity: foreign experience and Russian practice. *Science. Innovations. Education.* 2018. No. 1 (27). P. 65-91.
7. Available at: <https://www.bccresearch.com> (accessed 23.12.2019).
8. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Jane%20Information_Group; <https://www.janes.com> (accessed 23.12.2019).

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-77-88

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ АТЕРОГЕНЕЗА

П.А. Стороженко, ген. дир. ГНЦ РФ «Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений», проф., *chteos@yanex.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*

И.В. Жигачева, вед. науч. сотр. ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля» РАН, д-р биол. наук, *zhigacheva@mail.ru*

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

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

Рецензент: Ю.П. Козлов

В обзорной статье проанализированы 114 отечественных и зарубежных публикаций, приведены данные о том, что дисфункция митохондрий играет важную роль в инициации и развитии атеросклероза. Подробно рассмотрены такие аспекты проблемы, как механизм оксидативной дисфункции митохондрий, образование реактивных форм кислородных радикалов, регуляция их образования и их «мишени», механизмы васкулярной дисфункции и атеросклероза, связанные с нарушениями функций митохондрий, образованием свободных радикалов, и роль митохондриальной дисфункции с различными факторами риска развития атеросклероза.

Ключевые слова: атеросклероз, митохондрии, свободные радикалы.

MOLECULAR BASES OF ATEROGENESIS

P.A. Storozhenko, Professor, General Director, GNIICHTEOS, *chteos@yanex.ru*

M.M. Rasulov, Head of Department, GNIICHTEOS, Ph.D., Professor, *maksud@bk.ru*

I.V. Zhigacheva, Leading Researcher, FSBUN Institute of Biochemical Physics N.M. Emanuel RAS, Ph. D., *zhigacheva@mail.ru*

V.M. Gukasov, Chief Scientific Officer, SRI FRCEC, Ph. D., *v_m_gukasov@mail.ru*

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

The review article provides evidence that mitochondrial dysfunction plays an important role in the initiation and development of atherosclerosis. Such aspects as the mechanism of mitochondrial oxidative dysfunction, the formation of reactive forms of oxygen radicals, the regulation of their formation and their «targets», the mechanisms of vascular dysfunction and atherosclerosis associated with mitochondrial dysfunction, the formation of free radicals and the role of mitochondrial dysfunction with various risk factors for atherosclerosis.

Keywords: atherosclerosis, mitochondria, free radicals.

Известно, что атеросклероз (АТ) и его последствия являются основной причиной сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) и смертности в развитых странах мира, включая Россию. По оценкам ВОЗ, в 2016 г. от ССЗ умерли 17,9 млн человек, что составило 31 % всех случаев смерти в мире. В результате сердечных приступов и инсультов произошло 85 % этих смертей.

В России, по данным Росстата, смертность населения от болезней системы кровообращения на ноябрь – декабрь 2018 г. составила 46,3% от общей смертности, тогда как от новообразований – 15,9%; болезней органов пищеварения – 5,1%; болезней органов дыхания – 3,3%; некоторых инфекционных и паразитарных болезней – 1,8% [РОССТАТ: Информация о социально-экономическом положении России. М., 2018. № 12. С. 119]. Эти данные коррелируют с мировой статистикой по смертности в развитых странах.

Одной из причин развития атеросклероза сосудов является нарушение липидного обмена.

Высокий уровень липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) ассоциирован с повышенным риском болезней коронарных артерий [1, 2]. Оксидативная модификация ЛПНП и его транспорт в субэндотелиальное пространство сосудистой стенки в участках повреждения эндотелия считаются первыми событиями, инициирующими АТ [2]. Причиной оксидативной модификации ЛПНП является воздействие реактивных свободнорадикальных видов кислорода (РВК) и реактивных видов азота, производимого в клетках стенки сосудов и макрофагах с молекулами ЛПНП. В результате увеличенный оксидативный нитрозооксидативный стресс приводит к дисфункции эндотелия путем нарушения биоактивности эндотелиального оксида азота и вызывает процесс адгезии лейкоцитов, воспалительный процесс, тромбоз, пролиферацию клеток гладкой мускулатуры, т. е. процессы, существенно усложняющие течение АТ.

Из всех потенциальных источников постоянного образования РВК в физиологических условиях основными источниками являются митохондрии и нефагоцитарная NAD(P)H-оксидаза [3]. Увеличенная продукция РВК в митохондриях и наблюдающаяся при этом дисфункция ассоциируются с многими заболеваниями. Образцы аорты от пациентов с АТ имеют больше дефектов митохондриальной ДНК (мтДНК), чем образцы от доноров транспланта, близких по возрасту, без признаков АТ. Разрушения мтДНК не только коррелируют со степенью атеросклеротических повреждений у «нокаутированных» по гену аполипопротеина Е (апоЕ) мышей, но и предшествуют атерогенезу у молодых мышей с аналогичными генетическими характеристиками. Дисфункции митохондрий, связанные с дефектностью марганцевой супероксиддисмутазы (СОД₂), увеличенные повреждения мтДНК и ускорение процесса АТ у апоЕ-нокаутированных мышей согласуются с тем положением, что увеличенная продукция РВК и разрушения ДНК в митохондриях являются одними из ранних событий при инициации АТ. Очевидно, что дисфункция митохондрий играет важную роль в инициации и развитии АТ.

Анализ публикационной активности в международной базе данных показывает рост интереса к данной проблеме.

Анализируемый период показывает, что количество публикаций, касающихся обмена веществ в митохондриях в норме и при развитии АТ, неуклонно растет. По ключевым словам: Atherosclerosis AND mitochondrial AND dysfunction – оно увеличилось в 16,2 раза (с 248 до 4013), Atherosclerosis AND mitochondrial – в 9,6 раза (с 636 до 6137), Atherosclerosis AND free AND radicals – в 2,7 раза (с 1983 до 5339) (рис. 1).

По библиометрическим данным, активное изучение свободных радикалов в контексте влияния на развитие АТ началось с 1989 г., митохондрий – с 1994 г., а дисфункции митохондрий – с 1998–1999 гг. Начиная с 2001 г. наиболее активно исследования развивались в сторону более подробного изучения функций митохондрий в связи с развитием АТ.

Что касается интереса к изучению рассматриваемой проблемы в различных странах, то наибольшее число публикаций, по всем комбинациям ключевых слов, ожидаемо отмечается в США, Китае, Италии, Англии и Германии (рис. 2). Например, на указанную дату поиска по ключевым словам: Atherosclerosis AND mitochondrial AND dysfunction – в США отмечено 12 045 публикаций, в Китае – 4917, в Италии – 2551, в Англии – 2425 и в Германии – 2045. В российских журналах, представленных в Scopus, найдено всего 326 публикаций. Данный факт свидетельствует об актуальности проблемы, но недостаточно активном ее изучении в отечественных исследованиях.

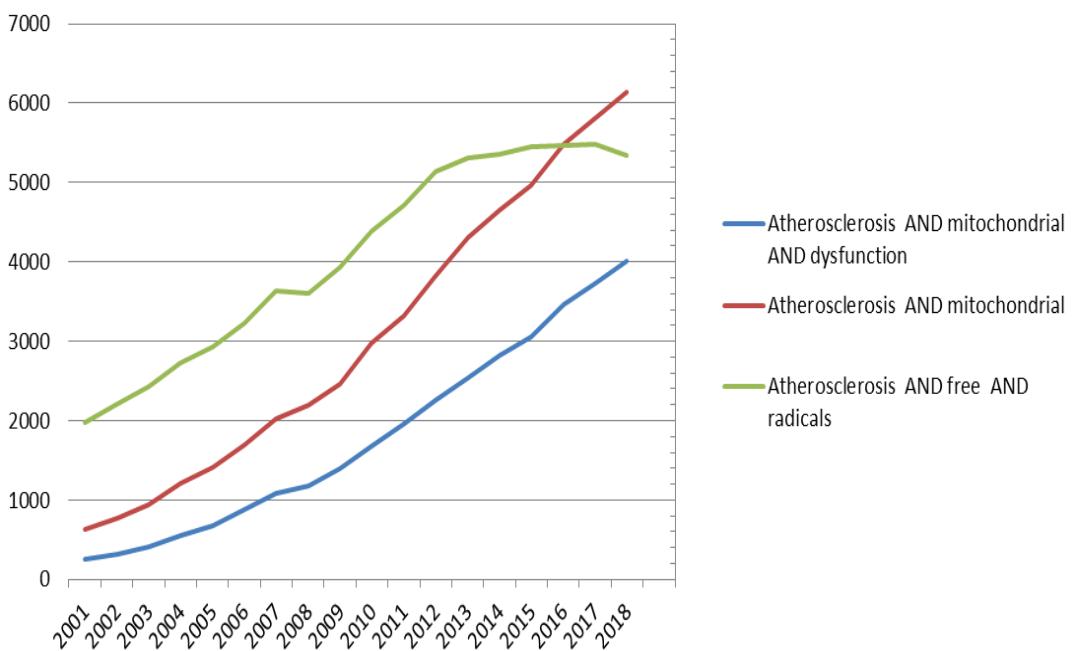


Рис. 1. Динамика публикационной активности в базе Scopus (на 23.03.2019) по ключевым словам: Atherosclerosis AND mitochondrial AND dysfunction, Atherosclerosis AND mitochondrial, Atherosclerosis AND free AND radicals – за период 2001–2018 гг.

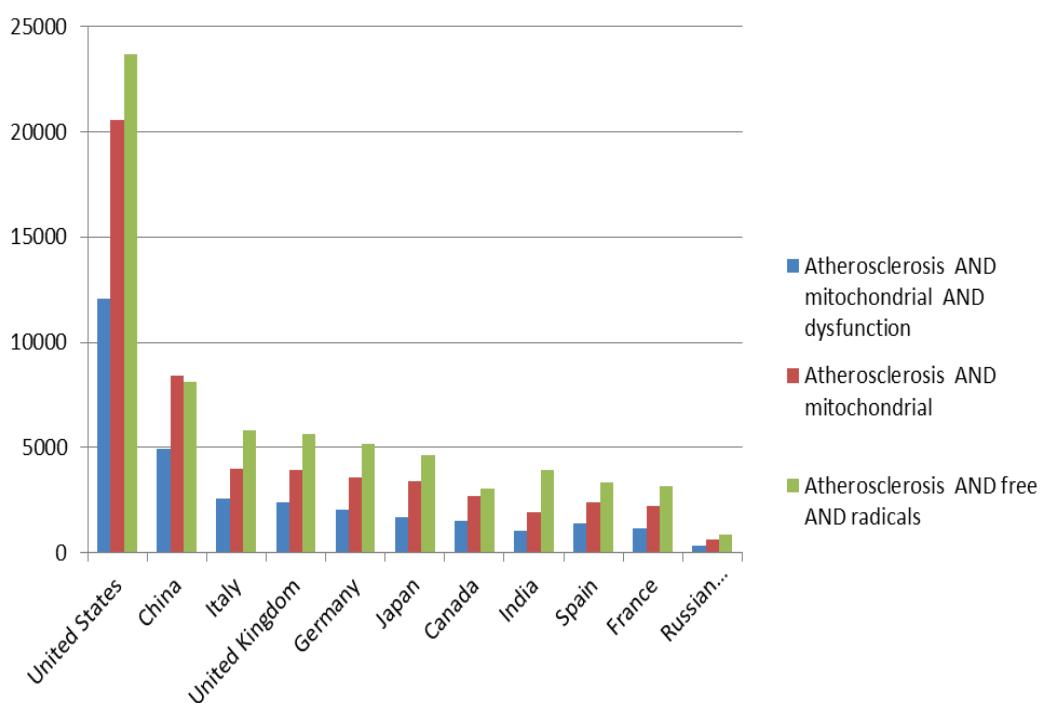


Рис. 2. Распределение по странам публикаций в базе Scopus (на 23.03.2019) по ключевым словам: Atherosclerosis AND mitochondrial AND dysfunction, Atherosclerosis AND mitochondrial, Atherosclerosis AND free AND radicals

Динамика патентной активности также показывает неуклонный рост регистрации достижений в сфере изучения развития АТ в связи с обменом веществ в митохондриях, их функциональным состоянием и свободными радикалами (рис. 3). Патентование достижений в сфере исследований свободных радикалов в контексте развития АТ началось значительно раньше, чем в других направлениях: первый патент был зарегистрирован в 1959 г., тогда как в области исследования митохондрий первые патенты появились только в 1979–1983 гг. Максимальная активность патентования была зарегистрирована в 2017 г. по ключевым словам: Atherosclerosis AND mitochondrial AND dysfunction – 865 (с 2001 г. увеличение составило 19,6 раз), Atherosclerosis AND mitochondrial – 1426 (в 8,3 раза), Atherosclerosis AND free AND radicals – 3022 (в 4,7 раза).

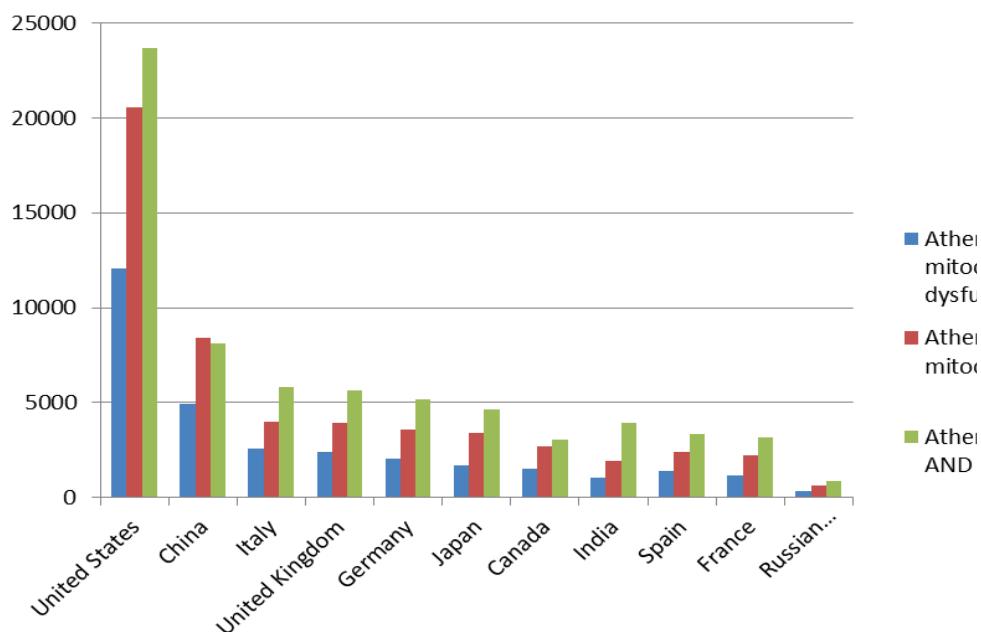


Рис. 3. Динамика патентной активности в базе Scopus (на 23.03.2019) по ключевым словам: Atherosclerosis AND mitochondrial AND dysfunction, Atherosclerosis AND mitochondrial, Atherosclerosis AND free AND radicals – за период 2001–2018 гг.

Окислительное фосфорилирование

РВК продуцируется в процессе функционирования окислительно-восстановительной дыхательной цепи (ДЦ) митохондрий, функционирование которой и обеспечивает большую часть энергии, необходимой для жизнедеятельности клетки и организма. ДЦ состоит из пяти мульти-subъединичных комплексов, встроенных во внутреннюю митохондриальную мембрану. Электроны транспортируются от NADH к молекулярному кислороду через электрон-транспортную цепь (ЭТЦ), состоящую из ферментно-белковых комплексов: I (NADH-дегидрогеназа), II (сукцинат-убихинон-оксидоредуктаза), III (убиквинол-цитохром-оксидоредуктаза) и IV (цитохром-С-оксидаза). Электроны по электрон-транспортной цепи митохондрий передаются на комплекс I от NADH или к комплексу II (минута I) от сукцинатов, затем передается на убихинон через коэнзим Q и наконец поступает на убисемихинон. Убихинон передает электроны на комплекс III, который, в свою очередь, передает его на цитохром С. От цитохрома С электроны перемещаются к комплексу IV, где и происходит

окончательное восстановление молекулярного кислорода до воды. Энергия транспорта электронов по дыхательной цепи трансформируется в энергию электрохимического потенциала ($\Delta\psi$) на внутренней мемbrane митохондрий путем «выкачивания» протонов из матрикса в межмембранные пространство в месте расположения комплексов I, III и IV. Энергия электрохимического потенциала в ходе обратного движения протонов в матрикс при участии комплекса V (АТФ-синтазы) расходуется на синтез АТФ из ФДФ и фосфата. АТФ из матрикса обменивается на аденоzinифосфат (АДФ) из цитозоля с помощью адениннуклеотидтранслоказы (АНТ).

Это короткое введение в проблему необходимо для восприятия дальнейших сложнейших механизмов взаимосвязи биоэнергетических процессов митохондрий с комплексом обменных процессов в клетке. Установлено, что от 0,2 до 2,0% молекулярного кислорода, потребляемого митохондриями, восстанавливается путем переноса одного электрона из ЭТЦ с образованием супероксид-аниона (O_2^-) [4]. Все субъединицы комплекса II кодируются ядерными генами, в то время как субъединицы остальных четырех комплексов кодируются как ядерными, так и митохондриальными генами. МтДНК человека является циркулярной двухцепочечной молекулой, состоящей из 16 569 пар оснований и прикрепленной к внутренней мемbrane митохондрий. Большинство клеток человека содержат сотни митохондрий, а каждая митохондрия имеет от 5 до 10 копий мтДНК. В мтДНК содержится 13 генов, кодирующих полипептиды. Существенны для функционирования ЭТЦ гены 12S и 16S рибосомальных РНК (рРНК), гены для 22 транспортных РНК (тРНК), необходимых для синтеза белка в митохондриях.

Так как мтДНК лишена защитного действия гистонов и множества других механизмов reparации ДНК, присущих ядерному геному, а также есть факт локализации мтДНК проксимально к месту генерации РВК (на внутренней мемbrane митохондрий), она особенно подвержена мутагенному воздействию РВК. В свою очередь, мутации мтДНК и/или дисфункция митохондрий прямо ассоциируются с нарушениями в сердечно-сосудистой системе (ССС). Атеросклеротическая окклюзия коронарных артерий с последующей реперфузией ассоциируются с существенным повышением нарушений целостности мтДНК и соответствующим компенсаторным увеличением экспрессии генов белков ЭТЦ. Действительно, сердце больного с болезнями коронарной артерии имеет в 8–200 раз больше делеций мтДНК, чем сердца здоровых индивидуумов такого же возраста. Нарушения целостности мтДНК, в свою очередь, ведут к повышенной продукции РВК и атерогенезу. Например, мутации в гене комплекса I прямо ведут к повышенной продукции РВК митохондриями.

Продукция РВК в митохондриях

В ЭТЦ митохондрий комплекс IV аккумулирует все частично восстановленные интермедиаты до полного восстановления кислорода [5]. Через другие комплексы электроны могут постепенно на том или ином уровне «просачиваться» к кислороду, частично заряжая эту молекулу до O_2^- . Комплексы I и III являются первичными источниками продукции O_2^- в митохондриях [5]. Супероксид выделяется в матрикс комплексом I, в то время как комплекс III выделяет его как в матрикс, так и в межмембранные пространство. Продукция РВК зависит от метаболического состояния митохондрий. Например, продукция O_2^- интенсивнее происходит в условиях низкой скорости протекания электронов по ЭТЦ и низкого синтеза АТФ, низкого уровня АДФ, высокого значения соотношения NADH/NAD⁺ (состояние IV дыхания митохондрий). Сниженная продукция происходит в обратных условиях – высокой скорости электронов, быстрого синтеза АТФ, частичной деполяризации и сниженного соотношения пары NADH/NAD⁺ (состояние III дыхания митохондрий). В отсутствие АДФ электроны, полученные от сукцината (связанный с FADH₂ субстрат, поступающий прямо на комплекс II ЭТЦ), могут течь в противоположном направлении к комплексу I, вызывая ускоренную продукцию O_2^- , и в связи с этим комплекс I признан основным физиологически и патологически важным РВК-генерирующим участком в митохондриях.

Супероксид-анионы в митохондриальном матриксе быстро дисмутируют в перекись водорода (H_2O_2) с помощью марганцевой супероксиддисмутазы (СОД₂), в то время как в межмембранном пространстве эта реакция осуществляется Cu/Zn супероксиддисмутазой (Cu/Zn СОД₁). Перекись водорода может быть восстановлена до высокоактивного гидроксил-радикала в присутствии восстановленных переходных металлов. Однако в митохондриях перекись водорода восстанавливается до безвредной воды ферментами – каталазой или глутатионпероксидазой [4]. Глутатионпероксидаза катализирует 2-электронное восстановление H_2O_2 с помощью восстановленного глутатиона или других доноров водорода. Глутатион – это трипептид, состоящий из остатков глутамата, цистеина и глицина. Он синтезируется в цитоплазме и затем переносится в митохондрии. Процесс восстановления перекиси водорода с помощью восстановленного глутатиона превращает его в воду с образованием окисленного глутатиона. Окисленный глутатион вновь быстро восстанавливается глутатионредуктазой с использованием NAD(P)H в качестве субстрата. Однако, к сожалению, за исключением митохондрий сердца, каталаза не присутствует в митохондриях клеток других тканей [6].

Оксид азота (NO) также продуцируется в митохондриях и является важным модулятором образования O_2^- , так как ЭТЦ содержит несколько NO-реактивных металлов зависимых редокс-центров. В физиологических концентрациях NO вызывает активное потребление кислорода в митохондриях, ингибируя цитохром С-оксидазу в ходе обратимого процесса. Кроме того, NO подвергается реакции радикал-радикал с O_2^- в ходе нового лимитирующего диффузии процесса с образованием пероксинитрита ($ONO O_2^-$) – очень сильного оксиданта, способного необратимо модифицировать белки, инактивировать ферменты, разрушать ДНК и в общем нарушать целостность митохондрий [7].

Последние данные предполагают участие белка p66^{Shc} в продукции РВК в митохондриях [8]. Этот белок образует молекулярные комплексы с цитохромом С, как бы отбирает электроны, направляя их в побочные процессы образования O_2^- . P66^{Shc}, частично локализуясь в межмембранном пространстве, является мишенью нижнего уровня для белка p53 и необходим для увеличения продукции РВК, высвобождения цитохрома С, резкого снижения трансмембранных потенциала митохондрий и апоптоза. Однако p66^{Shc} не влияет на трансмембранный потенциал митохондрий в равновесных условиях, что показывает на наличие двух отчетливо выраженных функциональных состояний: неактивное базовое состояние и активное проапоптозное состояние. Было установлено, что митохондриальный p66^{Shc} существует в виде высокомолекулярных комплексов, включающих белки теплового шока митохондрий (mtHSP70). После получения проапоптозного сигнала p66^{Shc} – mtHSP70 комплекс дестабилизируется, высвобождая мономерный белок p66^{Shc}, который сразу взаимодействует с цитохромом С. Подтверждением такого механизма являются данные о том, что p66^{Shc} – клетки имеют сниженный базовый и индуцированный стрессом уровень РВК, что, по-видимому, связано со сниженным уровнем окислительного фосфорилирования митохондрий. То, что экспрессия p66^{Shc} может быть связана с функционированием сердечно-сосудистой системы, следует также из экспериментов на мышах. Показано, что p66^{Shc}–/– мыши защищены от РВК-зависимого, связанного с возрастом нарушения функций эндотелия, индуцируемого высоким содержанием жиров атеросклероза [9], а также от подверженности ишемии задних конечностей [10].

РВК, первоначально продуцируемая митохондриями или ферментами, например NAD(P)H-оксидазой в клетке, действует по механизму обратной связи, вызывая еще больший синтез оксид-радикалов кислорода в ходе процесса, названного «РВК-индукция продукции РВК» [11]. В миоцитах сердца фотодинамический запуск образования РВК в митохондриях приводит к последующему увеличению продукции РВК митохондриями через индукцию процессов, связанных с обеспечением проницаемости митохондрий [11]. Подтверждением наличия механизма РВК индуцируемой продукции РВК было наблюдение, что

индуцируемое ангиотензином II кардиопротекторное действие против повреждения ишемической реперфузией в миокарде крысы опосредуется увеличением продукции РВК. Защитный эффект ангиотензина II может быть снят путем обработки 5-гидроксидеканоатом (специфическим ингибитором АТФ-зависимых калиевых каналов) и апоцианином (ингибитором NAD(P)H оксидазы), кроме того, 5-гидроксидеканоат ингибировал индуцируемое ангиотензином II образование РВК.

Митохондрии как мишени воздействия РВК

Кроме того что митохондрии являются основным источником РВК, они сами страдают от сильного и продолжительного оксидативного стресса [13]. Окислительная модификация митохондриальных белков, липидов и, в особенности, митохондриальной ДНК приводит к неизбежной потере функций. Ферменты митохондрий и ферментные комплексы, чувствительные к ингибированию РВК, включают аконитазу, α -кетоглутарат-дегидрогеназу, пируват-дегидрогеназу и комплексы I, II и III. Оксидативное повреждение митохондриальной ДНК-полимеразы γ может понизить скорость репликации mtДНК и в конце концов привести к ингибированию окислительного фосфорилирования. Оксидативная инактивация АНТ-белка приводит к снижению окислительного фосфорилирования, к снижению уровня АТФ и к повреждению всех энергозависимых процессов в клетке [14]. Нитрование остатка Туг34 у СОД₂ приводит к инактивации фермента и, соответственно, к увеличению уровня 3-нитротирозиновых аддуктов указанного фермента, что коррелирует со снижением активности *in vivo*. Кардиолипин, фосфолипид, локализующийся исключительно во внутренней мембране митохондрий, представляет собой одну из ранних мишеней РВК либо в силу высокого содержания ненасыщенных жирных кислот, либо близости к ЭТЦ [15]. Этот фосфолипид играет важную роль в биоэнергетике митохондрий, так как он оптимизирует активность некоторых ферментных комплексов ЭТЦ и АНТ путем связывания с цитохромом С. Вызванное действием РВК окисление кардиолипина повреждает активность комплекса I [15] и вызывает индукцию высвобождения цитохрома С. Таким образом, оксидативная модификация белков и липидов с одновременным РВК-повреждением целостности mtДНК может сильно менять биоэнергетику клетки, вызывая патофизиологические процессы.

Регуляция продукции РВК митохондриями

Продукция РВК митохондриями регулируется целым комплексом факторов, таких как концентрация кислорода, эффективность ЭТЦ, доступность доноров электронов, включая NADH и FADH₂, а также активность «размыкающих» ЭТЦ белков (РЭТЦБ) и цитокинов [5, 18]. Продукция O₂ митохондриями увеличивается линейно с увеличением концентрации кислорода. Но это соотношение, связанное с образованием РВК, должно снижаться вместе с гипоксией. На самом деле наблюдается парадоксальное увеличение образования РВК митохондриями при умеренно гипоксических условиях. При гипоксических условиях образующийся при низких концентрациях NO может связываться и ингибировать цитохром-С-оксидазу, что приводит к снижению активности последующих комплексов ЭТЦ и к образованию O₂⁻ уже при низких концентрациях кислорода [5, 17]. Пероксинитрит может индуцировать образование O₂, ингибируя комплексы I и II ЭТЦ, ускоряя процесс накопления семиубихиона, что в результате приводит к апоптозу через активацию процессов, усиливающих проницаемость мембран митохондрий. Рамачандран с соавторами показали, что хроническая экспозиция к высоким концентрациям NO снижает активность и концентрацию дыхательных комплексов I, II и IV, и все это сопровождается увеличением уровня S-нитрозотиола в клетке, модификацией остатков цистеина и увеличением пула лабильного железа. Все это вместе однозначно указывает на то, что кислород и NO являются важнейшими регуляторами процесса митохондриального дыхания и продукции РВК.

Размыкающие ЭТЦ-белки (РЭТЦБ) являются еще одним важным набором физиологических регуляторов продукции РВК митохондриями [19]. Активация этих переносчиков ани-

нов внутренней мембранны стимулирует обратное «подтекание» ионов водорода в матрикс митохондрий, снижая мембранный потенциал митохондрий и продукцию РВК. Регуляторная роль РЭТЦБ в атерогенезе следует из экспериментов на мышах – показано, что трансплантация костного мозга от РЭТЦБ-2 дефектной мыши к ЛПНП-рецептору дефектной мыши явно увеличивает размеры атеросклеротических повреждений и увеличивает окраску нитротиазина в бляшках. В соответствии с этим наблюдением суперэкспрессия РЭТЦБ-2 ингибирует РВК-продукцию и апоптоз, индуцированный линоленовой кислотой и лизофосфатидилхолином [20]. Наоборот, увеличенная продукция O_2^- , гипертония и диетический атероскллероз наблюдались при индуцируемой экспрессии РЭТЦБ-1 в клетках гладкой мускулатуры аорты [21], что свидетельствовало в пользу тканеспецифического механизма действия различных РЭТЦБ. Супероксид, в свою очередь, активирует РЭТЦБ белки, снижая электрохимический потенциал мембранны митохондрий и продукцию O_2^- в реакциях регуляции по принципу обратной связи.

Дисфункция митохондрий и патофизиологические механизмы атероскллероза

Низкие значения максимального аэробного показателя являются сильными индикаторами смертности у субъектов с или без сердечнососудистых заболеваний (ССЗ) [22]. С практической точки зрения указанный критерий состояния сердечно-сосудистой системы при тестировании с помощью физических упражнений проявляется, в частности, слабой устойчивостью к физическим нагрузкам и/или невысокой производительностью труда. Независимо от наличия или отсутствия известных сердечных или легочных дисфункций или других заболеваний, обнаруженный простой диагностический показатель существенно коррелирует с повышенным риском смерти в течение 1 года. Экспрессия генов ЭТЦ координировано снижается и ассоциирована с признаком низкого «аэробного показателя» [23].

Увеличенная продукция РВК в митохондриях приводит к разрушению липидов, белков и мтДНК. Из всех этих компонентов мтДНК является наиболее чувствительным к физиологически значимому опосредованному РВК-разрушению. Преимущественное нарушение целостности мтДНК (выявленное путем сравнительного анализа с транскрипционно неактивным ядерным геном β -глобина), снижение в равновесном уровне кодированных мтДНК-мРНК-транскриптов, биосинтеза митохондриальных белков, мембранныго потенциала, суммарного уровня клеточной АТФ наблюдали в клетках гладкой мускулатуры сосудов (КГМС) и в клетках эндотелия экспонированных воздействию РВК в клеточной культуре. Конечный продукт пероксидного окисления липидов мембран, подозреваемый в патогенезе атероскллероза, – 4-гидроксиненал стимулирует КГМС-апоптоз через дисфункцию митохондрий и увеличенную продукцию РВК [24]. Наряду с этим показано, что увеличенная продукция РВК связана с гаплонедостаточностью изоформ СОД₂, сниженной активностью аконитазы как в базовых, так и в агонист-стимулирующих условиях, а также с увеличенной пролиферацией VSMC [25].

Очевидно, что дисфункция митохондрий является одной из причин повышенной подверженности ишемическому повреждению сосудов сердца – отчасти вследствие открытия комплекса контроля проницаемости пор (ККПП) [27]. Компонентами ККПП являются белок АНТ во внутренней мемbrane митохондрий, зависимый от электрохимического потенциала на мемbrane анионный канал на внешней мемbrane митохондрий, циклофилин Д в матриксе, а также ряд регуляторных белков и ферментов, таких как receptor бензодиазепина, гексокиназа и креатинкиназа [26]. Кратковременное открытие ККПП приводит к деполяризации мембранныго потенциала, в то время как длительное раскрытие приводит к разбужанию матрикса и к разрушению внешней мемbrane митохондрий. Затем происходит выброс проапоптозных молекул в межмембранные пространство, что приводит в конце концов к гибели клетки через каспас-зависимый и независимый механизмы. В соответствии с этим деполяризация митохондрий считается тесно связанной с индуцированным гипергликемией апоптозом эндотелиальных клеток аорты человека. Снижение активности АНТ, ассоцииро-

ванное с ишемией и с ингибирированием как АНТ-активности, так и окислительного фосфорилирования, явно наблюдаемых при реперфузии, очевидно вносят свой вклад в сердечную патологию. Сообщалось, что суперэкспрессия СОД₂ обеспечивает защиту от повреждений при ишемии/реперфузии [27], в то же время гетерозиготная дефицитность по этому ферменту препятствовала постишемическому восстановлению миокарда у мышей. Суммарно приведенные данные подтверждают важную роль функций митохондрий в защите от повреждений, вызванных ишемией/реперфузией.

Различные лекарственные средства являются ингибиторами энергетического метаболизма митохондрий и существенно увеличивают продукцию РВК митохондриями с последующим повреждением функции зависимой от эндотелия релаксации сосудов [28]. Ротенон (который ингибирует транспорт электронов в месте вовлечения в дыхательную цепь флавиновых мононуклеотидов) практически выключает ацетилхолин-индуцируемую и эндотелий-зависимую релаксацию каротидных артерий у мышей и крыс [28] и аорты кроликов. Сходным образом антимицин A (ингибирует транспорт электронов в участке цитохромов *b-c1*) и олигомицин (ингибирующий митохондриальную F1-АТФазу) ингибирует продукцию эндотелиальной NO в аорте кроликов [29]. Однако ротенон не влияет на васкулярную релаксацию, вызванную NO-донорами, из чего следует важная роль функциональной активности интактных митохондрий в продукции NO в эндотелиальных клетках. Вместе эти данные показывают, что дисфункция митохондрий повреждает аэробный показатель (дыхательный потенциал) и функциональность/устойчивость эндотелия и индуцирует VSMC-пролиферацию или апоптоз, приводя в конечном счете к атеросклерозу.

Дислипидия

Апоптозные клетки эндотелия, КГМС, Т-лимфоциты и макрофаги присутствуют в атеросклеротических бляшках [30], и их число существенно возрастает с увеличением АТ-повреждения. Это явно свидетельствует в пользу важной роли апоптоза в эрозии АТ-бляшки и ее разрушении. Оксленный ЛПНП (оксЛПНП) индуцирует апоптоз всех клеток, вовлеченных в атерогенез, а зависимые от митохондрий маршруты обмена веществ играют критическую роль в этом процессе. ОксЛПНП-индуцированный апоптоз эндотелиальных клеток умбрикальной вены человека (HUVEC) опосредуется дисфункцией мембранныго потенциала митохондрий и высвобождением цитохрома С в цитозоль, при этом супрессия апоптоза циклоспорином А (антиатерогенным агентом) коррелирует с процессом предотвращения митохондриальной дисфункции. Недавно было показано, что оксЛПНП индуцированный апоптоз клеток сосудов включает два отчетливых кальцийзависимых маршруты митохондрий [31]. Первый опосредован действием цистеиновой протеазы – кальпаина; высвобождением белкового фактора tBid (укороченная форма белка Bid – члена проапоптозного Bcl-2 семейства факторов); открытием митохондриальных РТР-пор; высвобождением цитохрома С в цитозоль с последующей активацией протеазы caspas-3. Второй маршрут опосредуется высвобождением апоптоз-индуцирующего фактора, который является циклоспорин-нечувствительным и каспас-независимым. Интересен факт обнаружения существенного стимулирующего действия O₂⁻ митохондриального происхождения на образование окисленных форм ЛПНП в опытах *in vitro* [32].

Макрофаги в развитом атеросклеротическом повреждении аккумулируют избытки свободного холестерина, который является мощным стимулятором смерти клеток [33]. Сильное «накачивание» перитонеальных макрофагов свободным холестерином способствует снижению мембранныго потенциала митохондрий, индуцирует высвобождение цитохрома С, активации caspas-9 и увеличению в клетке концентрации проапоптозного белкового фактора Bax [34].

ОксЛПНП стимулирует лизис макрофагов человека, вызывая дисфункцию митохондрий, а «гасители» пероксид-радикалов восстанавливают мембранный потенциал и предотвращают лизис макрофагов [35]. Более того, увеличение оксидативного стресса в митохондриях

четко проявляется в индукции транскрипции и экспрессии СОД₂ в макрофагах человека, инкубированных в присутствии оксЛПНП [36]. В соответствии с приведенным *in vitro* наблюдением активность СОД₂ и концентрация глутатиона выше в атеросклеротической интиме по сравнению с media аорты у кроликов с наследуемой гиперлипидемией, однако в то же время наблюдалась и обратная корреляция указанных факторов с размерами повреждений.

TUNAL-положительные ядрышки присутствовали в макрофагах атеросклеротической аорты данного вида, и экспозиция их с оксЛПНП индуцировала повышенный уровень апоптоза в макрофагах человека. Гиперхолестерolemия существенно увеличивала разрушение mtДНК и нитрирование белков гомогената сердца, что показывало важную роль риска факторов атеросклероза в индукции повреждения митохондрий и их дисфункцию. Число копий mtДНК в лейкоцитах является редокс-чувствительным и низким у пациентов с гиперлипидемией [37].

Таким образом, актуальность рассматриваемой проблемы очевидна. Это подтверждается статистическими данными о ССЗ как об основной причине смертности.

Анализ, представленный в обзоре основных научных источников (всего было использовано 114 научных источников) показывает, что вызванные дислипидемией повреждения и дисфункция митохондрий не только вызывают образование атеросклеротических повреждений, но также влияют на состав/прогрессию повреждений. Интерес к данной проблеме подтверждается ростом публикационной активности. Исходя из анализа библиометрических данных в Scopus, наиболее активно по этой проблеме публикуются исследователи из США и Китая. Динамика патентной активности также показывает неуклонный рост регистрации достижений в сфере изучения развития атеросклероза в связи с обменом веществ в митохондриях, их функциональным состоянием и свободными радикалами.

Список литературы (References)

1. WHO bulletin (2016), Vol. 94, pp. 440–447.
2. Rasulov M., Namakanov B., Storozhenko P. (2017) Adaptive processes of cardiovascular system in arterial hypertension. Lambert Academic Publishing, reha gmbh, 66111, Saarbrucken, 206 p.
3. Sorescu D., Griendling K.K. (2002) Reactive oxygen species, mitochondria, and NAD(P)H oxidases in the development and progression of heart failure // Congest Heart Fail. 8: 132–140.
4. Chance B., Sies H., Boveris A. (1979) Hydroperoxide metabolism in mammalian organs // Physiol Rev. 59: 527–605.
5. Turrens J.F. (2003) Mitochondrial formation of reactive oxygen species // J Physiol. 552: 335–344.
6. Phung C.D., Ezieme J.A., Turrens J.F. (1994) Hydrogen peroxide metabolism in skeletal muscle mitochondria // Arch Biochem Biophys. 315: 479–482.
7. Radi R., Cassina A., Hodara R. (2002) Nitric oxide and peroxynitrite interactions with mitochondria // Biol Chem. 2002; 383: 401–409.
8. Giorgio M., Migliaccio E., Orsini F., at all. (2005) Electron transfer between cytochrome c and p66Shc generates reactive oxygen species that trigger mitochondrial apoptosis // Cell. 122: 221–233.
9. Napoli C., Martin-Padura I., de Nigris F., at all. (2003) Deletion of the p66Shc longevity gene reduces systemic and tissue oxidative stress, vascular cell apoptosis, and early atherogenesis in mice fed a high-fat diet // Proc Natl Acad Sci USA. 100: 2112–2126.
10. Zaccagnini G., Martelli F., Fasanaro P., at all. (2004) P66ShcA modulates tissue response to hindlimb ischemia // Circulation. 109: 2917–2923.
11. Zorov D.B., Filburn C.R., Klotz L.O., at all. (2000) Reactive oxygen species (ROS)-induced ROS release: a new phenomenon accompanying induction of the mitochondrial permeability transition in cardiac myocytes // J Exp Med. 192: 1001–1014.

12. Kimura S., Zhang G.X., Nishiyama A., at all. (2005) Role of NAD(P)H oxidase- and mitochondria-derived reactive oxygen species in cardioprotection of ischemic reperfusion injury by angiotensin II // Hypertension. 45: 860–866.
13. Di Lisa F., Bernardi P. (2005) Mitochondrial function and myocardial aging. A critical analysis of the role of permeability transition // Cardiovasc Res. 66: 222–232.
14. Yan L.J., Sohal R.S. (1998) Mitochondrial adenine nucleotide translocase is modified oxidatively during aging // Proc Natl Acad Sci USA. 95: 12896–12901.
15. Paradies G., Petrosillo G., Pistolese M., at all. (2004) Decrease in mitochondrial complex I activity in ischemic/reperfused rat heart: involvement of reactive oxygen species and cardiolipin // Circ Res. 94: 53–59.
16. Droge W. (2002) Free radicals in the physiological control of cell function // Physiol Rev. 82: 47–95.
17. Cooper C.E., Davies N.A. (2000) Effects of nitric oxide and peroxynitrite on the cytochrome oxidase K(m) for oxygen: implications for mitochondrial pathology // Biochim Biophys Acta. 1459: 390–396.
18. Ramachandran A., Ceaser E., Darley-Usmar V.M. (2004) Chronic exposure to nitric oxide alters the free iron pool in endothelial cells: role of mitochondrial respiratory complexes and heat shock proteins // Proc Natl Acad Sci USA. 101: 384–389.
19. Casteilla L., Rigoulet M., Penicaud L. (2001) Mitochondrial ROS metabolism: modulation by uncoupling proteins // IUBMB Life. 52: 181–188.
20. Lee K.U., Lee I.K., Han J., at all. (2005) Effects of recombinant adenovirus-mediated uncoupling protein 2 overexpression on endothelial function and apoptosis // Circ Res. 96: 1200–1207.
21. Bernal-Mizrachi C., Gates A.C., Weng S., at all. (2005) Vascular respiratory uncoupling increases blood pressure and atherosclerosis // Nature. 435: 502–506.
22. Kavanagh T., Mertens D.J., Hamm L.F., at all. (2003) Peak oxygen intake and cardiac mortality in women referred for cardiac rehabilitation // J Am Coll Cardiol. 42: 2139–2143.
23. Mootha V.K., Lindgren C.M., Eriksson K.F., at all. (2003) PGC-1alpha-responsive genes involved in oxidative phosphorylation are coordinately downregulated in human diabetes // Nat Genet. 34: 267–273.
24. Leonarduzzi G., Chiarpotto E., Biasi F., Poli G. (2005) 4-Hydroxynonenal and cholesterol oxidation products in atherosclerosis // Mol Nutr Food Res. 49: 1044–1049.
25. Madamanchi N.R., Moon S.K., Hakim Z.S., at all. (2005) Differential activation of mitogenic signaling pathways in aortic smooth muscle cells deficient in superoxide dismutase isoforms // Arterioscler Thromb Vasc Biol. 25: 950–956.
26. Weiss J.N., Korge P., Honda H.M., Ping P. (2003) Role of the mitochondrial permeability transition in myocardial disease // Circ Res. 93: 292–301.
27. Chen Z., Siu B., Ho Y.S., at all. (1998) Overexpression of MnSOD protects against myocardial ischemia/reperfusion injury in transgenic mice // J Mol Cell Cardiol. 30: 2281–2289.
28. Csiszar A., Labinsky N., OROSz Z., Ungvari Z. (2006) Altered mitochondrial energy metabolism may play a role in vascular aging // Med Hypotheses. 67: 904–908.
29. Griffith T.M., Edwards D.H., Newby A.C., at all. (1986) Production of endothelium derived relaxant factor is dependent on oxidative phosphorylation and extracellular calcium // Cardiovasc Res. 20: 7–12.
30. Mallat Z., Tedgui A. (2000) Apoptosis in the vasculature: mechanisms and functional importance // Br J Phar-macol. 130: 947–962.
31. Mabile L., Meilhac O., Escargueil-Blanc I., at all. (1997) Mitochondrial function is involved in LDL oxidation mediated by human cultured endothelial cells // Arterioscler Thromb Vasc Biol. 17: 1575–1582.
32. Lundberg B. (1985) Chemical composition and physical state of lipid deposits in atherosclerosis // Atherosclerosis. 56: 93–110.
33. Yao P.M., Tabas I. (2001) Free cholesterol loading of macrophages is associated with widespread mitochondrial dysfunction and activation of the mitochondrial apoptosis pathway // J Biol Chem. 276: 42468–42476.
34. Asmis R., Begley J.G. (2003) Oxidized LDL promotes peroxide-mediated mitochondrial dysfunction and cell death in human macrophages: a caspase-3-independent pathway // Circ Res. 92: e20–e29.

35. Kinscherf R., Deigner H.P., Usinger C., at all. (1997) Induction of mitochondrial manganese superoxide dismutase in macrophages by oxidized LDL: its relevance in atherosclerosis of humans and heritable hyperlipidemic rabbits // FASEB J. 11: 1317–1328.
36. Liu C.S., Tsai C.S., Kuo C.L., at all. (2003) Oxidative stress-related alteration of the copy number of mitochondrial DNA in human leukocytes // Free Radic Res.; 37: 1307–1317.
37. Liu C.S., Kuo C.L., Cheng W.L., at all. (2005) Alteration of the copy number of mitochondrial DNA in leukocytes of patients with hyperlipidemia // Ann N Y Acad Sci. 1042: 70–75.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-89-94

МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РОССИИ И МИРЕ

M.V. Демченко, зам. рук. деп. ФГБОУ ВО Финансовый университет
при Правительстве РФ (Финуниверситет), *MVDemchenko@fa.ru*

Рецензент: И.И. Ромашкова

Целью исследования является анализ правового регулирования развития экологического предпринимательства в России и мире, определение основных моделей его функционирования. Предмет исследования составляют мнения российских и зарубежных ученых об экологическом предпринимательстве и положения нормативных правовых актов в этой области. В работе применен комплекс общенаучных и частных методов исследования. Достоверность и обоснованность результатов, полученных в ходе исследования, достигается за счет комплексного применения методов исследования в их взаимосвязи и взаимообусловленности.

В результате исследования получены научные результаты, в частности проанализированы определения экологического предпринимательства, дана характеристика правового регулирования экологического предпринимательства в отдельных зарубежных странах, определены направления его развития в России. Новизна результатов работы обуславливается комплексным, системным подходом к исследованию основных направлений развития экологического предпринимательства. Результаты могут быть использованы в процессе совершенствования правового регулирования развития экологического предпринимательства в современной России. Теоретическая значимость исследования определяется возможностью использования результатов работы для дальнейшего исследования рассматриваемых правоотношений.

Ключевые слова: экологическое предпринимательство, законодательство об экологическом предпринимательстве, модели экологического предпринимательства, экологическая продукция.

DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP IN RUSSIA AND THE WORLD

M.V. Demchenko, Deputy Head of Department, Financial University under the Government of the Russian Federation, *MVDemchenko@fa.ru*

The purpose of the study is to analyze the legal regulation of the development of environmental entrepreneurship in Russia and the world, to determine the basic models of its functioning. The subject of the research is the opinions of Russian and foreign scientists on environmental entrepreneurship and the provisions of regulatory legal acts in this area.

The methodological basis of the study is a complex of general scientific (analysis, synthesis, deduction, induction) and private methods of cognition. The reliability and validity of the results obtained during the study is achieved through the integrated application of research methods in their relationship and interdependence.

As a result of the research, scientific results were obtained, in particular, the definitions of environmental entrepreneurship were analyzed, the characteristic of legal regulation of environmental entrepreneurship in certain foreign countries was given, the directions of its development in Russia were determined. The novelty of the results of the work is due to an integrated, systematic approach to the study of the main directions of development of environmental entrepreneurship. The results can be used in the process of improving the legal regulation of the development of environmental entrepreneurship in modern Russia. The theoretical significance of the study lies in the possibility of using the results of the study to develop the science of business law and social security law in Russia.

Keywords: environmental entrepreneurship, legislation on environmental entrepreneurship, models of environmental entrepreneurship, environmental products.

Предпринимательство в современных экономических условиях является драйвером развития экономики и обеспечения конкурентоспособности государства во внешнеэкономической деятельности. Предпринимательство сегодня ориентировано на многие направления производства товаров, оказания услуг. Появляются новые формы предпринимательства, новые сферы его применения. Государство отмечает заинтересованность в развитии предпринимательства, особенно малого и среднего бизнеса [1].

В связи с этим немаловажную роль играют изучение и анализ новых форм предпринимательской деятельности, особое место в числе которых занимает экологическое предпринимательство. Оно, как небезосновательно отмечается на страницах специальной литературы, тесно связано с решением экономических, социальных и других задач [2, с. 13–25].

Методика исследования

Объект исследования – общественные отношения, возникающие в процессе развития экологического предпринимательства в России и отдельных зарубежных странах. Предмет исследования – мнения российских и зарубежных ученых об экологическом предпринимательстве как объекте правового регулирования и о законодательстве в исследуемой сфере.

Эмпирическую базу исследования составили научные публикации отечественных и зарубежных ученых в области исследования экологического предпринимательства, а также нормативные правовые акты, регламентирующие отношения в области экологического предпринимательства.

В работе применен комплекс общенаучных и частных методов исследования. Достоверность и обоснованность результатов, полученных в ходе исследования, достигается за счет комплексного применения методов исследования в их взаимосвязи и взаимообусловленности.

Обсуждение

На сегодняшний день единое понимание термина «экологическое предпринимательство» в юридической науке не сформировалось.

Существуют различные вариации его определения. Так, С.В. Злобин понимает под экологическим предпринимательством предпринимательскую социально-значимую деятельность с «осознанным принятием на себя потенциального риска наступления невыгодных последствий в сфере производства продукции природоохранного назначения», заключающуюся «в проведении научно-исследовательской, кредитно-финансовой деятельности, выполнении экологически значимых работ и оказании услуг», направленную «на получение прибыли (дохода)» [3, с. 7–8]. Е.В. Вареникова определяет экологическое предпринимательство как инициативную хозяйственную деятельность с элементами экологических инноваций для достижения максимальной прибыли и положительного экологического эффекта [4, с. 71–77]. По мнению Т.М. Федоровой, экологическое предпринимательство связывается с такими видами предпринимательской деятельности, результатом которых является улучшение качества окружающей природной среды [5, с. 123].

Разнообразие определений экологического предпринимательства объясняется отсутствием законодательного закрепления его определения.

Не вдаваясь в анализ указанных определений (тем более что в настоящее время их сформулировано немалое количество), отметим, что авторы в большинстве связывают такое предпринимательство с определенным положительным экологическим эффектом.

Наиболее емко, по нашему мнению, определение экологического предпринимательства приведено в работе А.В. Баркова и Я.С. Гришиной, которые определяют экологическое предпринимательство как экономическую деятельность, нацеленную на обеспечение экологической безопасности, рациональное использование природных ресурсов, охрану окружающей среды, прибыль от которой реинвестируется в разрешение социально-экологических проблем [6, с. 4–8].

Законодатель же не дает определения экологическому предпринимательству, не устанавливает и критерии отнесения лица к субъектам такого предпринимательства.

В качестве законодательного ориентира в определении экологического предпринимательства необходимо упомянуть Модельный закон об основах экологического предпринимательства [7]. Согласно ст. 3 указанного Закона экологическое предпринимательство включает в себя производственную, научно-исследовательскую и кредитно-финансовую деятельность по производству товаров, выполнению работ и оказанию услуг, которая имеет свое целевое назначение – сохранение и восстановление окружающей среды и охрану природных ресурсов. Данное определение может быть взято за основу разработки положений об экологическом предпринимательстве в национальном законодательстве России. Однако «...в России, несмотря на принятие в 2000 г. на Межпарламентской ассамблее государств – участников СНГ Модельного закона об основах экологического предпринимательства, данный вид предпринимательства до сих пор не легализован, что затрудняет его развитие» [6, с. 4–8].

В целях исследования обратимся к регулированию экологического предпринимательства в зарубежных странах как наиболее прогрессивных в этом направлении в настоящий момент и к тем моделям экологического предпринимательства, которые известны зарубежной практике.

Впервые вопросы экологического предпринимательства нашли отражение в работе, опубликованной в *Harvard Business Review* 1971 г. [8, с. 120–131]. В ней отмечается, что «...экологическое движение может предоставить возможности для появления новых выгодных рынков и расширения бизнеса, а не только угрозу для экономической деятельности» [2, с. 13–25].

В зарубежных странах развитие экологического предпринимательства началось с конца 70-х – начала 80-х гг. XX в. Оно стартовало в Соединенных Штатах Америки и в странах Европы. Итогом начала развития экологического предпринимательства стало создание Всемирной промышленной конференции по экологическому управлению.

В дальнейшем в рамках инициативы Международной торговой палаты в 1995 г. был создан Всемирный Совет бизнеса по устойчивому развитию. Он стал уделять внимание привлечению предпринимательства для решения экологических вопросов.

В настоящий момент общепризнанными лидерами по использованию природоохранных технологий и экспорту экологически ориентированных продуктов и технологий являются США и страны Западной Европы. Как отмечается, «...только на Германию приходится 43 % экологических патентов на продукцию и товары, пользующиеся спросом во всех странах. Объем продукции, производимой на экологическом рынке, по оценкам некоторых специалистов, оценивается от 600 млрд до 2 трлн долл., а темп роста составляет от 5,5 до 7,0 % в год» [9, с. 182].

Что касается конкретных моделей экологического предпринимательства, то они развиваются в различных странах с учетом сложившейся правовой системы и особенностей экономики. Так, в США одним из направлений функционирования экологического предпринимательства является использование чистых источников электроэнергии. По такому же пути

пошли и иные страны, в частности Норвегия, Швейцария, Испания, а также Канада и Новая Зеландия. Такая модель экологического предпринимательства будет развиваться, так как «...экономический потенциал ветроэнергетики будет увеличиваться в связи с подорожанием традиционного топлива и удешевлением оборудования для ветроэнергетических установок» [9, с. 186].

Отдельное направление развития экологического предпринимательства в США – производство экологически безопасных продуктов, в которых отсутствуют какие-либо химические удобрения или иные вредные добавки. Для потребителя ориентиром в определении экологически чистой продукции является специальная экологическая маркировка, требования к которой установлены федеральными законами.

Отдельная модель экологического предпринимательства связана с системой управления отходами. Она получила развитие в Канаде под названием: «расширенная ответственность производителя». Производитель или импортер товара принимает на себя ответственность за утилизацию произведенной или ввезенной продукции в конце ее жизненного цикла. Такое правило действует и в России, оно закреплено в Федеральном законе от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

Примечательно, что в Канаде, как, впрочем, и в некоторых других странах, определена стратегия вторичного использования отходов, а не их захоронения, что является важным направлением развития и государства, и этого направления экологического предпринимательства.

В европейских странах экологическое предпринимательство представляет собой отдельный элемент экономики, который направлен не только на достижение положительного экологического эффекта, но и на получение прибыли. При этом в данной области устанавливаются определенные законодательные правила. Например, в Германии еще в 1991 г. было принято постановление правительства, в соответствии с которым граждане обязывались сортировать использованную упаковку для ее дальнейшей переработки и повторного использования. Финансирование же этого процесса было возложено на производителей.

Как отмечается, правительство предложило производителям, расфасовщикам и распространителям упаковки создать вторую (дуальную) систему утилизации отходов в дополнение к существующей коммунальной системе [9, с. 187]. Каждый участник дуальной системы размещает на упаковке своей продукции специальный знак «Зеленая точка» (нем. Der Grüne Punkt), который означает, что производитель или импортер оплачивает переработку и утилизацию отходов использованной упаковки товаров. В России не настолько развита программа утилизации отходов, поэтому такой знак у нас в стране не имеет силы, а организации, ставящие его на упаковку своей продукции, зачастую вводят покупателя в заблуждение относительно экологической безопасности продукта.

Введение дуальной системы позволило вернуть «...в цехи производства и использования 47 млн тонн упаковочных отходов, что способствовало созданию значительного числа субъектов экологического бизнеса, занимающихся сбором, сортировкой, утилизацией отходов, а также росту производств, выпускающих продукцию из отходов упаковки» [9, с. 187]. В настоящее время в систему «Зеленой точки» входит уже более 30 стран.

Примечателен и опыт Японии в развитии моделей экологического предпринимательства. В Японии экологическое предпринимательство связано как с производством оборудования для уменьшения негативного влияния на окружающую среду, так и с производством экологически безопасной продукции. Пример экологического предпринимательства, широко развитого в Японии, – производство автомобилей с электрическим двигателем, производство различной экологосберегающей продукции, что, впрочем, сейчас характерно и для США, и для некоторых стран Европы.

В контексте материала статьи стоит отметить, что в последнее время некоторые работы в области предмета исследования касаются отдельных регионов России [10, с. 116–123],

рационального природопользования и ключевых вопросов перехода России к «зеленой экономике» [11, с. 113–120], размещения экологических инфраструктурных объектов [12, с. 77–88] и других аспектов, не менее важных с точки зрения обеспечения развития экологического предпринимательства с позиции различных отраслей науки.

Что касается моделей развития экологического предпринимательства в России, то ориентиром для разработки и регулирования экологического предпринимательства может выступать Модельный закон об основах экологического предпринимательства как основа для формирования полноценного национального законодательства в области как экологического предпринимательства, так и определения моделей его осуществления.

Заключение

Опираясь на определение экологического предпринимательства, данное в указанном Модельном законе, можно констатировать, что оно будет развиваться по таким видам деятельности, как производственная, научно-исследовательская, кредитно-финансовая, направленная на производство товаров, выполнение работ и оказание услуг и иметь целевым назначением обеспечение сохранения и восстановления окружающей среды и охрану природных ресурсов.

Статья выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (проект № 18-011-00792 А).

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 02.06.2016 № 1083-р (ред. от 30.03.2018) «Об утверждении Стратегии развития малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации на период до 2030 года» (вместе с Планом мероприятий («дорожной картой») по реализации Стратегии развития малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации на период до 2030 года) // СЗ РФ. 13.06.2016. № 24. Ст. 3549.
2. Ершова Т.В., Гаффорова Е.Б., Хамдамов Ж.Х. Теоретические предпосылки возникновения и развития концепции экологического предпринимательства // Современная конкуренция. 2016. Т. 10. № 4 (58). С. 13–25.
3. Злобин С.В. Правовое регулирование экологического предпринимательства в РФ: автореф. дис. ... канд. юрид. наук. Волгоград, 2011. С. 7–8.
4. Варенникова Е.В. Экологически ориентированное и экологическое предпринимательство как экономические категории // Управление экономическими системами: Электронный научный журнал. 2011. № 28. С. 71–77.
5. Федорова Т.М. Механизм управления развитием государственного экологического предпринимательства // Социально-экономические явления и процессы. 2012. № 2. С. 123.
6. Барков А.В., Гришина Я.С. Методологические основы конструирования российской модели правового обеспечения экологического предпринимательства // Гражданское право. 2018. № 4. С. 4–8.
7. Модельный закон об основах экологического предпринимательства (Принят в г. Санкт-Петербурге 13.06.2000 Постановлением № 15-6 на 15-м пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ) // Инф. бюл. Межпарламентская Ассамблея государств – участников Содружества Независимых Государств. 2000. № 25. С. 143–152.
8. Quinn J.B. Next Big Industry: Environmental Improvement // Harvard Business Review. 1971, September – October, P. 120–131.
9. Уразова Л.П. Зарубежный опыт развития экологического предпринимательства // Тр. Псковского политех. ин-та. 2008. № 11.2. С. 182–188.
10. Самсонов Н.Ю., Крюков Я.В., Яценко В.А., Толстов А.В. Редкоземельное сырье томтора: есть ли компромисс между экологией и социально-экономическими эффектами? // Инноватика и экспертиза. 2018. Вып. 1 (22). С. 116–123.
11. Питулько В.М., Илющенко Р.Р. Рациональное природопользование и ключевые вопросы перехода России к «зеленой экономике» // Инноватика и экспертиза. 2017. Вып. 3 (21). С. 113–120.

12. Колесников И.Ю., Морозов В.Н., Татаринов В.Н., Татаринова Т.А. Напряженно-деформированное энергетическое районирование геологической среды для размещения экологических инфраструктурных объектов // Инноватика и экспертиза. 2017. Вып. 2 (20). С. 77–78.

References

1. The decree of the RF Government dated 02.06.2016 No. 1083-R (edition of 30.03.2018) «On approval of Strategy of development of small and medium enterprises in the Russian Federation for the period till 2030» (together with the action Plan (road map) for implementation of the Strategy of development of small and medium enterprises in the Russian Federation for the period till 2030). C3 the Russian Federation. 13.06.2016. P. 24. 3549.
2. Ershova T.V., Gafforova E.B., Khamdamov Zh.H. Theoretical prerequisites for the emergence and development of the concept of environmental entrepreneurship. Modern competition. 2016. T. 10. No. 4 (58). P. 13–25.
3. Zlobin S.V. Legal regulation of ecological entrepreneurship in the Russian Federation: abstract of Doctorate at the faculty of law sciences. Volgograd. 2011. P. 7–8.
4. Varennikova E.V. Ecologically oriented and ecological entrepreneurship as economic categories. Management of economic systems: Electronic scientific journal. 2011. No. 28. P. 71–77.
5. Fedorova T.M. Mechanism of management of development of the state ecological business. Socio-economic phenomena and processes. 2012. No. 2. P. 123.
6. Barkov A.V., Grishina Ya.S. Methodological bases of construction of the Russian model of legal support of ecological entrepreneurship. Civil law. 2018. No. 4. P. 4–8.
7. Model law on the basics of environmental entrepreneurship (Adopted in St. Petersburg 13.06.2000 Resolution No. 15-6 at the 15th plenary session of the Interparliamentary Assembly of CIS member States) / Inf. bull. Interparliamentary Assembly of the Commonwealth of Independent States. 2000. No. 25. P. 143–152.
8. Quinn J.B. The Next Big Industry: Environmental improvement. Harvard Business Review. 1971. September – October, P. 120–131.
9. Urazova L.P. Foreign experience of development of ecological entrepreneurship, in: proc. Pskov Polytechnic Institute. 2008. No. 11.2. P. 182–188.
10. Samsonov N.Yu., Kryukov Ya.V., Yatsenko V.A., Tolstov A.V. Rare Earth raw materials of the reactor: is there a compromise between ecology and socio-economic effects? Innovation and expert examination. 2018. Vol. 1 (22). P. 116–123.
11. Pitulko V.M., Ilyushenko R.R. Rational nature management and key issues of Russia's transition to a «green economy». Innovatika and expert examination. 2017. Vol. 3 (21). P. 113–120.
12. Kolesnikov I.Yu., Morozov V.N., Tatarinov V.N., Tatarinova T.A. Stress-strain energy zoning of geological environment to host the environmental infrastructure facilities. Innovatika and expert examination. 2017. Vol. 2 (20). P. 77–78.

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-95-99

ПЕРЕСТРОЙКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ АКТИВАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е.П. Грабчак, дир. департ. Минэнерго России, канд. экон. наук,
Grabchak.eugene@gmail.com

Е.Л. Логинов, нач. сл. центра Минэнерго России, д-р экон. наук, проф. РАН,
дважды лауреат премии Правительства РФ, *evgenloginov@gmail.com*

А.К. Деркач, бакалавр Национального исследовательского Московского
государственного строительного университета, *derkachak@mail.ru*

Рецензент: Агеев А.И.

Цель статьи – рассмотрение проблем инвестиционного стимулирования экономического роста в России при реализации проекта цифровизации управления электро- и теплоэнергетическими активами с применением интеллектуальных киберфизических систем. Предмет исследования – организационные и информационные аспекты совершенствования управления электро- и теплоэнергетическим сектором в российской энергетике. Обоснована необходимость «выталкивания» экономики России из кризисной цикличности за счет инвестиционного стимулирования экономического роста. Как отраслевой драйвер экономического роста и приложения инвестиций предложен электро- и теплоэнергетический сектор в российской энергетике, так как именно в этом секторе формируются условия конкурентоспособности большинства российских бизнесов, которые являются энергозависимыми и часто – энергоемкими. Сформулированы основные направления цифровой перестройки всей системы управления электро- и теплоэнергетическими активами. Разработаны базовые принципы риск-ориентированного управления на базе интеллектуальных киберфизических систем. Результатом является автоматизированный контроль каждого рубля по цепочке технологических операций в процессе эксплуатации и ремонта, что обеспечит получение инвестиций из внутренних источников на цели модернизации.

Статья ориентирована на руководителей и специалистов органов госуправления и корпоративного менеджмента, а также может быть полезна научным работникам, аспирантам и студентам.

Ключевые слова: цифровая энергетика, инвестиции, киберфизические системы, цифровая топология, цифровые модели.

RESTRUCTURING OF THE MANAGEMENT SYSTEM OF ELECTRIC AND THERMAL POWER ASSETS WITH THE USE OF INTELLIGENT CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

E.P. Grabchak, Director of the Department, Ministry of Energy of Russia,
Doctor of Economics, *Grabchak.eugene@gmail.com*

E.L. Loginov, Head of Center, Ministry of Energy of Russia, Ph.D., Professor of the Russian Academy of Sciences, Twice winner of the RF Government Prize, *evgenloginov@gmail.com*

A.K. Derkach, Bachelor of National Research, Moscow State University of Civil Engineering, *derkachak@mail.ru*

The purpose of the article is to consider the problems of investment stimulation of economic growth in Russia during the implementation of the digitalization project for the management of electric and heat power assets using intelligent cyberphysical systems. The subject of the study is

the organizational and informational aspects of improving the management of the electric and heat energy sectors in the Russian energy sector. The necessity of “pushing” the Russian economy out of the crisis cycle due to investment stimulation of economic growth is substantiated. The electric and heat energy sector in the Russian energy sector has been proposed as a sectoral driver of economic growth and investment applications, since it is in this sector that competitive conditions for most Russian businesses are formed, which are energy-dependent and often energy-intensive. The main directions of digital restructuring of the entire system for managing electric and heat power assets are formulated. The basic principles of risk-based management based on intelligent cyber-physical systems are developed. The result is an automated control of each ruble along the chain of technological operations during operation and maintenance, which will ensure the receipt of investments from internal sources for the purpose of modernization.

The article is aimed at managers and specialists of government and corporate management bodies, and may also be useful for researchers, postgraduates and students.

Keywords: digital energy, investments, cyberphysical systems, digital topology, digital models.

Россия еще с советских времен, начиная со второй половины 80-х гг. XX в., находится в кризисной цикличности, где одни ключевые факторы, лежащие в основе кризисных явлений, сменяют другие. То есть один цикл кризиса сменяет другой, не позволяя экономике России выйти из кризиса.

Главный фактор нового типа кризиса – нехватка инвестиций, в первую очередь государственных, и одновременно уточнение приоритетности инфраструктурных проектов [1, с. 137].

Экономической моделью успешного развития развитых и новых индустриальных стран в последние 20 лет (США, Китай, Германия и пр.) является массированное инвестиционное стимулирование экономического роста (экономической активности) за счет эмиссии денежной массы в сочетании с мерами абсорбции инфляции.

Для вывода («выталкивания») экономики России из кризисной цикличности необходимо найти форму инвестиционного стимулирования экономического роста (экономической активности), которая балансирует бы инфляционные эффекты любыми другими факторами, по образу США (в США это оперирование ценами на реальные и виртуальные товары и услуги, ценами фондового рынка и пр., для России же нужен другой подход).

Новый вектор инвестиционной политики в экономике России

Сегодняшние экономические кризисные явления в России – это кризисные явления нового типа, так как причины ранее длившейся кризисной цикличности исчерпаны:

– переход России от централизованной распределительной экономики к экономике спроса и предложения состоялся;

– цены на нефть, несмотря на крайне высокую волатильность, достигли хоть и невысокого, но в целом приемлемого для российской экономики уровня (ранее, в первом десятилетии нового века, даже более низкие цены на нефть позволяли нашей стране справляться с экономическими проблемами);

– санкции, применяемые Западом к России, в своей основной массе, скорее, защищают российскую экономику, чем ее разрушают (позволяют реализовать защитные меры, ограничивая импорт в пользу отечественного производства).

Необходимо убрать иллюзии микроэкономического характера: иностранных инвестиций в экономику России в необходимом размере в ближайшей перспективе не будет. (Китай – не помощник и инвестор, а конкурент нового типа: «конкурент-партнер»). Поэтому России необходимо опираться на собственные силы, формируя собственные инвестиционные источники за счет эмиссии денег с целевым вложением в проекты, дающие наибольший результат для экономики.

То есть рычаг «выталкивания» экономики России из сегодняшнего кризиса в целях предотвращения нового витка кризиса – дозированная эмиссия с целевым вложением госинвестиций в ограниченное число крупных инвестиционных проектов (инвестпрограмм). Условие выбора таких проектов – отдача от них должна начаться не позднее чем на третий год с момента вложения инвестиционных средств. Еще одно условие – не дать перекачать инвестиционные деньги в валюту и вывести за рубеж.

Можно предложить четыре укрупненные группы инвестпроектов:

- расширение экспорта (наращивание инфраструктуры экспортных поставок энергоресурсов, сырья и зерна);
- создание отечественной индустриальной базы для построения цифровой экономики (заново создать отрасль приборостроения – собственное производство компьютерного оборудования);
- цифровизация топливно-энергетической системы в ЕАЭС в целом (от Китая до Западной Европы) для формирования конкурентоспособного энергообслуживания потребителей.

Особенно важен сектор электро- и теплоэнергетики, так как именно в этом секторе формируются условия конкурентоспособности большинства российских бизнесов, которые являются энергозависимыми и часто – энергоемкими.

Цифровая перестройка всей системы управления электро- и теплоэнергетическими активами

Прежде всего необходимо принципиальное изменение подходов к эксплуатации, ремонту и модернизации оборудования [6, с. 41].

Ранее техническое состояние оборудования оценивалось как функция бухгалтерского износа. В рамках новых подходов введено понятие «индекс технического состояния» в увязке с анализом того, какие активы есть у компании, как они эксплуатируются, каковы показатели аварийности. Сюда можно отнести технологию управления объектами электро- и теплоэнергетики с применением интеллектуальных киберфизических систем, осуществляющих поддержку различных видов риск-ориентированного управления на базе цифровых технологий, позволяющих использовать виртуальную модель отслеживания жизненного цикла оборудования в рамках узлов единой унифицированной цифровой модели тепловых электрических станций в увязке с тепло- и электросетями и пр.

Эти задачи могут быть конфигурированы в рамках расчетных моделей планирования режима работы сетей с использованием цифровой топологии сетей, включающих задания и связанные цифровые решения, позволяющие оперативно оценивать и предсказывать состояние тепловых электрических станций и их взаимодействие с тепло- и электросетями [2, с. 8].

При переходе к цифровым технологиям в рамках системы онлайн-мониторинга будут производиться сбор и обобщение данных оценки технического состояния основного технологического оборудования тепловых электрических станций, когда система заранее сигнализирует о необходимости ремонта оборудования для перехода от планово-предупредительных ремонтов оборудования тепловых электрических станций как квазинтегрированного комплекса с тепло- и электросетями к ремонтам по состоянию оборудования.

Для повышения эффективности контроля всех технологических процессов должна быть разработана виртуальная модель отслеживания жизненного цикла оборудования, интегрированная с адаптивными оболочками прикладных цифровых бизнес-сервисов, для построения управления как технологическими, так и экономическими бизнес-процессами на основе оценки и прогнозирования изменения технического состояния объектов.

Использование цифровой топологии сложных тепло- и энергосистем позволяет сформировать механизм системной оценки и прогноза технического состояния производственного оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов в целях прогнозирования уровня износа оборудования и вероятности наступления отказов [7, с. 344].

Предлагаемый подход с применением интеллектуальных киберфизических систем создаст возможности для целеполагания на уровне отрасли и объединяет управление активами

в единый отраслевой бизнес-процесс. Для этого оценивается техническое состояние каждого элемента оборудования в рамках онлайн-мониторинга, когда система заранее сигнализирует о необходимости ремонта оборудования, с последующим интерактивным формированием цифровых двойников технологических процессов, физических систем, объектов и изделий, с формированием основ высокой наблюдаемости, требуемых для перехода от планово-предупредительных ремонтов оборудования к ремонтам по состоянию [3, с. 26].

Базовые принципы риск-ориентированного управления на базе интеллектуальных киберфизических систем

Базовые принципы риск-ориентированного управления на базе интеллектуальных киберфизических систем для внедрения комплексной риск-ориентированной системы управления производственными активами тепловых электрических станций в увязке с тепло- и электросетями включают:

– возможность анализа технического состояния каждого элемента оборудования в рамках системы удаленного мониторинга, оценки и прогнозирования изменения технического состояния объектов для определения оптимального вида, состава и стоимости технического воздействия на оборудование (группы оборудования);

– возможность определения интегрального показателя технического состояния оборудования в отношении основного технологического оборудования тепловых электрических станций и тепло- и электросетей с последующим интерактивным формированием цифровых двойников технологических процессов, физических систем, объектов и изделий;

– возможность полицентрической интеграции данных оценки технического состояния основного технологического оборудования тепловых электрических станций и тепло- и электросетей для формирования сценариев технических воздействий на оборудование: продолжения эксплуатации, ремонта, замены, технического перевооружения или реконструкции;

– возможность анализа оценки технического состояния каждого элемента оборудования в рамках единой унифицированной цифровой модели, их характеристик с решением задачи нахождения оптимизированных значений при нечетких условиях и ограничениях; по минимальному значению определяется интегральный показатель оборудования (группы оборудования) допустимых классов между идентифицируемыми индексами технического состояния каждого элемента оборудования;

– возможность выявления семантики анализируемых индексов технического состояния каждого элемента оборудования, интегрированных с блоками, позволяющими определить количественные оценки готовности к работе в отопительный сезон субъекта электро- и теплоэнергетики, рейтинговые категории, по которым регулятор фиксирует готовность к работе в отопительный сезон данного субъекта, и пр.;

– возможность сбора необходимой информации в отношении расчетных моделей планирования режима работы тепловых электростанций и сетей с использованием цифровой топологии сложных тепло- и энергосистем в отношении функциональных элементов единой унифицированной цифровой модели, позволяющей обеспечить построение унифицированных систем учета оборудования, эксплуатируемого на объектах электро- и теплоэнергетики, их технологических параметров и характеристик, необходимых для принятия оптимальных управлеченческих решений.

Из таких решений прежде всего надо выделить решения по сквозной цифровизации бизнеса [4, с. 198].

Заключение

Основная задача при повышении надежности и безопасности энерго- и теплоснабжения в рамках имеющейся тарифно-ценовой нагрузки на потребителя – оптимизировать затраты на эксплуатацию и ремонт для высвобождения средств на модернизацию с внедрением перспективных технических решений инновационного характера.

Формирование цифровой топологии как основы единой цифровой модели тепловых электрических станций в увязке с тепло- и электросетями (от получения газа до продажи

электроэнергии и тепла конечному потребителю) позволит осуществлять контроль каждого рубля в цепочке технологических операций в процессе эксплуатации и ремонта, обеспечит получение инвестиций из внутренних источников на цели модернизации, а значит, и повышение надежности и безопасности в отрасли.

Список литературы

1. Агеев А.И. Институциональные механизмы снижения мультифакторных рисков для валютно-финансовой системы России и ЕАЭС в условиях нелинейной экономической динамики. М.: Ин-т экономических стратегий, 2017. 104 с.
2. Грабчак Е.П. Концептуальный подход к внедрению в отрасли рискоориентированной системы мониторинга и оценки готовности субъектов электроэнергетики к работе в отопительный сезон // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 3 (48). С. 4–10.
3. Грабчак Е.П., Медведева Е.А., Петренко А.О., Щинова Т.В. О методологии расчета технического риска на основе вероятности и последствий отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 1 (52). С. 22–29.
4. Логинов Е.Л., Шкута А.А. Развитие интеллектуальных сервисов в автоматизированных информационных системах управления. М.: Финансовый ун-т при Правительстве РФ, 2018. 214 с.
5. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Абрамов В.И. Компьютерное ситуационное моделирование в управлении экономикой // Государственный аудит. Право. Экономика. 2017. № 3–4. С. 31–40.
6. Рогалев Н.Д., Молодюк В.В., Максимов Б.К. Принципы формирования, разделения и описания требований надежности и безопасности в электроэнергетике // Вестник МЭИ. 2017. № 4. С. 36–49.
7. Щербатов И.А., Гурьянова В.В., Цуриков Г.Н. Определение технического состояния оборудования электроэнергетики // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2018. № 1. С. 341–345.

References

1. Ageev A.I. Institutional mechanisms for reducing multifactorial risks for the monetary and financial system of Russia and the EAEU in the conditions of nonlinear economic dynamics. Moscow. Institute of economic strategies, 2017. P. 104.
2. Grabchak E.P. Conceptual approach to the introduction of risk-oriented monitoring and evaluation system in the industry of readiness of subjects of electric power industry to work in the heating season. Transmission and distribution. 2018. No. 3 (48). P. 4–10.
3. Grabchak E.P., Medvedeva E.A., Petrenko A.O., Shchinova T.V. On methodology of calculation of technical risk on the basis of probability and consequences of failure of functional node and unit of basic technological equipment. Electric Power. Transmission and distribution. 2019. No. 1 (52). P. 22–29.
4. Loginov E.L., Shkuta A.A. Development of intelligent services in automated information management systems. Moscow Financial University under the government of the Russian Federation, 2018. 214 p.
5. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Abramov V.I. Computer situational modeling in economic management. State audit. Right. Economy. 2017. No. 3–4. P. 31–40.
6. Rogalev N.D., Molodyuk V.V., Maksimov B.K. Principles of formation, separation and description of reliability and safety requirements in electric power industry. Bulletin of MEI. 2017. No. 4. P. 36–49.
7. Shcherbatov I.A., Guryanova V.V., Tsurikov G.N. Determination of technical condition of electric power equipment. Information technologies. Problems and solutions. 2018. No. 1. P. 341–345.

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-100-112

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ТИПОВОГО МНОГОПРОФИЛЬНОГО ЛЕЧЕБНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Э.Г. Мальцев, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук,
malcev59@mail.ru

С.Л. Собакин, нач. службы ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. ак. Н.Н. Бурденко», канд. техн. наук, *mr_sobakin@mail.ru*

Рецензент: В.Н. Троян

Рассмотрен лечебно-диагностический процесс, его задачи, параметры, критерии оценки. Определены базовые медицинские технологии, используемые при оказании медицинской помощи больным. Показано, что повышение эффективности лечебно-диагностического процесса достигается на основе использования современных информационных технологий и интеллектуальных систем. Сформулирована задача оптимизации лечебно-диагностического процесса, определены критерии эффективности применения интеллектуальных систем по основным направлениям оказания медицинской помощи. Установлены основные методические подходы к использованию интеллектуальных систем в лечебно-диагностическом процессе многопрофильного лечебного учреждения, определены показатели эффективности функционирования многопрофильного лечебного учреждения. Показана практическая значимость применения современных информационных технологий и интеллектуальных систем в лечебно-диагностическом процессе.

Ключевые слова: лечебно-диагностический процесс, медицинские технологии, качество оказания медицинской помощи, медицинская информационная система, информационная технология, интеллектуальная система, система поддержки принятия решений.

THE USE OF INTELLIGENT SYSTEMS IN THE TREATMENT AND DIAGNOSTIC PROCESS OF A TYPICAL MULTIDISCIPLINARY MEDICAL INSTITUTION

E.G. Maltsev, Senior Researcher, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, *malcev59@mail.ru*

S.L. Sobakin, Head of Service, FSBI «Main military clinical hospital Named after Academician N.N. Burdenko», Doctor of Engineering, *mr_sobakin@mail.ru*

The treatment and diagnostic process, its tasks, parameters, evaluation criteria are considered. The basic medical technologies used in the provision of medical care to patients are defined. It is shown that increasing the efficiency of the treatment and diagnostic process is achieved through the use of modern information technologies and intelligent systems. The problem of optimization of medical and diagnostic process is formulated, criteria of efficiency of application of intellectual systems in the main directions of rendering medical care are defined. Set the main methodological approaches to the use of intelligent systems in the medical diagnostic process multidisciplinary medical institution, defined the performance indicators for multidisciplinary hospitals. The practical significance of the application of modern information technologies and intelligent systems in the treatment and diagnostic process is shown.

Keywords: medical diagnostic process, medical technologies, quality of medical care, medical information system, information technology, intelligent system, decision support system.

В настоящее время задача повышения качества оказываемой медицинской помощи и жизни населения в целом является одной из наиболее сложных и значимых. Основные показатели здоровья нации (такие как средняя продолжительность жизни населения, стоимость медицинского обслуживания) напрямую связаны не только с факторами социального характера (удорожание лечения из-за внедрения новых технологий, недостаточное финансирование отрасли, увеличение количества заболеваний и др.), но и с качеством оказываемой медицинской помощи. Повышение эффективности использования ресурсов здравоохранения за счет внедрения современных информационных технологий, а также повышение доступности и качества медицинской помощи, оказываемой населению в целом, является глобальной тенденцией развития электронного здравоохранения в мире.

Современный этап развития информатизации здравоохранения характеризуется полномасштабным внедрением в деятельность медицинских организаций медицинских информационных систем, охватывающих практически все стороны их деятельности, включая управление ресурсами, управление лечебным процессом и оказание медицинской помощи. Также важная особенность современного этапа – неуклонное развитие сети Интернет в Российской Федерации. Эта сеть оказывает все большее влияние на все сферы деятельности государства, жизни общества и каждого отдельного гражданина и находится под постоянным наблюдением руководства страны, а здравоохранение является важнейшим направлением, где Интернет имеет серьезное значение. Эти два фактора позволяют определить важнейшие направления развития информационных технологий с применением возможностей Интернета в здравоохранении, одно из которых – внедрение систем искусственного интеллекта [1]. Практические приложения искусственного интеллекта становятся более удобными, доступными в массовом применении [2]. Во многих отраслях применение интеллектуальных систем обеспечивает системную оптимизацию, полный цикл автоматизированного управления [3].

В медицинской практике неуклонно возрастает значение информационного обеспечения различных медицинских технологий, так как именно в этой области необходимы систематизация, хранение и обмен электронными историями болезни между территориально разнесенными пунктами для подбора максимально эффективной интенсивности терапии.

Методология исследования

При проведении исследования был проведен анализ лечебно-диагностического процесса (ЛДП), выделены его основные параметры, определены диагностические, лечебные, тактические задачи, которые при реализации ЛДП решает медицинский персонал. Рассмотрены критерии эффективности ЛДП и сформулирована задача оптимизации ЛДП. В ходе исследования определены базовые средства оптимизации ЛДП. Для решения поставленных задач был использован комплексный подход.

Анализ проведенных исследований показал, что ЛДП представляет собой комплекс взаимосвязанных мероприятий, проводимых должностными лицами управления многопрофильного лечебного учреждения (МЛУ), персоналом лечебных и диагностических отделений, имеющих целью восстановление здоровья пациентов [4].

ЛДП определяют следующие основные параметры:

- объективные возможности организованного процесса лечения больных, который обеспечивается современным состоянием медицинской науки и техники;
- организация контроля со стороны руководства МЛУ за ходом и состоянием ЛДП;
- уровень работы служб, обеспечивающих лечебный процесс;
- уровень современного состояния диагностики заболеваний;
- планирование и контроль проведения специалистами исследований и консультаций в ходе обследования и лечения больных;
- информационное обеспечение лечебного процесса (сведения о лекарственных препаратах, медицинская литература), организация статистической обработки результатов медико-биологических исследований.

Клиническую практику в МЛУ можно представить как сеть последовательно-параллельных выполняемых действий медицинского персонала, имеющую комплекс целевых функций, этапность, содержание и определенную последовательность [3].

При реализации ЛДП медицинский персонал решает типовые задачи: диагностические, лечебные, тактические, они же являются основными элементами ЛДП.

Диагностические задачи включают:

- установление нозологического диагноза;
- диагностику текущего состояния организма – так называемый функциональный диагноз;
- анализ и оценку динамики состояния пациента;
- прогноз развития патологического процесса и исхода заболевания.

Лечебные задачи объединяют:

- принятие решений о медикаментозной терапии с учетом индивидуальных особенностей пациента и выявленных патологических состояний;
- лечение с использованием медицинских приборов;
- оценку результатов лечебного воздействия;
- внесение корректив в лечебный процесс в зависимости от изменения состояния пациента.

Тактические задачи связаны с принятием решения:

- по проведению диагностического поиска;
- по продолжению лечения в данном отделении;
- о переводе больного в другое отделение или лечебное учреждение;
- по приглашению на консультацию врачей других специальностей;
- о выписке пациента из стационара и т. п.

Показателями эффективности функционирования МЛУ являются [4]:

- снижение среднего койко-дня в МЛУ;
- снижение объемов необоснованных направлений на исследования;
- повышение эффективности использования коечного фонда;
- увеличение пропускной способности высокотехнологичного оборудования;
- уменьшение временных трудозатрат медицинского персонала на заполнение учетно-отчетной документации.

Одним из подходов при автоматизации ЛДП являются разработка и внедрение в деятельность МЛУ медицинской информационно-справочной системы (МИСС), представляющей собой интегрированную систему, обеспечивающую весь ЛДП как реализацию комплексного технологического процесса врачебной деятельности.

Реализация и функционирование МИСС должны осуществляться на следующих основных принципах:

- обеспечение целостного ЛДП в многопрофильном лечебном учреждении;
- реализация системного и комплексного подхода;
- информативность системы;
- открытость системы;
- использование медицинских знаний;
- активное информирование больного о процессе лечения.

ЛДП должен рассматриваться как определенная последовательная совокупность медицинских технологий, используемых при лечении больного и обеспечении всего процесса – от поступления больного и до завершения его лечения. При разработке и реализации МИСС учитывается многосвязность ЛДП и его составных компонентов. Главным объектом ЛДП является больной и состояние его здоровья, а основным субъектом – лечащий врач.

При переходе к электронной истории болезни потребуется постепенная замена медицинских документов электронными аналогами. При этом требуется, с одной стороны, соблю-

дать известную преемственность их формы и содержания, с другой – проводить такие изменения, которые позволяют обеспечить более эффективную компьютерную обработку их содержания.

Система должна быть интероперабельной с другими подобными системами, обладать мобильностью по отношению к различным платформам. В МИСС обязательно должны использоваться как медицинские знания, так и средства их выявления (формирования), обработки и анализа, поиска закономерностей (симптомо-синдромной зависимости).

При создании МИСС должны быть разработаны и включены в ее состав средства визуализации медико-биологических данных больного, прогностических данных и графиков течения заболевания, схем обследования и лечения.

По своему назначению МИСС должна обеспечить решение следующих функциональных задач:

- организация автоматизированного сбора, обработки и выдачи медико-биологических данных;
- организация электронного документооборота;
- информационная поддержка принятия врачебных решений;
- обеспечение единого информационного пространства;
- создание и сопровождение базы данных (БД) о больных;
- создание и сопровождение баз медицинских знаний;
- обеспечение контроля своевременности, полноты и качества обследования и лечения больного;
- учет лекарственных препаратов и обеспечение ими;
- организация лечебного питания;
- обеспечение использования прикладных медицинских программ при реализации медицинских технологий.

Состав типовых функциональных подсистем МИСС представлен следующим образом:

- лечебно-диагностический процесс в коемном отделении;
- лечебно-диагностический процесс в реанимационном отделении;
- проведение функционально-диагностических исследований;
- проведение лабораторных исследований;
- проведение рентгенологических исследований;
- обеспечение лекарственными препаратами;
- заготовка и переливание крови;
- лечебное питание;
- медицинское снабжение;
- финансовое обеспечение;
- бюро пропусков;
- учет движения больных и медицинская статистика;
- анализ лечебно-диагностического процесса;
- отдел кадров.

Анализ используемых в медицинской практике медицинских технологий ЛДП показал, что медицинская технология – это раздел социальной технологии. Предметом медицинской технологии являются медицинские технологические процессы. Исходя из положений общей теории технологии основными задачами медицинской технологии являются [5]:

- проектирование медицинских технологических процессов;
- нормирование медицинских технологических процессов;
- оптимизация моделей медицинских технологических процессов, например с точки зрения уменьшения расходов на их реализацию;
- метрологическое обеспечение медицинских технологических процессов;
- контроль за соблюдением технологических режимов ЛДП;

- экспертиза качества медицинской помощи;
- исследование эффективности медицинской помощи;
- анализ влияния инфраструктуры трудового процесса в лечебном учреждении на медицинские технологические процессы.

В свою очередь, проектирование медицинских технологических процессов является самостоятельным разделом клинической медицины. Медицинский технологический процесс – это система взаимосвязанных необходимых и достаточных научно обоснованных лечебно-диагностических мероприятий, выполнение которых позволяет наиболее рациональным образом провести лечение и обеспечить достижение максимального соответствия научно прогнозируемых результатов реальным при минимизации затрат.

Медицинские технологии можно сгруппировать в соответствии с их медицинскими целями.

- профилактика: предназначена для защиты от болезней путем предупреждения возникновения, снижения риска заболеваний, борьбы с их распространением и последствиями;
- скрининг: нацелен на выявление болезней и связанных с ними факторов риска у людей без признаков заболеваний;
- диагностика: имеет целью выявить причины, характер и тяжесть заболевания конкретного человека;
- лечение: направлено на улучшение или сохранение клинического состояния больного, предупреждение дальнейшего ухудшения или достижение временного облегчения;
- реабилитация: предназначена для восстановления, сохранения или улучшения физического или умственного состояния и благополучия больного.

Состав медицинских технологий ЛДП представляется следующим образом: медицинские технологии, реализуемые в ходе лечебно-диагностического процесса, и медицинские технологии, реализуемые при обеспечении лечебно-диагностического процесса.

Медицинские технологии, реализуемые в ходе лечебно-диагностического процесса:

- формирование первичных данных при поступлении больного;
- формирование плана обследования больного врачом;
- формирование предварительного диагноза заболевания больного;
- формирование плана оптимального диагностического обследования;
- формирование плана консультаций;
- формирование заключения о проведенных исследованиях;
- формирование окончательного диагноза;
- прогнозирование тяжести течения и осложнений заболевания;
- формирование плана лечения больного;
- контроль течения заболевания и лечения;
- анализ результатов лечения больного;
- формирование выписного (переводного) эпикриза;
- планирование и контроль проведения исследований и консультаций;
- статистический учет дефектов в оказании медицинской помощи;
- проведение медико-статистического анализа результатов профилактической и лечебно-диагностической работы.

Медицинские технологии, реализуемые при обеспечении лечебно-диагностического процесса:

- обеспечение и учет расходных материалов;
- обеспечение коечных отделений лекарственными препаратами, учет их расходования;
- организация лечебного питания;
- обеспечение донорской кровью, ее компонентами и кровезаменителями.

Показателями эффективности лечебного процесса МЛУ являются: сокращение сроков пребывания больных в МЛУ, снижение летальности, числа расхождений патологоанатоми-

ческого и клинического диагнозов, увеличение количества исходов лечения с выздоровлением и улучшением и т.д. Повышение эффективности ЛДП представляется на основе расширения функциональных возможностей МИСС путем использования интеллектуальных систем. Таким образом, формализованное представление задачи оптимизации ЛДП можно представить следующим образом.

Дано:

1. ЛДП – комплекс взаимосвязанных мероприятий, проводимых должностными лицами управления ВГ, персоналом лечебных и диагностических отделений, имеющих целью восстановление здоровья проходящих лечение больных.

ЛДП определяется совокупностью медицинских технологий, используемых при выполнении различных схем обследования, диагностики и лечения в ходе ЛДП.

$$L(t) = \{C_{xob(t)}, C_{xd(t)}, C_{xl(t)}, C_{xoc(t)}\},$$

$$t \rightarrow t_l;$$

где: $L(t)$ – лечебно-диагностический процесс; t – длительность лечения больного; t_l – нормативная (среднестатистическая) длительность лечения основного заболевания; $C_{xob(t)}$ – (схема обследования) = {диагностика, консультации}; $C_{xd(t)}$ – (схемы диагностики) = {лабораторные, функционально-диагностические, нейрофункциональные и рентгенологические исследования}; $C_{xl(t)}$ – (схемы лечения) = {медикаментозное лечение, физиотерапевтическое лечение, радиологическое лечение, хирургические операции}; $C_{xoc(t)}$ – (схемы оценки состояния больного) = {контроль течения заболевания, контроль лечения заболевания, прогнозирование течения и исхода заболевания, контроль своевременности и полноты оказания медицинской помощи}.

Параметры ЛДП:

- сроки пребывания больных в МЛУ;
- число расхождений патологического и клинического диагнозов;
- летальность;
- количество исходов лечения с выздоровлением и улучшением.

2. Пациент как объект ЛДП, где состояние больного характеризуется показателями – параметрами:

$$S_6(t) = \{P_i\},$$

где: S_6 – состояние больного; P_i – показатель состояния больного ($i = 1, \dots, n$); n – число параметров.

3. Медицинские технологии – последовательность формализованных и творческих действий медицинского персонала в ходе ЛДП. Медицинские технологии (M_T) реализуют множество схем лечения и диагностики в соответствии с существующими нормативными требованиями:

$$M_T = \{\text{специалисты, оборудование, материалы, нормативно-методическое обеспечение}\}.$$

4. Критерии оценки состояния, диагностики, обследования, лечения больного ($K_{oц}$):

$K_{oц} = \{\text{полнота обследования, лечения, сроки постановки диагноза, прогноз, расхождение диагноза}\}.$

Требуется:

На основе применения информационных технологий и интеллектуальных систем в ЛДП обеспечить повышение эффективности лечебного процесса МЛУ (сокращение сроков пребывания больных в МЛУ, снижение летальности, числа расхождений патологоанатомиче-

ского и клинического диагнозов, увеличение количества исходов лечения с выздоровлением и улучшением и т.д.). При этом состояние выздоровления или улучшения больного характеризуется:

$$S_{\text{H}}(t) = \{P_j\},$$

где: S_{H} – состояние больного при выписке; P_j – показатель состояния больного, близкий к норме ($j = 1, \dots, n$).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод: для реализации процессов поддержки принятия врачебных решений на всех этапах ЛДП при выполнении медицинских технологий требуется использовать интеллектуальные средства: медицинские базы знаний, интеллектуальную обработку данных, экспертные системы, программы, учитывающие накопленный врачебный опыт обследования больных, дифференциальной диагностики, прогнозирования течения заболевания и лечения больных.

Интеллектуальные средства обеспечивают качественный сбор полной медицинской информации о больном во время опроса, осмотра и обследования пациента, формирования схем лечения и прогнозирования течения заболевания; совершенствование врачебного мышления, прежде всего при работе с обобщающими врачебными понятиями – симптомами, симптомокомплексами, клиническими синдромами.

На основе собранных данных о больном на всех этапах ЛДП автоматизированным способом формируются медицинские документы на языке, близком к естественному для лечащего врача.

В результате проведения сравнительного анализа методов поддержки принятия решений для задач вышеописанного класса медицинских технологий наиболее приемлемым подходом является применение искусственных нейроподобных сетей (НС). Данный выбор обусловлен следующими факторами, позволяющими использовать НС в составе МИСС для поддержки принятия решений в ходе ЛДП:

- способность анализировать информацию (в частности, определять важность и информативность медико-биологических данных), возможность оптимизации различных диагностических технологий (отказ во многих случаях от дорогостоящего и ненужного обследования), а также технологии разработки медико-экономических стандартов;
- большая гибкость и быстрая адаптация (обучение на локальных данных) при переносе из одного лечебного учреждения в другое;
- динамичное развитие в процессе использования – с накоплением опыта многих специалистов и/или при обучении на реальном фактическом материале;
- работа в условиях недостатка информации, при перерабатывании информации любого типа, вплоть до субъективных определений; обладая большим быстродействием, НС могут использоваться в системах реального времени.

Среди специализированных систем, основанных на знаниях, наиболее значимы для использования при автоматизации ЛДП экспертные системы (ЭС) реального времени, или динамические экспертные системы. Использование ЭС направлено на автоматизацию деятельности медицинского персонала в процессе диагностики заболевания и лечения больных, сокращение сроков и улучшение качества обучения и становления молодых специалистов. Медицинские ЭС позволяют врачу не только проверять собственные диагностические предположения, но и дают возможность обращаться к системе за консультацией в сложных клинических случаях, когда необходим анализ большого объема симптомов пациентов.

Использование интеллектуально-вопросной системы в ходе ЛДП обеспечивает врачу:

- полноту сбора медицинских данных о больных на различных этапах обследования и лечения в стационаре в диалоговом режиме;

- контроль точности вводимых данных (как по границам значений формализованных параметров, так и по точности орфографии текстовых фрагментов опросника);
- исключение случаев повторного задавания одних и тех же вопросов, а также таких вопросов, которые не соответствуют логике ответов на предшествующие вопросы;
- оперативность нахождения и входа в любой раздел опросника;
- сохранение собранных сведений о пациентах в БД в виде формализованной истории болезни, поэтапно заполняемой (электронная форма истории болезни);
- быстрое нахождение в базе медицинских данных сведений о конкретном больном по признакам;
- ведение каталога лечившихся больных с выведением для визуального контроля параметров больного по желанию врача;
- автоматизированное заполнение истории болезни;
- обращение к медицинским справочникам.

Интеллектуальный анализ данных (ИАД) и система распознавания образов являются средствами аналитической обработки данных и поиска закономерностей. В медицинской системе они необходимы для классификации медицинских данных в БД, их обобщения для ретроспективного анализа и составления прогнозов состояния ЛДП. ИАД следует использовать для оперативной выборки информации о наличии (размещении) требуемых медицинских материалов и препаратов, их качественном состоянии и прогнозировании расхода.

Вместе с тем существующие системы поддержки принятия решений в медицине имеют определенные недостатки при оказании персонифицированной медицинской помощи пациентам на основе онтологий и компьютерных средств представления знаний [5]:

- не поддерживается в необходимом объеме семантика медицинских данных. Системы, основанные на жестких правилах, не способны обеспечить поддержку всего комплекса взаимосвязанных медицинских знаний, необходимых для принятия решения и формирования плана лечения пациента;
- изолированность от других медицинских систем, используемых в клинической практике. Системы поддержки принятия решений разрабатываются для медицинских специалистов в отдельно взятой предметной области. При этом большая их часть применяется изолированно от других медицинских систем и не использует данные пациентов;
- посредственная эргономика и удобство системы для пользователя;
- интерфейс большинства систем поддержки принятия решений неудобен для пользователя либо требует значительного времени на ввод информации о пациенте;
- отсутствие возможности настройки системы для использования в другой предметной области. Системы поддержки принятия решений разрабатываются для медицинских специалистов в отдельно взятой предметной области, и их невозможно адаптировать к использованию в другой области без перепрограммирования.

В ходе проведения исследования определен состав интеллектуальных средств, обеспечивающих информационную поддержку деятельности медицинского персонала МЛУ при проведении ЛДП, который определяется исходя из функциональных обязанностей медицинского персонала (прежде всего лечащих врачей) и руководства МЛУ, направленных на эффективное излечение больных. Состав интеллектуальных средств, предлагаемых для использования в МИСС, следующий [4]:

- интеллектуальная вопросно-ответная система;
- система распознавания образов;
- интеллектуальный интерфейс;
- интеллектуальный анализ данных;
- нейронные сети;
- интеллектуальные пакеты прикладных программ;
- экспертные системы.

Интеллектуальные средства поддержки ЛДП можно характеризовать по следующим взаимосвязанным аспектам:

- функциональные области применения;
- форма реализации;
- средства реализации;
- взаимодействие с БД;
- представление информации в БЗ.

Функциональные области применения интеллектуальных средств определяются содержанием ЛДП и медицинскими технологиями, используемыми в практической врачебной деятельности МЛУ, и включают:

- диагностику заболеваний;
- прогнозирование состояний;
- психодиагностику;
- функциональную диагностику;
- анализ медицинских изображений;
- определение состояния органов (функциональное и физиологическое);
- анализ хода ЛДП и его результатов;
- ведение истории болезни.

Реализация интеллектуальных средств возможна в различных формах:

- логический опросник;
- консультативно-диагностическая система;
- система прогнозирования;
- контроль течения заболевания;
- мониторинговая система;
- компьютерный анализ крови;
- система оценки риска возникновения состояний;
- экспертно-аналитическая система.

База знаний интеллектуальных средств включает:

- описание алгоритмов врачебного обследования больных;
- описание алгоритмов дифференциальной диагностики, состояний и заболеваний;
- описание алгоритмов прогнозирования тяжести течения и осложнений заболеваний;
- описание алгоритмов выбора тактики лечения больного;
- описание алгоритмов контроля состояния больного;
- лечебные и тактические методики;
- симптомо-синдромное описание заболеваний.

База данных интеллектуальных средств включает:

- результаты врачебного, лабораторного, функционального, рентгенологического обследования;
- данные динамического наблюдения;
- клинические показатели состояния больного;
- классификацию болезней, клинических признаков, симптомов, синдромов;
- сведения о болезнях;
- описание медикаментов и немедикаментозных средств;
- нормативно-справочную информацию.

Результаты исследования показали, что основными функциональными возможностями применения интеллектуальных средств в ЛДП являются [7–10]:

- описание в формализованном виде в компьютерной форме клинических ситуаций в терминах онтологий;
- описание клинических рекомендаций, стандартов и методик лечения заболеваний терминах используемой онтологии (т.е. в форме семантической сети понятий и отношений между ними);

- формирование рекомендаций для создания персонального плана лечения пациента на основе первичной информации о нем (диагноз, симптомы заболевания, жалобы пациента, результаты анализов и обследований);
- доступ к клиническим рекомендациям посредством веб-сервиса;
- интерфейсы API для интеграции с внешними информационными системами (системами управления данными клинических исследований).

Схема применения интеллектуальных средств поддержки ЛДП представляется следующим образом (табл. 1–5).

Результаты

Ожидаемыми результатами решения поставленной задачи по оптимизации ЛДП типового МЛУ с использованием интеллектуальных систем являются повышение эффективности оказания медицинской помощи больным и улучшение показателей проведения ЛДП:

- своевременная постановка более точного и полного диагноза;
- включение в клиническую деятельность врача прогноз течения заболевания;
- многоплановость контроля состояния больного и течения его болезни с обеспечением своевременной коррекции плана лечения.

Таблица 1

| Функциональная подсистема | Интеллектуальные средства |
|--|---|
| Блок приемного отделения | |
| Лечебно-диагностический процесс в приемном отделении | Интеллектуальная вопросно-ответная система Нейронные сети |
| Учет движения больных и медицинская статистика | Интеллектуальный интерфейс Интеллектуальный анализ данных |
| Организация лечебного питания | Интеллектуальный интерфейс |
| Проведение лабораторных исследований | Интеллектуальная вопросно-ответная система Нейронные сети Система распознавания образов |
| Назначение лабораторных и функционально-диагностических исследований | Интеллектуальная вопросно-ответная система |
| Назначение рентгенологических исследований | Интеллектуальная вопросно-ответная система |
| Обеспечение лекарственными препаратами | Интеллектуальная вопросно-ответная система Интеллектуальный анализ данных |
| Анализ работы отделения | Интеллектуальный анализ данных |

Таблица 2

| Функциональная подсистема | Интеллектуальные средства |
|--|--|
| Блок коечного отделения | |
| Лечебно-диагностический процесс в коечном отделении | Интеллектуальная вопросно-ответная система Нейронные сети |
| Назначение лабораторных и функционально-диагностических исследований | Интеллектуальная вопросно-ответная система |
| Назначение рентгенологических исследований | Интеллектуальная вопросно-ответная система |
| Учет движения больных и медицинская статистика | Интеллектуальный интерфейс Интеллектуальный анализ данных |
| Организация лечебного питания | Интеллектуальный интерфейс |
| Обеспечение лекарственными препаратами | Интеллектуальная вопросно-ответная система Интеллектуальный анализ данных |

Таблица 3

| Функциональная подсистема | Интеллектуальные средства |
|--|--|
| Блок реанимационного отделения | |
| Лечебно-диагностический процесс в реанимационном отделении | Интеллектуальная вопросно-ответная система Нейронные сети |
| Мониторинг состояния больного | Интеллектуальный интерфейс Система распознавания образов |
| Назначение лабораторных и функционально-диагностических исследований | Интеллектуальная вопросно-ответная система |
| Назначение рентгенологических исследований | Интеллектуальная вопросно-ответная система |
| Учет движения больных и медицинская статистика | Интеллектуальный интерфейс Интеллектуальный анализ данных |
| Организация лечебного питания | Интеллектуальный интерфейс |
| Обеспечение лекарственными препаратами | Интеллектуальная вопросно-ответная система Интеллектуальный анализ данных |

Таблица 4

| Функциональная подсистема | Интеллектуальные средства |
|--|---|
| Блок диагностического подразделения | |
| Проведение лабораторных и функционально-диагностических исследований | Интеллектуальная вопросно-ответная система Нейронные сети Система распознавания образов |
| Проведение рентгенологических исследований | Интеллектуальная вопросно-ответная система Нейронные сети Система распознавания образов |
| Учет расходных материалов | Интеллектуальный анализ данных |

Таблица 5

| Функциональная подсистема | Интеллектуальные средства |
|---|--------------------------------|
| Блок управления МЛУ | |
| Анализ лечебно-диагностической работы в МЛУ | Интеллектуальный анализ данных |
| Контроль проведения исследований и консультаций | Интеллектуальный анализ данных |
| Контроль качества оказания медицинской помощи | Интеллектуальный анализ данных |

Для оценки эффективности применения интеллектуальных систем по основным направлениям оказания медицинской помощи используются следующие критерии:

- а) в диагностическом процессе:
 - обеспечение сокращения сроков выдачи результатов исследований лечебным отделениям;
 - повышение точности расчетов и производительности труда медицинского персонала;
 - экономия материальных затрат;
- б) в лечебном процессе:
 - повышение оперативности и надежности постановки диагноза, прогнозов тяжести течения заболеваний;

– сокращение времени на ведение медицинской документации и на подготовку статистических отчетов;

– сокращение времени на получение оперативной информации о пациенте, проводимом лечении и его результатах;

– выбор оптимальных методов лечения;

в) при обеспечении ЛДП:

– сокращение времени затрат на формирование документов по регистрации приходно-расходных операций, расчет и оформление отчетов, актов и ведомостей;

– обеспечение оперативного контроля за наличием и движением лекарственных средств и инвентарного имущества;

– сокращение времени на организацию питания больных;

– сокращение материальных затрат на обеспечение ЛДП.

Критериями оценки правильности диагноза используются:

– научная обоснованность лечения больного;

– соответствие реального течения заболевания ожидаемому;

– экономическая эффективность лечения больного;

– соответствие реального течения заболевания ожидаемому по клиническому диагнозу;

– совпадение диагноза лечащего врача и диагноза более опытного специалиста (начальник отделения, начальник центра, главные специалисты, консилиум врачей);

– подтверждение диагноза данными лабораторных и инструментальных исследований или данными патологоанатомов.

Ожидаемыми результатами при оценке правильности (точность, эффективность) выбора врачебной тактики являются:

– улучшение результатов лечения по сравнению с контрольной группой;

– уменьшение сроков лечения больных;

– уменьшение стоимости лечения больных.

Обсуждение

Результаты проведенных исследований позволяют руководителям МЛУ проводить оценку эффективности оказания медицинской помощи больным и улучшения показателей проведения ЛДП, а также осуществлять контроль эффективности деятельности МЛУ руководителям государственных учреждениях здравоохранения. Сформулированные критерии оценки эффективности применения интеллектуальных систем, критерии оценки правильности диагноза, критерии оценки правильности (точность, эффективность) выбора врачебной тактики использовались при подготовке докладов на конференциях, семинарах, при проведении обсуждений в рамках «круглого стола», посвященного вопросам интеллектуализации здравоохранения.

Основные выводы

Анализ проведенных исследований показал, что автоматизация ЛДП базируется на создании и внедрении в практическую деятельность МЛУ медицинской информационно-справочной системы. Оценка качества оказания медицинской помощи является задачей управления ЛДП и реализуется посредством анализа показателей ЛДП, критериев качества и др. Дальнейшая оптимизация ЛДП основана на использовании интеллектуальных систем в совокупности с реализацией медицинских технологий ЛДП.

Практическая значимость использования современных информационных технологий и интеллектуальных систем в ЛДП возрастает в связи с ростом заболеваний и их сложностью и одновременно с наличием программно-технических средств, обеспечивающих обработку больших массивов данных и передачу результатов по распределенным вычислительным сетям.

Список литературы

1. Карпов О.Э., Клименко Г.С., Лебедев Г.С. применение интеллектуальных систем в здравоохранении // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 7–1. С. 38–43. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36058> (дата обращения: 17.10.2019).
2. Дурнев Р.А., Крюков К.Е., Жданенко И.В. Искусственный интеллект: иллюзии, проблемы, перспективы // Инноватика и экспертиза. 2018. Вып. 4 (25). С. 158.
3. Логинов Е.Л., Райков А.Н. Интеллектуальная трансформация системы управления в энергоинфраструктурном комплексе как основа формирования единого информационного пространства ЕАЭС. Инноватика и экспертиза // 2015. Вып. 2 (15). С. 272.

References

1. Karpov O.E., Klimenko G.S., Lebedev G.S. Application of intelligent systems in healthcare. Modern science-intensive technologies. 2016. No. 7-1. P. 38–43. Available at: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36058> (accessed: 17.10.2019).
2. Durnev R.A., Kryukov K.E., Zhdanenko I.V. Artificial intelligence: illusions, problems, prospects. 2018. Vol. 4 (25). P. 158.
3. Loginov E.L., Raikov A.N. Intellectual transformation of the management system in the energy and infrastructure complex as the basis for the formation of the unified information space of the EAEU. Innovation and expert examination. 2015. Vol. 2 (15). P. 272.

СОЦИОЛОГИЯ

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-113-122

ОЦЕНКА УРОВНЯ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В РАДИКАЛЬНЫЕ ГРУППЫ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Н.С. Барабаш, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. филол. наук, *nsb@extech.ru*
Д.С. Жуков, доц. каф. Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, канд. ист. наук, *ineternatum@mail.ru*

Рецензент: **Д.В. Михлик**

Представленное исследование реализует приложение теории самоорганизованной критичности (СОК) к изучению радикальных протестных групп в социальных сетях. В частности, теория СОК применена для оценки уровня вовлеченности пользователей в деятельность Facebook-сообществ, которые непосредственно поддерживали протестное движение в Гонконге в 2019 г. В общей сложности было обследовано 35 страниц в социальной сети Facebook. Хронологические рамки работы: 01.03–23.03.2019. Исследование строится на утверждении, что для сообществ с высокой вовлеченностью пользователей характерна самоорганизованная критичность. Представлены подходы теории СОК и методы идентификации розового шума как атрибута СОК. Обнаружено, что некоторые протестные сообщества функционировали в режиме СОК. Несмотря на кажущуюся поликентричность протестной сети, связи рефлексивности стягиваются к небольшому числу страниц. Эти страницы являются источниками информации, оценок, отражают намерения протестующих и, следовательно, могут выступать в роли драйверов событий.

Ключевые слова: протестные акции, цветные революции, самоорганизованная критичность, розовый шум, социальные сети.

RATING OF USERS INVOLVEMENT IN THE RADICAL GROUPS IN SOME SOCIAL NETWORKS

N.S. Barabash, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Philology, *nsb@extech.ru*
D.S. Zhukov, Associate Professor, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Doctor of Historical Sciences, *ineternatum@mail.ru*

This issue is an enclosure to the theory of self-organized criticality (SOC) for studying of the radical protest groups of people in some social networks. The SOC theory needs for the value of level of the users involvement in Facebook communities which support the protest moves in Hong Kong in 2019. There were studied about 35 Facebook pages. The period of studying 01.03 to 23.03.2019. This article claims that the communities with the high level of users involvement are based on self-organized criticality. This item also explains some SOC theory approaches according to which a method of pink noise identity is one of the SOC attribute. It is necessary to say that some protest communities work in SOC regime. In spite of the seeming polycentric of the protest network the connection of reflection comes to a few number of Facebook pages which are the source of information and intension of the protesters so they can become the event's drivers.

Keywords: protest moves, the colour revolutions, self-organized criticality, pink noise, social networks.

Объект, гипотеза и задача

Сетевые виртуальные феномены, по мнению многих исследователей, становятся одним из значимых (и порой основных) драйверов политических процессов [1–4]. Поэтому мы сосредоточили внимание на тех импульсах, которые поступают из социальных сетей в протестные сообщества и инициируют уличные беспорядки и насилиственные акции.

Объектом исследования являются радикальные сообщества («страницы») в социальной сети Facebook, которые непосредственно поддерживали, организовывали и развивали уличные протесты (включая насилиственные акции) в Гонконге с весны по осень 2019 г.

Текущая фаза протестного движения в Гонконге началась в марте 2019 г. с возражений против принятой парламентом автономии поправки в закон, которая предусматривает экстрадицию подозреваемых в преступлении на территорию остального Китая. Движение приняло радикальные формы (в виде столкновений манифестантов и полиции) и выдвинуло радикальные лозунги, включая отделение Гонконга от Китая («Гонконг – не Китай»). Китайское руководство обвинило США в покушении на суверенитет КНР и в организации очередной цветной революции, которая рассматривается как эпизод кампании против Китая в торговой войне. На момент написания данной статьи (осень 2019 г.) противостояние в Гонконге продолжалось. Хронологические рамки работы: 01.03–23.03.2019.

Задача исследования – измерить уровень вовлеченности пользователей в деятельность протестных сообществ и сравнить с контрольной группой. В общей сложности было обследовано 35 Facebook-сообществ.

Под высокой вовлеченностью для целей данного исследования подразумевается такое состояние участников сетевых сообществ, в котором участники проявляют повышенную готовность воспринимать и распространять сетевые политические сообщения (месседжи), опубликованные в сообществе, а также формировать свои оценки текущей политической ситуации, менять свое мнение и действовать (как в виртуальной реальности, так и на улицах) под воздействием этих сообщений.

Исследование строится на утверждении, что для сообществ с высокой вовлеченностью пользователей характерна самоорганизованная критичность. Теория самоорганизованной критичности (СОК), изначально созданная для объяснения естественнонаучных феноменов, активно проникает и в социогуманитарное предметное пространство. В ряде наших работ мы представили факты, поддерживающие гипотезу о связи эффектов СОК с вовлеченностью пользователей и склонностью сообществ к информационным лавинам – сильным и быстрым всплескам активности без хорошо заметных соразмерных причин [5, 6].

Самоорганизованная критичность надежно идентифицируется по розовому шуму ($1/f$ -шум), который возникает в динамических рядах (записи изменений ключевых параметров во времени), генерируемых СОК-системой.

Литература, подходы и методы

Уже в классических трудах создателей теории СОК можно встретить неоднократные утверждения, что она способна разъяснить сущность не только физических и биологических, но и социальных систем [7, 8].

Распространению подходов и инструментария теории СОК в различных (в том числе гуманитарных) областях способствовали М. Бьюкенен [9], Д. Тьюкот [10, 11], Г. Бранк [12–14], Г.Г. Малинецкий [15, 16], Л.И. Бородкин [17, 18], А.В. Подлазов [19]. Исследуя исторические процессы, Д.С. Жуков, В.В. Канищев и С.К. Лямин [20, 21] показали, что возникновение/исчезновение розового шума в динамических рядах является маркером для обнаружения момента и направления трансформации социальных систем. Б. Тадич и коллеги [22] показали наличие СОК в динамике интернет-сообществ.

СОК может возникать в системах, обладающих рядом свойств: такие системы являются целостными, состоят из множества связанных элементов и содержат петлеобразные причинно-следственные связи. Состояние критичности подразумевает, в частности, что любые

события – даже локальные, кратковременные и несильные – запускают причинно-следственные цепочки, которые затухают недостаточно быстро и поэтому могут охватить всю систему. Простые микрособытия генерируют сложное макроповедение системы.

Благодаря наличию петель обратной связи некоторые причинно-следственные цепочки могут в разной мере усиливаться, другие – в разной мере ослабляться. В системе возникают колебания разных масштабов. Поэтому основные параметры самоорганизованно-критических систем изменяются в режиме розового шума. Розовый шум (рис. 1) – это самоподобный процесс, который состоит из подъемов и спадов, каждый из которых включает меньшие подъемы и спады, которые, в свою очередь, также являются набором еще меньших подъемов и спадов и т. д.

Для самоорганизованно-критических систем характерны лавины – быстрые значительные отклонения основных параметров, вплоть до срыва в бесконечность. Розовый шум и – затем – лавины возникают под влиянием микроуровневых процессов, которые могут быть запущены несильными и кратковременными импульсами-инициаторами. Таковыми могут выступить внешние влияния или случайные события. Сложная внутренняя структура целостной системы не дает начальным импульсам затухнуть. Множество взаимодействующих элементов системы не могут прийти в равновесие.

Розовый шум может служить удобным индикатором для диагностирования, и в частности для обнаружения «лавиноопасных» систем.

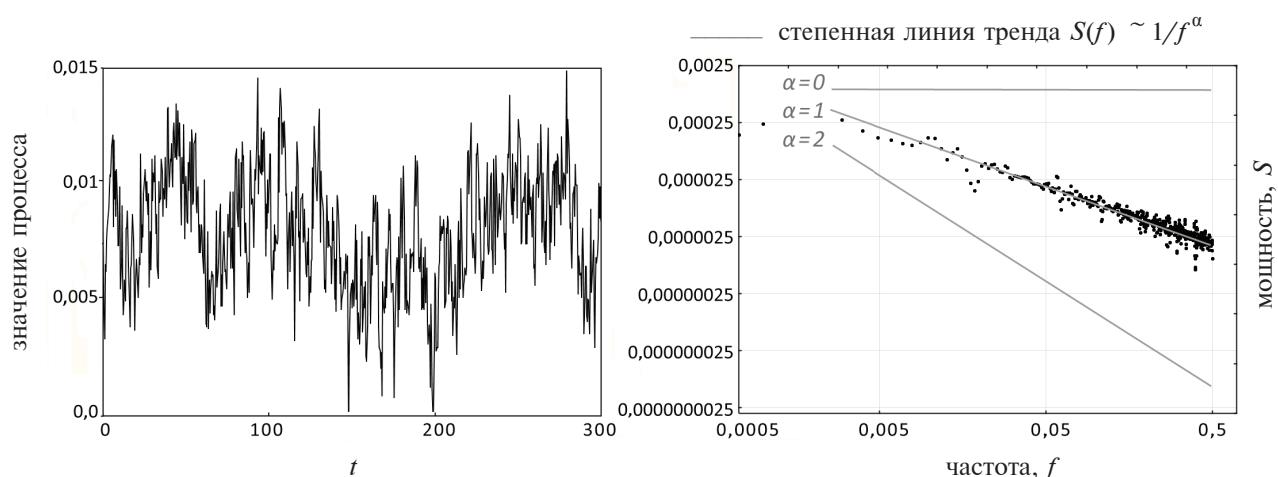


Рис. 1. Пример (слева) и спектрограмма (справа) искусственно сгенерированного идеального розового шума

Розовый шум может быть идентифицирован посредством спектрального анализа динамических рядов, отражающих активность сообществ. Если в спектрограмме «мощность – частота» прослеживается степенной тренд, то показатель степенного закона позволяет определить ряд/сигнал как розовый или красный шум или же выдвинуть гипотезу о наличии белого шума. Ниже приведена формула степенного тренда:

$$S \sim \frac{1}{f^\alpha}, \quad (1)$$

где: f – частота; S – мощность; α – показатель степени.

Если $\alpha \approx 1$, то сигнал считается розовым шумом. Если $\alpha \approx 2$ – то красным. Если $\alpha \approx 0$, то сигнал, возможно, является белым шумом, хотя для его точной идентификации требуются иные процедуры. П. Бак указывал, что степень α для розового шума может принимать значения от 0 до 2 [7, с. 69]. Ближе к границам этого диапазона розовый шум плавно переходит в другие типы сигналов.

Мы проводили спектральный анализ в модуле Spectral (Fourier) analysis в программе Statistica со следующими настройками: pad length to power of 2/yes, taper/no, subtract mean/yes, detrend/yes. Достоверность степенного тренда и, следовательно, репрезентативность величины α определялась посредством стандартного инструмента R^2 . Чем ближе значение R^2 к 1, тем точнее тренд аппроксимирует данные.

Для идентификации типа сетевых были изучены динамические ряды, содержащие сведения о ежедневных репостах (перепечатках) сообщений, размещенных в сообществе. Почему в качестве исходного материала был выбран этот тип активности? Репост является фундаментальным актом рефлексии в сети. Репост означает, что информация в той или иной мере воспринята пользователем, размножена и распространена среди иных пользователей. Репосты связывают пользователей рефлексивностью, которую можно трактовать как принципиально важную для групп способность их участников обмениваться сообщениями, реагировать на них и изменять свое поведение в зависимости от содержания сообщений. Рефлексивность характерна для групп с высоким уровнем вовлеченности, т.е. для настоящих социальных групп, отличных от слабововлеченных аудиторий.

Вместе с тем рефлексивность должна быть характерна для сообществ, находящихся в состоянии СОК. Ведь известно, что для возникновения критичности элементы систем должны быть объединены многочисленными плотными связями. В виртуальной среде таковыми связями могут быть только отношения рефлексивности. Воплощением рефлексивности является, главным образом, репост.

Процедуры получения исходных данных

В ходе работ были обследованы три группы страниц (узлов) в Facebook. Первая и вторая группа непосредственно поддерживали протестные акции, третья группа – контрольная.

В первую группу вошли страницы политических партий и организаций, выступавших в качестве оппозиции вплоть до призывов к отделению Гонконга. По запросу в Facebook «Гонконг, протесты» (на китайском языке) была обнаружена страница (первая позиция в поисковой выдаче на 10.09.2019) Hong Kong Independence Union [URL: <https://www.facebook.com/hk.independence.union> (дата обращения: 07.10.2019)]. Эта страница являлась точкой входа, начиная с которой было произведено картографирование сети.

Почти у всех страниц в Facebook имеется раздел «Страницы, которые нравятся этой странице». Здесь фиксируются предпочтения администраторов, которые отчасти выражают их видение «родственных» связей между сообществами. Подобные ссылки стали критерием для выявления связей между страницами. В целом было изучено три уровня узлов, среди которых 11 страниц принадлежали организациям, позиционирующими себя как сугубо политические. Политизированные, но формально неполитические сообщества в расчет не принимались.

Среди страниц первой группы можно отметить следующие: Civil Human Rights Front, Demosistō (выступает за «экономическую и политическую автономию Гонконга»), Hong Kong National Front (за «революцию и освобождение Гонконга»), Hong Kong Indigenous (политическая организация, «обеспокоенная» тем, что «ценности Гонконга разрываются когтями КПК»), Studentlocalism (студенческая политическая группа за «создание независимой и суверенной республики Гонконг») и др.

Вторая группа узлов представлена страницами средств массовой информации (СМИ), которые специализируются на всесторонней поддержке и развитии протестного движения. Это полностью ангажированные радикальными силами СМИ. Эти страницы были обнаружены посредством изучения сети репостов, которая сформировалась вокруг страниц первой

группы 15–16.09.2019. В Гонконге 15.09.2019 состоялись массовые столкновения с применением бутылок с зажигательной смесью (со стороны инсургентов), водометов, слезоточивого газа и резиновых пуль (со стороны полиции). Начался, таким образом, новый виток эскалации конфликта.

В этих критических условиях (во время и в первые часы после насилиственных акций) протестные группы осуществляли передачу информации (репосты) от наиболее авторитетных для них информационных доноров. В эту группу вошли, в частности, следующие страницы: Stand News, Apple Daily, City Broadcasting Channel, Campus TV (студенческое СМИ Hong Kong University College), Hong Kong Free Press и др.

В третью группу – контрольную – включены страницы, от которых трудно ожидать участия в протестах. Это лидеры (по количеству участников) рейтинга гонконгских Facebook-страниц, принадлежащих развлекательным и «женским» глянцевым журналам: Cosmopolitan, ELLE, More и т. п. Рейтинг составлен глобальным аналитическим агентством Socialbakers на 20.09.2019 [URL: <https://www.socialbakers.com/statistics/facebook/pages/total/hong-kong/media/magazines-journals/page-1-2> (дата обращения: 07.10.2019)].

Все группы, таким образом, сформированы не произвольно, а в соответствии с некоторыми формальными процедурами, индифферентными к гипотезе и инструментарию исследования.

По каждой странице посредством сервиса popsters.ru были получены динамические ряды, содержащие сведения о количестве репостов всех сообщений на данной странице за каждый день с 01.03.2019 по 23.03.2019. Незначительные лакуны были реконструированы. Исходные данные доступны на сайте Центра фрактального моделирования [URL: <http://ineternum.ru/vovl> (дата обращения: 07.10.2019)].

Результаты

Динамические ряды репостной активности различных страниц были подвергнуты спектральному анализу. Результаты поиска степенных распределений в спектрограммах представлены в табл. 1–3; примеры спектрограмм – на рис. 2.

Таблица 1

Показатели степенного закона и R² в спектрограммах репостной активности Facebook-сообществ (группа 1: политические партии и организации), 01.03–23.09.2019

| | URL: https://www.facebook.com | Кол-во участников, чел. | α | R^2 |
|----|---|-------------------------|----------|--------|
| 1 | ...jeremytammanho/ | 144 970 | 0,03 | 0,0016 |
| 2 | ...CivilHumanRightsFront/ | 135 111 | 0,359 | 0,1699 |
| 3 | ...demosisto/ | 107 046 | 0,116 | 0,0114 |
| 4 | ...hkindigenous/ | 101 322 | 0,279 | 0,112 |
| 5 | ...youngspiration/ | 56 473 | 0,109 | 0,0254 |
| 6 | ...HK.NationFront/ | 15 221 | 0,049 | 0,0104 |
| 7 | ...studentlocalism/ | 15 134 | 0,069 | 0,0094 |
| 8 | ...TSWNewForce/ | 11 959 | -0,0169 | 0,0006 |
| 9 | ...HKTMCN/ | 10 636 | 0,092 | 0,0178 |
| 10 | ...hkbumountaingod/ | 7811 | 0,11 | 0,0233 |
| 11 | ...hk.independence.union/ | 7400 | 0,453 | 0,2786 |

Таблица 2

Показатели степенного закона и R^2 в спектрограммах репостной активности Facebook-сообществ (группа 2: протестные СМИ), 01.03–23.09.2019

| | URL: https://www.facebook.com | Кол-во участников, чел. | α | R^2 |
|----|--|-------------------------|----------|--------|
| 1 | ...hk.nextmedia/ | 2 455 345 | 1,105 | 0,6541 |
| 2 | ...standnewshk/ | 986 277 | 1,055 | 0,6337 |
| 3 | ...tvmosthk/ | 792 399 | 0,404 | 0,1232 |
| 4 | ...inmediahk/ | 567 336 | -0,0054 | 0,0001 |
| 5 | ...ThingsAtHongKong/ | 308 584 | 0,116 | 0,1021 |
| 6 | ...hongkongfp/ | 184 784 | 0,197 | 0,0921 |
| 7 | ...hknews/ | 132 863 | 1,086 | 0,5751 |
| 8 | ...hkucampustv/ | 97 963 | 0,004 | 0 |
| 9 | ...singmajority/ | 91 227 | 0,0106 | 0,0004 |
| 10 | ...cityusu.cbc/ | 82 134 | 0,044 | 0,0062 |
| 11 | ...freedun/ | 80 958 | 0,0299 | 0,0023 |
| 12 | ...hkbubnn/ | 7952 | 0,429 | 0,2158 |

Таблица 3

Показатели степенного закона и R^2 в спектрограммах репостной активности Facebook-сообществ (группа 3: развлекательные журналы), 01.03–23.09.2019

| | URL: https://www.facebook.com | Кол-во участников, чел. | α | R^2 |
|----|--|-------------------------|----------|--------|
| 1 | ...weekendweeklyjetso/ | 1 667 896 | 0,373 | 0,2867 |
| 2 | ...umagazinehk/ | 1 468 635 | 0,27 | 0,1392 |
| 3 | ...morehk.hk/ | 1 009 817 | 0,159 | 0,1236 |
| 4 | ...WeekendWeekly/ | 837 291 | 0,381 | 0,3641 |
| 5 | ...newmonday.com.hk/ | 736 842 | 0,325 | 0,2691 |
| 6 | ...eatandtravel/ | 531 838 | 0,406 | 0,1391 |
| 7 | ...CosmoHK/ | 482 979 | 0,119 | 0,0618 |
| 8 | ...milkhk/ | 437 556 | 0,077 | 0,0338 |
| 9 | ...elleOnlineHK/ | 428 673 | 0,199 | 0,5134 |
| 10 | ...ChannelMayHK/ | 383 678 | -0,1013 | 0,2643 |
| 11 | ...easttouchhk/ | 378 544 | 0,011 | 0,0006 |
| 12 | ...metropopHK/ | 361 370 | -0,0397 | 0,0721 |

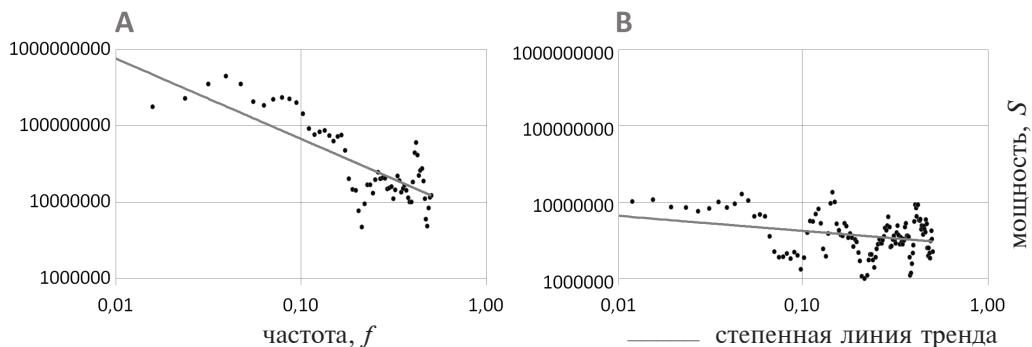


Рис. 2. Спектрограммы репостной активности Facebook-сообществ, 01.03–23.09.2019:

A) standnewshk (Stand News), $\alpha = 1,055$; $R^2 = 0,6337$;
 B) hongkongfp (Hong Kong Free Press), $\alpha = 0,197$; $R^2 = 0,0921$

Обсуждение и выводы

В первой и третьей (контрольной) группах все страницы демонстрировали гипотетически хаотичное поведение пользователей и, следовательно, низкий уровень вовлеченности. Этот результат ожидаем. В современных политических системах (за редким исключением) политические партии не являются формами активного участия населения в социополитических процессах. Вовлеченность в партийную жизнь (даже на фоне максимального уровня внутриполитического противостояния) – не более уровня вовлеченности пользователей в обсуждение статей в глянцевых журналах. Тем не менее партии и разного рода политические группы остаются инструментами формального декларирования некоторых лозунгов.

В третьей группе – политизированные СМИ – можно обнаружить довольно любопытное разделение. Большая часть страниц, несмотря на размещение весьма актуальных протестных материалов, получает лишь поверхностное внимание аудитории. Высокую вовлеченность пользователей демонстрируют три страницы. Результаты спектрального анализа выявили розовый шум в поведении их пользователей: люди реагировали, обсуждали, запоминали, распространяли, возвращались на страницу, меняли свои мнения и пр.

Рассмотрим кратко эти СМИ. Слоганом компании Stand News является фраза: Stand with Hong Kong – ключевой призыв инсургентов к действию. Ресурс позиционирует себя как единственное независимое СМИ: «Мы не смирились, мы не сдались». Собственно, единственной темой, которой занимается это СМИ, является «восстание». Это специализированный информационный ресурс для протестных информационных нужд.

Страница Nextmedia принадлежит крупной медиагруппе Apple Daily. Практически каждая протестная группа 15.09.2019 осуществляла множество репостов с ресурсов этой компании, и в частности с сайта hk.appledaily.com. Однако уже 17.09.2019 этот ресурс не функционировал. Влияние медиагруппы тем не менее сохранялось – очевидно, благодаря множеству страниц и ресурсов, которые дублируют информацию Apple Daily. Формально считаясь гонконгской компанией, Apple Daily имеет прочные бизнес-связи с Тайванем, где, собственно, и находится большая часть ее аудитории.

Компания hkcnews позиционирует себя как внепартийное, плюралистичное и объективное СМИ, однако страница компании управляет администраторами не только из Гонконга, но и из США и Канады.

Таким образом, среди множества СМИ наибольшую вовлеченность и влияние получили немногие проекты, имеющие внешние связи и являющиеся своего рода «профессиональными революционными организациями». Несмотря на кажущуюся полигонцентричность протестной сети, связи рефлексивности, как мы полагаем, стягиваются к небольшому числу стра-

ниц. Эти страницы являются источниками информации, оценок, намерений инсургентов и, следовательно, могут выступать в роли драйверов событий.

Средства теории самоорганизованной критичности позволяют, таким образом, обнаружить на фоне множества страниц с «раздутыми» показателями такие страницы, которые действительно способны оказывать влияние на сетевые и, возможно, уличные настроения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-06-00082а «Применение теории самоорганизованной критичности для изучения и моделирования социальных систем и исторических процессов».

Статья подготовлена по результатам работ в рамках Государственного задания по проекту № 2.13333.2019/13.1 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Сморгунов Л.В. Электронные платформы и сетевое научение: как трансформируется публичное пространство // Технологии информационного общества в науке, образовании и культуре: сб. науч. статей. СПб: Санкт-Петербургский нац. иссл. ун-т информ. технологий, механики и оптики. 2014. С. 259–262.
2. Федорченко С.Н. Computer Game Studies: новые горизонты для политической науки и практики // Вестник Омского ун-та. Сер.: Исторические науки. 2018. № 4. С. 172–182.
3. Федорченко С.Н. Политические технологии в компьютерных играх как новый формат информационного воздействия // Информационные войны. 2018. № 4 (48). С. 85–97.
4. Федорченко С.Н. Сетевая легитимация политических режимов: теория и технологии. М: ИИУ МГОУ, 2018. 202 с.
5. Жуков Д.С., Лямин С.К. Революции в Сети: приложение теории самоорганизованной критичности к изучению протестных движений // Историческая информатика. 2017. № 4. С. 11–43. URL: http://e-notabene.ru/istinf/article_24559.html (дата обращения: 20.05.2018).
6. Жуков Д.С., Барабаш Н.С. Распространение новаций в социальных сетях: взгляд с позиции теории самоорганизованной критичности // Инноватика и экспертиза. 2017. № 3. С. 59–74. URL: <http://inno-exp.ru/archive/21> (дата обращения: 20.05.2018).
7. Бак П. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. М.: УРСС, 2014. 276 с.
8. Sneppen K., Bak P., Flyvbjerg H., Jensen M.H. Evolution as a self-organized critical phenomenon // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1995. Vol. 92. Issue 11. P. 5209–5213.
9. Buchanan M. Ubiquity. The Science of History or Why the World is Simpler Than We Think. London: Weidenfeld & Nicolson, 2000. 288 p.
10. Turcotte D.L. Self-organized criticality // Reports on Progress in Physics. 1999. Vol. 62. Issue 10. P. 1377–1377.
11. Turcotte D.L., Rundle J.B. Self-organized complexity in the physical, biological, and social sciences // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2002. Vol. 99. Issue 1. P. 2463–2465.
12. Brunk G.G. Self-Organized Criticality: A New Theory of Political Behaviour and Some of Its Implications British Journal of Political Science. 2001. Vol. 31. Issue 2. P. 427–445.
13. Brunk G.G. Why Are So Many Important Events Unpredictable? Self-Organized Criticality as the «Engine of History» // Japanese Journal of Political Science. 2002. Vol. 3. Issue 1. P. 25–44.
14. Brunk G.G. Why Do Societies Collapse? A Theory Based on Self-Organized Criticality // Journal of Theoretical Politics. 2002. Vol. 14. Issue 2. P. 195–230.
15. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Подлазов А.В. Историческая динамика. Взгляд с позиций синергетики // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2004. № 85. С. 1–16. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2004-85> (дата обращения: 20.05.2018).
16. Малинецкий Г.Г. Чудо самоорганизованной критичности: вступит. статья // Бак П. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. М.: УРСС, 2013. С. 13–44.

17. Бородкин Л.И. Моделирование исторических процессов: от реконструкции реальности к анализу альтернатив. СПб.: Алетейя, 2016. 304 с.
18. Бородкин Л.И. Вызовы нестабильности: концепции синергетики в изучении исторического развития России // Уральский исторический вестник. 2019. № 2 (63). С. 127–136.
19. Подлазов А.В. Новые математические модели, методы и характеристики в теории самоорганизованной критичности: дис. ... канд. физ.-матем. наук. М.: Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2001. 120 с.
20. Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Application of the theory of self-organized criticality to the investigation of historical processes // Sage Open. 2016. Vol. 6. Issue 4. P. 1–10. DOI: 10.1177/2158244016683216. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2158244016683216> (дата обращения: 18.10.2018).
21. Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Social Movements Viewed in the Context of Self-Organized Criticality Theory // Acesso Livre. 2017. Issue 8. P. 75-91. URL: https://revistaacessolivre.files.wordpress.com/2017/12/acesso-livre-n-8_jul-dez_2017_a.pdf (дата обращения: 18.10.2018).
22. Tadić B., Dankulov M.M., Melnik R. Mechanisms of Self-Organized Criticality in Social Processes of Knowledge Creation // Physical Review E. 2017. Vol. 96. Issue 3. P. 032307. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.032307> (дата обращения: 18.10.2018).

References

1. Smorgunov L.V. Electronic platforms and network learning: how the public space is transformed. Technologies of information society in science, education and culture. articles'. St. Petersburg national Research University of inform. technology, mechanics and optics. 2014. P. 259–262.
2. Fedorchenko S.N. Computer Game Studies: new horizons for political science and practice. Bulletin of the Omsk University. Ser.: Historical science. 2018. No. 4. P. 172–182.
3. Fedorchenko S.N. Political technologies in computer games as a new format of information impact. Information wars. 2018. No. 4 (48). P. 85–97.
4. Fedorchenko S.N. Network legitimization of political regimes: theory and technology. Moscow. IIU MGOU. 2018. P. 202.
5. Zhukov D.S., Lyamin S.K. Revolutions in the Network: application of the theory of self-organized criticality to the study of protest movements. Historical Informatics. 2017. No. 4. P. 11–43. Available at: http://e-notabene.ru/istinf/article_24559.html (date accessed: 20.05.2018).
6. Zhukov D.S., Barabash N.S. the Spread of innovations in social networks: a view from the position of the theory of self-organized criticality. 2017. No. 3. Pp. 59-74. Available at: <http://inno-exp.ru/archive/21> (date accessed: 20.05.2018).
7. Bak P. How nature works: the theory of self-organized criticality. Moscow: URSS. 2014. 276 c.
15. Kurdyumov S.P., Malinetsky G.G., Podlazov A.V. Historical dynamics. From the point of view of synergetics. Preprint IPM im. M.V. Keldysh Russian Academy of Sciences. 2004. No. 85. P. 1–16. Available at: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2004-85> (date accessed: 20.05.2018).
16. Malinetsky G.G. Miracle of self-organized criticality: will enter. article. Buck P. How nature works: the theory of self-organized criticality. Moscow. URSS. 2013. P. 13–44.
17. Borodkin L.I. Modeling of historical processes: from reconstruction of reality to analysis of alternatives. St. Petersburg. Alethea. 2016. 304 P.
18. Borodkin L.I. Challenges of instability: concepts of synergetics in the study of the historical development of Russia. Ural historical Bulletin. 2019. No. 2 (63). P. 127–136.
19. Podlazov A.V. (2001) New mathematical models, methods and characteristics in the theory of self-organized criticality: Ph. D. theses. Moscow. M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics, P. 120.
20. Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Application of the theory of self-organized criticality to the investigation of historical processes. Sage Open. 2016. Vol. 6. Issue 4. P. 1–10. DOI: 10.1177/2158244016683216. Available at: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2158244016683216> (date accessed: 18.10.2018).

21. Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Social Movements Viewed in the Context of Self-Organized Criticality Theor. Acesso Livre. 2017. Issue 8. P. 75–91. Available at: https://revistaacessolivre.files.wordpress.com/2017/12/acesso-livre-n-8_jul-dez_2017_a.pdf (date accessed: 18.10.2018).
22. Tadić B., Dankulov M.M., Melnik R. Mechanisms of Self-Organized Criticality in Social Processes of Knowledge Creation. Physical Review E. 2017. Vol. 96. Issue 3. P. 032307. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.032307> (date accessed: 18.10.2018).

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-123-131

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ САМООРГАНИЗОВАННОЙ КРИТИЧНОСТИ К ИЗУЧЕНИЮ ЭЛЕКТОРАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ

Д.С. Жуков, доц. Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина,
канд. ист. наук, доц., *ineternatum@mail.ru*
Рецензент: Д.В. Михлик

Статья посвящена методологическим проблемам, связанным с приложением теории самоорганизованной критичности (СОК) к изучению политических процессов. Автор рассматривает динамику электоральных предпочтений на выборах членов Палаты представителей Конгресса США в разных штатах с 1958 по 2016 г. Цель исследования – проверить, можно ли распространить на США гипотезу японских исследователей И. Шимады и Т. Коямы. Гипотеза состоит в том, что обнаружение розового шума (атрибута СОК) в динамических рядах электоральной активности может быть хорошим индикатором для выявления политico-трансформационного потенциала соответствующего общества. Автор показывает, что в некоторых штатах предпочтения избирателей действительно изменялись в режиме розового шума. Это дает основания строить предположения о возможных лавинообразных скачках электорального поведения в будущем.

Ключевые слова: самоорганизованная критичность, розовый шум, выборы, политические процессы, США.

APPLICATION OF THE THEORY OF SELF-ORGANIZED CRITICALITY TO THE STUDY OF ELECTORAL BEHAVIOR

D.S. Zhukov, Associate Professor, G.R. Derzhavin Tambov State University,
Doctor of History, *ineternatum@mail.ru*

The article is devoted to methodological problems associated with the application of the theory of self-organized criticality (SOC) to political processes. The author considers the dynamics of electoral preferences in the elections of US representatives in different states from 1958 to 2016. The purpose of the study is to verify whether the hypothesis of Japanese researchers I. Shimada and T. Koyama can be extended to the United States. The hypothesis is that the detection of pink noise (an attribute of SOC) in the time series of electoral activity can be a good indicator to identify the political and transformational potential of the society. The author shows that voters' preferences changed in pink noise mode in some states. This gives reason to build assumptions about possible avalanche-like jumps in electoral behavior in the future.

Keywords: self-organized criticality, pink noise, elections, political processes, USA.

Задача и гипотеза

Задачей исследования является развитие гипотезы, выдвинутой японскими учеными И. Шимадой и Т. Коямой [1]. Они предположили, что изучение динамики электоральной активности с помощью инструментария теории самоорганизованной критичности (СОК) позволяет установить вероятность значительных скачков электорального поведения, которые способны изменить конфигурацию власти в стране. Таким образом, трансформацион-

ный потенциал социума может быть точно рассчитан на основании длинных динамических рядов, содержащих результаты голосований за основные партии. Такие ряды подвергаются спектральному анализу, и если в спектрограммах прослеживается степенной тренд, вычисляется показатель степени α . Этот показатель позволяет определить, находятся ли соответствующие социальные субъекты/группы в состоянии критичности и готовы ли к так называемым лавинам – масштабным и скоротечным изменениям поведения.

И. Шимада и Т. Кояма проверили эту гипотезу на основе статистики голосований за ключевые японские партии в послевоенный период и получили результаты, совпадающие с качественными политологическими наблюдениями.

Техническая проблема этого метода состоит в том, что для получения таких результатов спектрального анализа, которые можно было бы надежно интерпретировать, требуются довольно длинные динамические ряды. Подобные ряды могут быть получены только для тех стран, где партийная система оставалась устойчивой на протяжении нескольких десятилетий. Например, в Японии в течение всего послевоенного периода, за редким исключением, выигрывала выборы и пребывала у власти только одна партия – Либерально-демократическая. Другой пример стабильной партийной системы дают США. Именно поэтому американская избирательная статистика была привлечена нами в качестве эмпирической базы для развития данной гипотезы.

Полагаем, что хотя бы частичное подтверждение упомянутой гипотезы позволит получить удобный инструмент для выявления лавиноопасных периодов в развитии политических систем.

Подходы, методы и литература

Теория СОК претендует на универсальное объяснение широкого спектра нелинейных эффектов в естественных системах (физических, биологических и пр.). В течение последних десятилетий идеи и подходы СОК проникают и в социогуманитарное предметное пространство.

Состояние критичности, среди прочего, означает, что любые события – даже слабые и кратковременные – запускают в системе причинно-следственные цепочки, которые могут распространяться по всей системе. Если в системе имеется множество взаимодействующих элементов, а также содержатся петли обратной причинно-следственной связи, то колебания, вызванные начальными импульсами, могут усиливаться или ослабляться, оказывая длительное глобальное воздействие на систему.

Ключевые параметры системы при этом изменяются в режиме розового шума. Это фрактальный процесс: волна, по которой идет рябь, по которой, в свою очередь, также идет рябь меньшего масштаба и т.д.

Являясь атрибутом СОК, розовый шум может быть строго идентифицирован в динамических рядах/сигналах, которые представляют собой запись изменений во времени ключевых параметров системы. Если в спектрограмме «мощность – частота» такого сигнала четко прослеживается степенная закономерность, то показатель степени $\alpha \approx 1$ указывает на розовый шум. Показатель $\alpha \approx 0$ свойствен хаотическому белому шуму. Поскольку для однозначной идентификации белого шума требуются иные приемы, то на основании величины α можно лишь строить предположения о белом шуме. Один из создателей теории СОК Пер Бак полагал, что показатель α для розового шума может варьироваться от 0 до 2 [2]. Границы этого диапазона характерны для иных типов шумов: соответственно, белого (гипотетически) и красного. Очевидно, в диапазонах от 1 до 0 и от 1 до 2 имеет место плавная смена типа сигнала.

СК-системы, пребывая длительное время в состоянии динамического равновесия, тем не менее склонны к лавинам, которые представляют собой очень сильные и скоротечные изменения основных параметров. На практике изменения такого рода ведут к быстрой качественной трансформации системы. Для внешнего наблюдателя подобного рода катастрофы

ческие события представляются, как правило, беспричинными и неожиданными. Ведь лавины инициируются вполне обычными глубинными процессами, которые в течение длительного времени могли не проявлять своего колossalного трансформационного потенциала.

В работах, которые заложили основы теории СОК, неоднократно встречаются высказывания о том, что эта теория может быть с успехом использована применительно не только к физическим, но и к социальным системам [2, 3]. Ряд зарубежных и отечественных исследователей способствовали развитию идей СОК, в том числе в социогуманитарной сфере. Это М. Бьюкенен [4], Д. Тьюкот [5, 6], Г. Бранк [7–9], Г.Г. Малинецкий [10, 11], Л.И. Бородкин [12, 13], А.В. Подгазов [14] и др. Так, Д.С. Жуков, В.В. Канищев и С.К. Лямин [15, 16] исследовали эффекты СОК в исторических процессах, Б. Тадич и коллеги [17] обнаружили СОК в активности интернет-сообществ.

Исходные данные

Для фиксации электоральных предпочтений избирателей были привлечены результаты голосований по штатам за представителей (членов нижней палаты Конгресса). Были взяты абсолютные количества голосов, которые получили в каждом штате кандидаты-республиканцы в совокупности и кандидаты-демократы в совокупности. Таким образом, было получено два ряда: динамика электоральной поддержки республиканцев и демократов.

Безусловно, об электоральной поддержке партий свидетельствуют не только выборы представителей, но и выборы сенаторов, президента и губернаторов. Однако нам удобно воспользоваться именно материалами голосований за представителей, поскольку такие выборы проходят каждые два года во всех штатах. Это позволяет получить наибольшее количество точек данных по сравнению с президентскими выборами (каждые четыре года) и выборами сената (каждые два года переизбирается только треть сената, и выборы, соответственно, проходят не во всех штатах).

Изученные ряды данных охватывали выборы с 1958 по 2016 г. и были извлечены из официальных отчетов Statistics of the presidential and congressional election, которые издаются Офисом клерка палаты представителей США [URL: <https://history.house.gov/Institution/Election-Statistics/Election-Statistics> (дата обращения: 10.12.2019)]. Примеры некоторых рядов представлены на рис. 1.



Рис. 1. Динамика электоральных предпочтений на выборах представителей в некоторых штатах США

Каждые четыре года выборы представителей совпадают по времени с выборами президента. Президентские кампании, в которые вовлекаются значительные финансовые, человеческие и медийные ресурсы, оказывают значительное влияние на электоральное поле. На партийные предпочтения избирателей, кроме того, оказывают влияние личностные качества кандидатов на пост президента. Очевидно, что колебания с периодом в четыре года существенно выбиваются из общей динамики электоральных настроений и могут исказить закономерности распределения гармоник в спектрограммах. Поэтому имеет смысл изъять из спектрограммы сведения о гармониках, которые генерируются четырехлетними президентскими выборами. Поскольку в наших рядах единичный временной отрезок равен двум годам, то частота таких гармоник должна быть около 0,5.

Действительно, если посмотреть на спектрограмму электоральных предпочтений шт. Коннектикут на рис. 2А (это довольно типичный пример), то заметно, что ее «хвост», состоящий из гармоник с частотой около 0,5, существенно выбивается из общей закономерности.

Поэтому во всех спектрограммах, прежде чем протестировать их на наличие степенного закона, мы отрезали подобные «хвосты», удаляя точки с частотой от 0,4 до 0,6 включительно (рис. 2В).

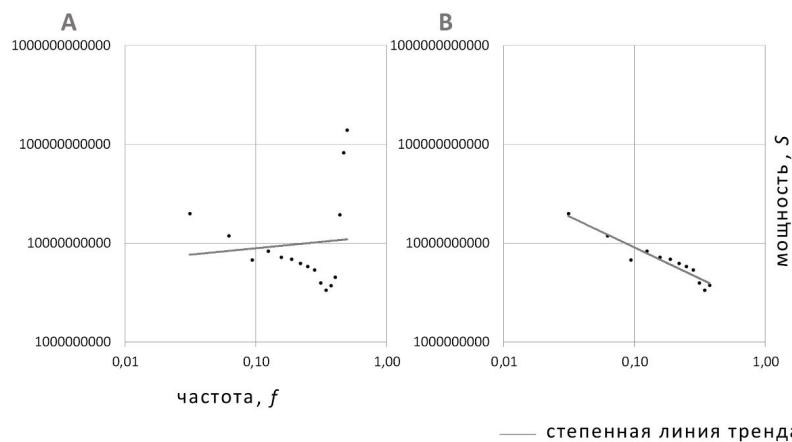


Рис. 2. Спектрограмма электоральной поддержки республиканцев на выборах представителей в шт. Коннектикут (1958–2016 гг.):

А – полная спектрограмма ($\alpha = 0,129$; $R^2 = 0,009$);

В – спектрограмма после удаления гармоник с частотой около 0,5 ($\alpha = 0,63$; $R^2 = 0,911$)

Результаты

В табл. 1 представлены результаты идентификации степенных распределений в спектрограммах электоральной динамики в разных штатах. Серым цветом выделены ячейки, в которых $\alpha > 0,5$ при $R^2 > 0,5$. Обратим внимание, что предполагать наличие розового шума можно при выполнении обоих этих условий. На рис. 3 приведены примеры спектрограмм (с отсеченными хвостами).

Обсуждение и выводы

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в течение длительного времени электорат в нескольких штатах, очевидно, находится в состоянии СОК. Причем в некоторых штатах это утверждение верно и для избирателей-республиканцев, и для избирателей-демократов, тогда как в отдельных штатах электоральное поведение лишь части избирателей является розовым шумом.

Таблица 1

**Показатели степенного закона и индексы достоверности степенного тренда
в спектрограммах динамики избирательных предпочтений на выборах
представителей в США (1958–2016 гг.)**

| | Республиканцы | | Демократы | |
|----------------|---------------|--------|-----------|--------|
| | α | R^2 | α | R^2 |
| Alabama | 0,4180 | 0,2144 | 0,9160 | 0,7445 |
| Alaska | 0,6730 | 0,5447 | 0,1460 | 0,0882 |
| Arizona | 0,3440 | 0,1511 | 0,7490 | 0,7280 |
| Arkansas | 0,4320 | 0,3515 | 0,6370 | 0,7592 |
| California | 0,0830 | 0,0625 | 0,0086 | 0,0002 |
| Colorado | 0,5090 | 0,3633 | 0,8720 | 0,8792 |
| Connecticut | 0,6300 | 0,9117 | 1,0850 | 0,7822 |
| Delaware | 1,4830 | 0,7174 | 1,1910 | 0,5981 |
| Florida | 0,3700 | 0,2671 | 0,5730 | 0,7336 |
| Georgia | 1,0630 | 0,5471 | 0,3530 | 0,2413 |
| Hawaii | 0,7200 | 0,3946 | 0,4130 | 0,2823 |
| Idaho | 0,2610 | 0,3972 | 0,6270 | 0,3705 |
| Illinois | 0,2610 | 0,2496 | 0,2130 | 0,1584 |
| Indiana | 0,1740 | 0,1317 | 0,1457 | 0,0334 |
| Iowa | -0,2110 | 0,1669 | 0,6960 | 0,4080 |
| Kansas | -0,2205 | 0,0865 | 0,2650 | 0,2836 |
| Kentucky | 0,8250 | 0,5109 | -0,3275 | 0,2954 |
| Louisiana | 1,0330 | 0,6032 | 0,5840 | 0,6407 |
| Maine | 1,2540 | 0,7652 | 1,1680 | 0,7818 |
| Maryland | 0,9700 | 0,7161 | 0,8550 | 0,4555 |
| Massachusetts | 0,2280 | 0,0509 | 0,0060 | 0,0001 |
| Michigan | 0,2810 | 0,3441 | 0,0650 | 0,0120 |
| Minnesota | 0,2780 | 0,1490 | -0,7845 | 0,6920 |
| Mississippi | 0,1700 | 0,0640 | 0,3840 | 0,3340 |
| Missouri | -0,0457 | 0,0419 | 0,2890 | 0,1685 |
| Montana | 0,0550 | 0,0286 | -0,9129 | 0,8523 |
| Nebraska | 0,5860 | 0,5786 | 0,2600 | 0,0876 |
| Nevada | 0,6210 | 0,4492 | 0,8750 | 0,7156 |
| New Hampshire | 0,1800 | 0,1205 | 0,7070 | 0,4633 |
| New Jersey | -0,4680 | 0,6281 | 0,4830 | 0,3634 |
| New Mexico | -0,4320 | 0,7012 | 0,9760 | 0,7797 |
| New York | -0,1608 | 0,0924 | 0,3270 | 0,1823 |
| North Carolina | 0,6730 | 0,6214 | 0,6880 | 0,3680 |
| North Dakota | 1,2350 | 0,8540 | 1,5180 | 0,7475 |
| Ohio | 0,0120 | 0,0003 | -0,0994 | 0,0246 |
| Oklahoma | 0,7610 | 0,7282 | 0,0620 | 0,0180 |

Окончание табл. 1

| | Республиканцы | | Демократы | |
|----------------|---------------|--------|-----------|--------|
| | α | R^2 | α | R^2 |
| Oregon | -0,2456 | 0,1643 | 0,5120 | 0,2806 |
| Pennsylvania | 0,4480 | 0,3183 | 0,8230 | 0,7833 |
| Rode Island | 1,4540 | 0,8486 | 1,1410 | 0,8410 |
| South Carolina | 0,2100 | 0,3128 | 0,5560 | 0,2788 |
| South Dakota | 1,3150 | 0,6130 | 1,0370 | 0,4132 |
| Tennessee | 0,2750 | 0,6679 | 0,3510 | 0,2809 |
| Texas | 0,0260 | 0,0032 | 0,2570 | 0,2831 |
| Utah | 0,3660 | 0,2067 | -0,1878 | 0,0187 |
| Vermont | 0,9930 | 0,8485 | 1,2870 | 0,9122 |
| Virginia | 0,0452 | 0,0092 | 0,5260 | 0,5372 |
| Washington | 0,8310 | 0,6685 | 0,1240 | 0,0356 |
| West Virginia | 1,1180 | 0,8438 | 0,9260 | 0,5248 |
| Wisconsin | 0,4770 | 0,5685 | 0,6170 | 0,3879 |
| Wyoming | 0,7800 | 0,6059 | 0,8750 | 0,3495 |

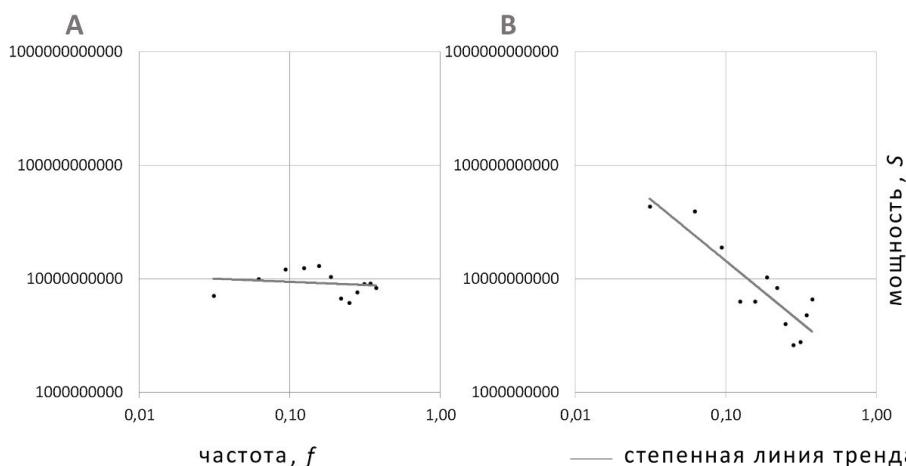


Рис. 3. Спектрограммы динамики электоральных предпочтений на выборах представителей:

А – шт. Монтана, республиканцы ($\alpha = 0,055$; $R^2 = 0,0286$)

В – шт. Коннектикут, демократы ($\alpha = 1,085$; $R^2 = 0,7822$)

Необходимо отметить, что группы «полностью розовых» и «частично розовых» штатов не совпадают значимым образом с группой «фиолетовых» штатов.

К «фиолетовым» в США причисляют штаты, которые, как правило, являются колеблющимися (swing state), «конкурентными». Несмотря на некоторую условность и подвижность подобного разделения, это относительно устойчивая группа штатов: Айова, Аризона, Вирджиния, Висконсин, Колорадо, Мэн, Миннесота, Мичиган, Невада, Нью-Гэмпшир, Огайо, Пенсильвания, Северная Каролина, Флорида. В таких штатах силы республиканцев (неофициальный цвет – красный) приблизительно равны силам демократов (синий цвет).

«Фиолетовые» штаты могут демонстрировать розовый шум, но, в некотором смысле, не обязаны делать это. Критичность как высокая лавиноопасность, как готовность общества к неожиданной смене политических предпочтений не обязательно связана с равенством политических сил. Высокий внутренний трансформационный потенциал может быть обусловлен иными – глубокими и системными – факторами, такими как способы хозяйствования и экономическое состояние региона, состояние элитных групп и их взаимоотношения с населением, эффективность политической системы, внутрисоциальные конфликты и пр.

Если электоральные перевороты в «фиолетовых» штатах вполне ожидаемы, то в «розовых» штатах они должны быть довольно неожиданными, поскольку являются, по существу, лавинами в смысле теории СОК.

Безусловно, «не-розовый» штат также может проголосовать вразрез со своей обычной линией поведения. Это может произойти под влиянием внешних или экстраординарных сильных воздействий. Обычно политическая система – вне зависимости от политической окраски основных игроков – стремится не допустить таких обстоятельств. Однако лавина в «розовом» штате может возникнуть под влиянием совершенно обыденных обстоятельств и процессов, которые длительное время не вызывали никаких трансформаций и могут поэтому казаться наблюдателям несущественными. Теория СОК описывает механизмы возникновения кризисов под влиянием множества процессов на микроуровне.

Таким образом, в этом исследовании удалось показать, что гипотеза И. Шимады и Т. Коямы о наличии СОК в электоральных процессах может быть распространена и на США. Такой результат представляется, главным образом, методологическим и требует дальнейшего сопоставления с эмпирическими фактами. Однако уже сейчас понятно, что приложение теории СОК к политическому прогнозированию может дать эвристически ценные результаты. Причем наиболее продуктивными могли бы быть исследования на субрегиональном уровне и на коротких хронологических отрезках, что предполагает более частые замеры электоральных предпочтений. Полагаем также, что репрезентативным индикатором политico-трансформационного потенциала могут выступать не только динамика электоральных настроений, но и некоторые другие виды социopolитической активности, в частности забастовки, массовые акции, политически мотивированное насилие, экстремистские преступления и пр. Теория СОК позволяет разглядеть в потоке обыденной жизни предвестников будущих потрясений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-06-00082а «Применение теории самоорганизованной критичности для изучения и моделирования социальных систем и исторических процессов».

Список литературы

1. Shimada I., Koyama T. Theory for complex system's social change: an application of a general 'criticality' model // Interdisciplinary Description of Complex Systems. 2015. Vol. 13. Is. 3. P. 342–353.
2. Бак П. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. М.: УРСС, 2014. 276 с.
3. Sneppen K., Bak P., Flyvbjerg H., Jensen M.H. Evolution as a self-organized critical phenomenon // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1995. Vol. 92. Is. 11. P. 5209–5213.
4. Buchanan M. Ubiquity. The Science of History or Why the World is Simpler Than We Think. London: Weidenfeld & Nicolson, 2000. 288 p.
5. Turcotte D.L. Self-organized criticality // Reports on Progress in Physics. 1999. Vol. 62. Is. 10. P. 1377–1377.
6. Turcotte D.L., Rundle J.B. Self-organized complexity in the physical, biological, and social sciences // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2002. Vol. 99. Is. 1. P. 2463–2465.
7. Brunk G.G. Self-Organized Criticality: A New Theory of Political Behaviour and Some of Its Implications British Journal of Political Science. 2001. Vol. 31. Is. 2. P. 427–445.

8. Brunk G.G. Why Are So Many Important Events Unpredictable? Self-Organized Criticality as the «Engine of History» // Japanese Journal of Political Science. 2002. Vol. 3. Is. 1. P. 25–44.
9. Brunk G.G. Why Do Societies Collapse? A Theory Based on Self-Organized Criticality // Journal of Theoretical Politics. 2002. Vol. 14. Is. 2. P. 195–230.
10. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Подлазов А.В. Историческая динамика. Взгляд с позиций синергетики // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2004. № 85. С. 1–16. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2004-85> (дата обращения: 10.12.2019).
11. Малинецкий Г.Г. Чудо самоорганизованной критичности: вступительная статья // Бак П. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. М.: УРСС, 2013. С. 13–44.
12. Бородкин Л.И. Моделирование исторических процессов: от реконструкции реальности к анализу альтернатив. СПб.: Алетейя, 2016. 304 с.
13. Бородкин Л.И. Вызовы нестабильности: концепции синергетики в изучении исторического развития России // Уральский исторический вестник. 2019. № 2 (63). С. 127–136.
14. Подлазов А.В. Новые математические модели, методы и характеристики в теории самоорганизованной критичности: дис. ... канд. физ-мат. наук. М: Ордена Ленина Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2001. 120 с.
15. Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Application of the theory of self-organized criticality to the investigation of historical processes // Sage Open. 2016. Vol. 6. Is. 4. P. 1–10. DOI: 10.1177/2158244016683216. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2158244016683216> (дата обращения: 10.12.2019).
16. Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Social Movements Viewed in the Context of Self-Organized Criticality Theory // Acesso Livre. 2017. Is. 8. P. 75–91. URL: https://revistaacessolivre.files.wordpress.com/2017/12/acesso-livre-n-8_jul-dez_2017_a.pdf (дата обращения: 10.12.2019).
17. Tadić B., Dankulov M.M., Melnik R. Mechanisms of Self-Organized Criticality in Social Processes of Knowledge Creation // Physical Review E. 2017. Vol. 96. Issue 3. P. 032307. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.032307> (дата обращения: 10.12.2019).

References

1. Shimada I., Koyama T. Theory for complex system's social change: an application of a general «criticality» model. Interdisciplinary Description of Complex Systems. 2015. Vol. 13. Is. 3. P. 342–353.
2. Bak P. (1996) How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality. New York. Copernicus, 212 p.
3. Sneppen K., Bak P., Flyvbjerg H., Jensen M.H. Evolution as a self-organized critical phenomenon. Proceedings of the National Academy of Sciences. 1995. Vol. 92. Is. 11. P. 5209–5213.
4. Buchanan M. Ubiquity. The Science of History or Why the World is Simpler Than We Think. London: Weidenfeld & Nicolson, 2000. 288 p.
5. Turcotte D.L. Self-organized criticality. Reports on Progress in Physics. 1999. Vol. 62. Is. 10. P. 1377–1377.
6. Turcotte D.L., Rundle J.B. Self-organized complexity in the physical, biological, and social sciences. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2002. Vol. 99. Is. 1. P. 2463–2465.
7. Brunk G.G. Self-Organized Criticality: A New Theory of Political Behaviour and Some of Its Implications British Journal of Political Science. 2001. Vol. 31. Is. 2. P. 427–445.
8. Brunk G.G. Why Are So Many Important Events Unpredictable? Self-Organized Criticality as the «Engine of History». Japanese Journal of Political Science. 2002. Vol. 3. Is. 1. P. 25–44.
9. Brunk G.G. Why Do Societies Collapse? A Theory Based on Self-Organized Criticality. Journal of Theoretical Politics. 2002. Vol. 14. Is. 2. P. 195–230.
10. Kurdyumov S.P., Malinetskiy G.G., Podlazov A.V. (2004) Historical dynamics. A view from the standpoint of synergetics]. Preprints of the Institution of Applied Mathematics named after M.V. Keldysh RAS. Issue 85. P. 1–16. Available at: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2004-85> (date accessed: 10.12.2019).

11. Malinetsky G.G. (2013) Miracle of self-organized criticality. How does nature work: the theory of self organized criticality. Moscow. P. 13–56.
12. Borodkin L.I. (2016). Modeling of historical processes: from the reconstruction of reality to the analysis of alternatives. St. Petersburg. Aleteyia. P. 304.
13. Borodkin L.I. (2019). Challenges of instability: the concepts of synergetics in the study of the historical development of Russia. Ural Historical Bulletin. Issue 2. P. 127–136.
14. Podlazov A.V. (2001) New mathematical models, methods and characteristics in the theory of self-organized criticality. Ph. D. theses. Moscow. M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics. P. 120.
15. Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Application of the theory of self-organized criticality to the investigation of historical processes. Sage Open. 2016. Vol. 6. Is. 4. P. 1–10. DOI: 10.1177/2158244016683216. Available at: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2158244016683216> (date accessed: 10.12.2019).
16. Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Social Movements Viewed in the Context of Self-Organized Criticality Theory. Acesso Livre. 2017. Is. 8. P. 75–91. Available at: https://revistaacessolivre.files.wordpress.com/2017/12/acesso-livre-n-8_jul-dez_2017_a.pdf (date accessed: 10.12.2019).
17. Tadić B., Dankulov M.M., Melnik R. Mechanisms of Self-Organized Criticality in Social Processes of Knowledge Creation. Physical Review E. 2017. Vol. 96. Issue 3. P. 032307. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.032307> (date accessed: 10.12.2019).

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-132-142

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ КАК ИННОВАЦИОННАЯ ПЛОЩАДКА ПРОСВЕТИТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ С МОЛОДЫМ ПОКОЛЕНИЕМ

Е.Г. Мирлин, гл. научн. сотр. Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН, доктор 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*

И.А. Черевковская, гл. спец. Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН, *ir-ch@mail.ru*

Рецензент: В.Ф. Смолькин

Рассмотрен опыт просветительской работы с молодым поколением в целях пробуждения у его представителей интереса к профессиям геолога и горняка. Разрабатываются и реализуются инновационные подходы по трем направлениям: практическая работа с геологическими и палеонтологическими образцами; проведение «геологических экспедиций», где дети приобретают навыки работы полевого геолога, знакомятся с объектами горной промышленности и осуществляют формирование личных геологических коллекций; изучение геологических процессов и структур путем проведения специализированных экскурсий по экспозициям музея. Анализируется эффективность применяемых методов, обсуждаются пути их дальнейшего развития и совершенствования. Многие задачи решаются в рамках проектов и программ Межвузовского академического центра навигации по специальностям горно-геологического профиля. Полученный опыт может представлять интерес как для других естественно-научных музеев, так и для организаций, ведущих просветительскую работу с молодым поколением.

Ключевые слова: просветительская работа, профессия геолога, музей, геологические образцы, экспедиция, геологические структуры, геологические процессы.

GEOLOGICAL MUSEUM AS AN INNOVATIVE PLATFORM OF EDUCATIONAL WORK WITH THE YOUNGER GENERATION

E.G. Mirlin, Chief Researcher, Vernadsky State Geological Museum of RAS, Ph.D., Professor, *egmmir@gmail.com*

E.V. Khotchenkov, Head of Department, Vernadsky State Geological Museum of RAS, Doctor of Engineering, *jek79@mail.com*

I.A. Cherevkovskaya, Chief Specialist, Vernadsky State Geological Museum of RAS, *ir-ch@mail.ru*

The experience of educational work with the younger generation in order to awaken its interest in the professions of geologist and miner is considered. Innovative approaches are developed and implemented in three areas: practical works with geological and paleontological samples; conducting «geological expeditions», where children acquire the skills of a field geologist, get acquainted with the objects of the mining industry and carry out the formation of personal geological collections; the study of geological processes and structures through specialized excursions in the Museums expositions. The efficiency of the applied methods is analyzed, the ways of their further development and improvement are discussed. Many tasks are solved in the framework of projects and programs

of the Interuniversity Academic center of navigation in the field of mining and geological profile. The experience gained may be of interest to the other natural science museums, as well as to organizations that carry out educational work with the younger generation.

Keywords: educational work, profession of a geologist, the museum, geological samples, expedition, geological structures, geological processes.

Постановка задачи

В последние годы после долгого периода отсутствия у молодежи интереса к горно-геологическим профессиям наблюдается обратная тенденция: рост внимания к этим специальностям со стороны подрастающего поколения. В связи с этим возникает актуальный вопрос: как восполнить возникший пробел в профессиональной ориентировке молодежи и стимулировать тягу к данным профессиям? Здесь мы излагаем опыт, накопленный при решении данной задачи на площадке Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН (ГГМ РАН) в соответствии с проектами и программами Межвузовского академического центра навигации по специальностям горно-геологического профиля (Центр) [2–4]. Этот опыт может оказаться полезным как для других естественно-научных музеев, так и для организаций, выполняющих просветительскую работу с молодым поколением.

Научно-просветительская работа в ГГМ РАН осуществляется в соответствии с программой фундаментальных научных исследований по теме «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». Данное направление просветительской работы осуществляется в рамках программ и проектов Центра при активной поддержке Академии горных наук.

Геологический музей – один из старейших естественно-научных музеев России: первая геологическая коллекция поступила в музей в 1759 г. от промышленников Демидовых. В музее находится богатейшее собрание горных пород, минералов, палеонтологических остатков. Разумеется, весьма важным является просветительский аспект, нацеленный на то, чтобы богатство музея служило возрождению отечественной горно-геологической школы – одной из ведущих в мире в недавнем прошлом. Концепция музея предполагает существенное развитие просветительского направления его деятельности [1, 5], при этом в качестве приоритета рассматриваются именно инновационные решения в распространении геологических знаний среди юных посетителей музея. Многолетний опыт работы с ними убедительно свидетельствует о том, что методические приемы пассивного ознакомления с артефактами, которые представлены в его экспозициях, уже не эффективны и не вызывают у молодежи ожидаемого отклика. Современным молодым людям, знакомым с компьютером и Интернетом, требуется значительно более активная деятельность, направленная на ознакомление с каменным материалом, что обуславливает необходимость поиска новых форм работы с ними.

Существуют и другие побудительные мотивы инновационного подхода к решению указанной задачи. Во-первых, в основе геологической науки лежит изучение геологических объектов разного масштаба: от образцов горных пород, минералов, палеонтологических остатков до крупных геологических структур на основе реального наблюдения в полевых условиях. Ознакомление с указанными объектами, хотя бы на начальном уровне, должно стать важнейшим элементом просветительской работы. Во-вторых, предмет геологии как науки – не только горные породы, минералы, но и структуры земной коры и происходящие в ней процессы. Необходимо развивать музейные методы показа этих процессов, ознакомления с ними молодежи, пробуждать интерес к их изучению. Обратимся к тому, как эти требования к просветительской работе реализуются на площадке ГГМ РАН.

Работа с геологическими образцами

Приходя в геологический музей, молодой посетитель имеет возможность не только ознакомиться с разнообразными экспозициями, но и поработать с геологическими образцами, т.е. «пообщаться» с камнем. Отметим, что в основе работы геолога – изучение образцов горных пород, минералов, палеонтологических остатков. Важнейшая задача специалистов музея в реализации этого направления – составление специализированных учебных коллекций, не только достаточно представительных, но и привлекательных внешне. Важно подобрать из богатейших фондов музея коллекции, состоящие из зрительно эффектных образцов, с которыми легко работать детям разного возраста. Специалисты музея сформировали коллекции по направлениям, составляющим фундамент геологии: «Горные породы», «Минералы», «Органические остатки», «Полезные ископаемые». По каждому направлению имеется набор из нескольких коллекций, каждая из которых насчитывает от 15 до 30 образцов. Дети знакомятся с этими коллекциями, причем занятия строятся таким образом, что устный рассказ опытного специалиста-геолога сочетается с непосредственной работой каждого ребенка с конкретным образцом (рис. 1).



Рис. 1. Работа юных посетителей с геологическими образцами под руководством геолога-специалиста

В процессе занятий руководитель сначала дает характеристику образца, обращая внимание детей на его внешний вид и основные свойства. Затем дается более расширенная информация о составе образца, его природе, значении для решения конкретных практических задач. При необходимости занятия сопровождаются показом слайдов, иллюстрирующих возможную природу определенного типа горной породы и минерала, полезного ископаемого.

Опыт проведения занятий и общения с детьми показывает, что для каждого молодого человека возможность не только посмотреть на геологический образец в витрине музея, но и взять его в руки, повернуть, осмотреть с разных сторон имеет важное значение для пробуждения интереса к дальнейшему ознакомлению с предметом. Возможности руководителя занятий существенно расширяются благодаря тому, что помещения для работы с детьми оснащены микроскопами, под которыми они могут посмотреть шлифы горных пород и минералов, что позволяет ознакомиться с их строением более глубоко.

Следующий важный элемент ознакомления детей с геологическими образцами – участие в интерактивных игровых занятиях. Сценарии занятий разрабатываются заранее специали-

стами: минералогами, палеонтологами, вулканологами, петрологами. Цель – закрепление знаний, полученных при практической работе в лаборатории, а также развитие наблюдательности и внимания к особенностям строения конкретных образцов; умение распознавать простейшие минералы (к примеру, кварц, слюду, галит и др.) и горные породы (гранит, базальт, известняк и др.). Тем самым решается задача первоначального ознакомления с методами работы геолога с образцами.

К занятиям с игровой компонентой относится, например, занятие под названием «Ищите золото». Понятно, что золото всегда привлекает повышенное внимание и широкой публики, и детей. Пользуясь этим, руководитель-геолог рассказывает об условиях формирования месторождений золота различного типа, о районах их распространения, о геологических поисковых признаках золотоносных жил и россыпей, о том, как геолог на практике использует эти признаки в своих поисках. Другими словами, золото является своего рода средством привлечения внимания детей к работе геолога-практика.

Наконец, еще один важный этап работы с детьми – зачисление их в клуб юных геологов, действующий на базе Центра. В клуб вступают дети, как правило, проявившие наибольшую заинтересованность в изучении геологических образцов, активно участвующие в проектах Центра. В настоящее время число членов клуба составляет около 40 человек. Современное оборудование клуба (микроскопы, интерактивные доски и макеты, специализированные экспозиции, кинозал) дает возможность не только получить теоретические знания, но и на практике ознакомиться с различными направлениями геологической науки. Занятия в клубе проводятся в форме лекционных и практических занятий, экскурсий и мастер-классов (рис. 2).



Рис. 2. Интерактивная игровая, где юные посетители музея имеют возможность и «строить» горы (и различные типы рельефа), и изучать их геологическую природу

Еще один важный элемент работы клуба – организация и проведение коллективных экскурсий в музеи, близкие по профилю к ГГМ РАН. К ним относятся Палеонтологический и Минералогический музеи Российской академии наук, Государственный Дарвиновский музей, Музей землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова и др. Кроме того, члены клуба имеют возможность ознакомиться с работой лабораторий высших учебных заведений, близких по профилю к Геологическому музею: Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), Московского государственного университета геодезии

и картографии, Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина (рис. 3). Всего за год (с октября по май) с ребятами в клубе проводится более 150 занятий. Именно члены клуба в первую очередь отправляются в «геологические экспедиции».



Рис. 3. Занятие в лаборатории Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина

Важнейший элемент профессиональной работы геолога – полевые работы в экспедициях. Современный геолог не только совершает экспедиции в горы и на равнины, в пустыни и оазисы, но и отправляется в моря и океаны, погружается на океанское дно, взлетает в космос. В этом присутствует романтическое начало профессии, которое может привлечь молодое поколение. Естественно, весь спектр экспедиционных работ современного геолога охватить невозможно, однако клуб уже накопил немалый опыт участия школьников в «полевых работах». Цели работы в «экспедициях» разнообразны: закрепление и расширение теоретических и практических знаний, полученных во время занятий в аудиториях; изучение особенностей геологического строения региона проведения экспедиций; приобретение практических навыков работы геолога в полевых условиях; ознакомление с деятельностью предприятий, осуществляющих добычу минерального сырья; воспитание бережного отношения к окружающей природе; обучение основам безопасности в полевых условиях. Знакомство с культурными достопримечательностями региона прохождения практики повышает общий уровень образования детей и расширяет их кругозор.

В 2018–2019 гг. были проведены занятия по изучению строения геологических разрезов, по сбору образцов минералов, горных пород и органических остатков в пойме Москвы-реки, в Щелковском, Домодедовском, Воскресенском карьерах, а также в карьерах, расположенных неподалеку от станции Гжель (рис. 4).

При работе в полевых условиях существенное внимание уделяется специальным занятиям по работе с картой и компасом, ориентированию на местности, приобретению навыков организации полевого лагеря, а также по поисково-спасательным работам, оказанию первой медицинской помощи, эвакуации пострадавших, использованию плавсредств. Подобного рода занятия проводятся на территории не только Московской, но и прилегающих областей.

Благодаря выездам «в поле» дети получают возможность непосредственно ознакомиться с проявлениями тех геологических процессов, о которых им рассказывается на практических занятиях в аудиториях. В частности, они имеют возможность наблюдать следы тектон-

нических процессов: нарушения и несогласия залегания слоев разных типов и масштабов, их разрывы и смещения, складчатые формы (рис. 5). Участники работ самостоятельно отбирают геологические образцы и тем самым могут закрепить полученные ранее знания о типах горных пород и минералов. Для членов клуба осуществляются выезды в различные регионы нашей страны. При выборе региона учитывается ряд факторов: наличие наглядных, доступных для изучения геологических объектов, месторождений полезных ископаемых, горнодобывающих предприятий, соответствующая инфраструктура для размещения детей.



**Рис. 4. Работа на борту затопленного карьера
(район станции Гжель, Московская обл.)**



**Рис. 5. Члены Клуба юных геологов изучают формы складчатости
(геологическая практика в Республике Адыгея. Хаджохское ущелье)**

Известно, что одним из наиболее изученных в геологическом отношении регионов России является Урал. Одновременно здесь весьма развита сеть горнодобывающих предприятий. В связи с этим один из детских геологических «полевых сезонов» был проведен именно в этом регионе. Всего в «экспедиции» принимали участие 18 человек, включая детей, их

родителей и руководителей практики. Длительность «экспедиции» составила 10 дней. Ребята ознакомились с Сафьяновским месторождением медно-колчеданных руд (г. Реж); на Березовском золоторудном месторождении (г. Березовский) посетили учебную шахту и попробовали себя в роли старателей; побывали на крупнейшем в мире месторождении асбеста, где даже увидели производство взрывных работ; самостоятельно нашли жилу благородного талька в окрестностях Шабровского карьера (рис. 6). На отвалах Малышевского изумрудно-бериллиевого месторождения ребятам была предоставлена возможность самостоятельно найти кристаллы берилла. Таким образом, ребята увидели, как работает производство, получили возможность задать интересующие вопросы специалистам и руководителям предприятий.



Рис. 6. Посещение талькового карьера в пос. Шабровский (Свердловская обл.)

Кроме работ в поле, участники поездки посетили Уральский геологический музей, Музей первого золота России в г. Екатеринбурге, Минералогический музей «Самоцветная полоса Урала», созданный при Режевском природно-минералогическом заказнике.

Другой важнейший регион России с развитой горнодобывающей промышленностью – Донецкий угольный бассейн (Ростовская обл.). Экспедиция в этот регион также состоялась весной 2018 г., в ней приняли участие 20 членов Клуба юных геологов. Целью было ознакомление с объектами угледобывающего производства: «Южная угольная компания», ООО «Шахтоуправление «Садкинское» (г. Шахты, Ростовская обл.), а также ОАО «Центральная обогатительная фабрика «Гуковская» (г. Гуково, Ростовская обл.). Дети имели возможность ознакомиться со строением и геологией угольных разрезов, работой обогатительной фабрики, могли наблюдать труд шахтеров непосредственно на угольном производстве. В Музее шахтерского труда имени Л.И. Никулина (г. Гуково, Ростовская обл.) ознакомились с историей развития угольной промышленности этого региона (рис. 7).

Выезды детей на длительные «производственно-геологические практики» под началом опытных руководителей осуществлялись и в более отдаленные регионы нашей страны: в Крым, Адыгею, Хибины, а также в Республику Армения.

Таким образом, за время прохождения практики ребята знакомятся с горным производством, имеют возможность пообщаться со специалистами, наблюдают геологические явления и процессы, которые невозможно увидеть в стенах музея, получают навыки полевой работы, учатся вести полевую документацию, формируют собственные и клубные коллекции.

По возвращении из «экспедиций» их участники составляют отчеты, где излагают результаты своих наблюдений и свои впечатления о новых местах, об их природе. Приобретенный опыт весьма помогает ребятам, когда они принимают участие в различных конкурсах и мероприятиях. Опыт проведения детских геологических практик показывает их эффективность: юные участники начинают лучше понимать суть профессии геолога и горняка, полезность их труда, важность для народного хозяйства страны, что, несомненно, окажет влияние на выбор профессии в дальнейшем.



**Рис. 7. Посещение Музея шахтерского труда им. Л.И. Никулина
(г. Гуково, Ростовская обл.)**

Тематические экскурсии по экспозициям музея

Основной предмет показа в геологическом музее — геологический образец. Но, как упоминалось выше, молодому человеку — современному «электронного» века уже недостаточно просто ходить по залам музея вдоль витрин и рассматривать образцы. Для привлечения его внимания необходимо сопровождать пассивный осмотр образцов интересным и содержательным объяснением, своего рода лекцией. С этой целью были разработаны разнообразные экскурсии, ориентированные на залы музея: «Как человек с камнем знакомился», «Удивительное путешествие по планете Земля», «Планета Земля», «Мир минералов», «Геологический очерк окрестностей Москвы», «Геологическая кунсткамера», «Исторические коллекции из собрания музея из века XIX в век XXI» и «Обзорная экскурсия». Опыт работы с детьми тем не менее показывает, что одних экскурсий, даже занимательных и содержательных, для привлечения внимания юных посетителей недостаточно. В связи с этим возникло и развивается новое направление просветительской работы: интерактивные игровые занятия. Так, разработаны сценарии и проводятся циклы занятий под названиями: «Секреты Данилы-Мастера», «В гостях у хозяйки Медной горы» и др. Это же направление просветительской работы включает создание и реализацию игровых путеводителей и квестов по самым разнообразным темам: «Откуда что берется», «Камень в руках мастера», «Маленькое путешествие по оболочкам Земли», «Каменная летопись Земли», «По золотому следу», «В гости к вулкану», «Геологическая история Подмосковья» и др.

Взаимодействие с учительским сообществом свидетельствует о том, что учителя по естественно-научным дисциплинам весьма нуждаются в поддержке со стороны музейных работников. В связи с этим были разработаны сценарии специализированных занятий «Музей в помощь учителю». Они ориентированы на школьников различных возрастов для закрепле-

ния и расширения знаний, полученных в рамках преподавания им учебных дисциплин в общеобразовательных учреждениях (география, химия, история, биология). В помощь учителю подготовлены лекции и подобраны научно-популярные фильмы отраслевой и общеобразовательной тематики.

Как говорилось выше, предмет изучения геологии значительно шире, чем изучение геологических образцов, – это и крупные структуры земной коры, такие как Уральские и Кавказские горы, и процессы, приводящие к их возникновению. Возникает, следовательно, непростая задача показа их музейными средствами и рассказа о них подрастающему поколению. С этой целью был разработан методический прием «Разговор с камнем». Его основой является своего рода «общение с камнем» – минералом, образцом горной породы или полезного ископаемого, окаменелостью. Он рассчитан на школьников 6–8-х классов, хотя в будущем возможно продолжение и для школьников старших классов. Его цель – формирование у школьников наблюдательности применительно к каменной оболочке Земли – литосфере. Главное условие такого «разговора» – правильно поставить вопрос камню и получить на него грамотный ответ. Разумеется, центральная роль в этом «разговоре» принадлежит преподавателю. Нами разработан перечень вопросов и ответов, адресованных камню, к этому перечню прилагается иллюстративный материал. Пользуясь этим материалом, преподаватель получает возможность стимулировать развитие у школьников способности подмечать интересные явления, обычно ускользающие от их внимания. Геологи – это люди, которые не только понимают «язык» камней, но и служат «переводчиками» с их языка на язык, понятный людям. Рассматривая подиумы и витрины с образцами горных пород и минералов в Геологическом музее, посетитель, по сути, задает камням вопросы относительно не только их внешнего вида, но и происхождения. В свою очередь, определенный геологический образец предлагает посетителю загадку о природе своего внешнего вида, своего возникновения. Тематический путеводитель по экспозициям помогает найти ответы на возникающие вопросы.

К данной разработке примыкает другой методический цикл: «Геология вокруг тебя», рассчитанный на школьников младших классов и дошкольников. Его цель – обратить внимание детей на геологические объекты, которые окружают их в повседневной жизни: от обычных камушков на дороге до каменных плит, которыми облицованы здания, а также станции метро в Москве и других городах. После этого следует рассказ о природе этих камней, их происхождении и использовании в повседневной жизни, о пользе и необходимости труда геологов и горных инженеров.

Эффективность используемых методов

Один из путей оценки эффективности разработанных и используемых методов работы с детьми – их успехи в различных конкурсах, близких по направлению к горно-геологической тематике. Юные посетители музея активно в них участвуют и регулярно занимают высокие места. Это относится, в частности, к Московской открытой олимпиаде школьников по геологии МГУ. Так, в феврале 2018 г. в число призеров по общему суммарному количеству набранных баллов попали четыре участника нашего клуба, завоевав два диплома 1-й степени и два диплома 3-й степени, а также набрав самый высокий балл среди всех участников Олимпиады (88 из 90 возможных). В 2019 г. воспитанники также заняли ряд призовых мест: диплом 1-й и диплом 3-й степени по общему суммарному количеству набранных баллов, почетную награду «За стремление познать камень» и призовое 3-е место в интеллектуальной игре «Что? Где? Когда?» в командных соревнованиях. Можно с уверенностью предполагать: эти показатели достигнуты благодаря тому, что дети получили новые знания в процессе работы с геологическими образцами. Как свидетельствует накопленный опыт, участие детей в учрежденных Центром конкурсах позволяет раскрыть возможности каждого ребенка и выявить наиболее способных из всех детей.

Среди проектов соревновательного направления особое место занимает конкурс «Богатство недр моей страны». Цель конкурса, рассчитанного на учащихся разного возраста, – знаком-

ство школьников с основными сведениями о минеральных ресурсах России, их значимости для народного хозяйства, проверка знаний детей в этой области. Предмет конкурса – детские исследовательские проекты и фотоработы. Призеры конкурса награждаются грамотами и памятными сувенирами, а победители получают соответствующие дипломы, ценные призы и подарки. При этом руководители проектов – учителя и специалисты – награждаются грамотами Городского методического центра Департамента образования г. Москвы. Данный конкурс привлекает повышенное внимание как школьников, так и преподавателей школ. Всего на конкурс в 2019 г. было представлено более 200 работ из всех округов Москвы и Подмосковья, а также из Челябинска, Новосибирска, Мурманской обл. (г. Ковдор), Владикавказа, Красноярска, Севастополя и др. Кроме конкурса «Богатство недр моей страны» учреждены и успешно проводятся и другие конкурсные проекты: «С любовью к краю своему», «В таланте все едины», «Вырасти своего студента» (автор и руководитель проектов – доктор техн. наук Титова А.В.) – участвуя в этом проекте, ребята задумываются о выборе своей будущей профессии.

Важный аспект эффективности музейной просветительской работы – ее оценка родителями тех детей, которые регулярно посещают занятия в музее и участвуют в экспедициях. Постоянное общение с родителями позволяет сделать некоторые выводы: по наблюдениям родителей, у детей расширяется кругозор, они начинают подмечать явления в окружающей природе, мимо которых ранее проходили равнодушно; у них постепенно появляется интерес даже к самому невзрачному камню, и они стремятся понять его природу.

Еще один объективный показатель эффективности проводимой инновационной просветительской работы – рост числа посетителей музея. Этот показатель постепенно вырос с 11 000 человек, посещавших музей в среднем за год, до уровня 85 000 и 70 000 человек по итогам 2017 и 2018 гг. соответственно.

Заключение

Использование в Государственном геологическом музее им. В.И. Вернадского РАН инновационных методов, о которых говорилось в статье, показывает их эффективность в пробуждении интереса молодого поколения к профессиям геолога и горняка. Об этом можно косвенно судить по росту количества посетителей музея, в первую очередь школьного возраста. С другой стороны, этот подход ставит новые проблемы, связанные с необходимостью совмещения музейной обстановки «классического» музея, каким является Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, с инновационными методическими приемами и технологиями.

Список литературы

1. Малышев Ю.Н., Наумов Г.Б. Геологический музей и его просветительская роль // В кн.: Наука и просвещение. Посвящается 150-летию со дня рождения академика В.И. Вернадского. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. 256 с. С. 4–16.
2. 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.
3. Малышев Ю.Н., Титова А.В., Титов Г.И. Современный подход в создании непрерывной системы образования и профориентации учащихся образовательных учреждений для формирования сегмента «школа – вуз – производство» // Горная промышленность. 2017. № 6 (136). С. 32–34.
4. Малышев Ю.Н., Титова А.В. Роль и задачи естественнонаучных музеев в образовательном процессе по специальностям горно-геологического профиля // Горная промышленность. 2017. № 2. С. 108–109.
5. Рундквист Д.В., Мирлин Е.Г., Смолькин В.Ф. Разработка и совершенствование концепции развития ГГМ РАН // В кн.: Наука и просвещение. К 250-летию Геологического музея РАН. М.: Наука, 2009. 366 с. С. 7–17.

6. Титова А.В., Наумов Г.Б. Экология и просвещение // Горная промышленность. 2017. № 3 (133). С. 82–86.

References

1. Malyshev Yu.N., Naumov G.B. Geological Museum and its educational role. Science and education. Dedicated to the 150th anniversary of the birth of academician VI Vernadsky. Ekaterinburg. LLC «UIPC», 2012. P. 4–16. 256 P.
2. Malyshev Yu.N., Titova A.V., Puchkov A.L., Titov G.I. Principled model of creating a unified communication environment for the formation of a personnel reserve for the production and science of the mineral sector of the Russian economy. Mining industry. 2018. No. 1 (137). P. 17–20.
3. Malyshev Yu.N., Titova A.V., Titov G.I. Modern approach in creating a continuous system of education and profiling of students of educational institutions for the formation of the segment «School-University-production». Mining industry. 2017. No. 6 (136). P. 32–34.
4. Malyshev Yu.N., Titova A.V. The Role and tasks of natural science museums in the educational process in the specialties of mining and geological profile. Mining industry. 2017. No. 2. P. 108–109.
5. Rundqvist D.V., Mirlin E.G., Smolkin V.F. Development and improvement of the concept of development of GSM RAS. Science and education. To the 250th anniversary of the Geological Museum of RAS. Moscow. Nauka. 2009. P. 7–17. 366 P.
6. Titova A.V., Naumov G.B. Ecology and education. Mining industry. 2017. No. 3 (133). P. 82–86.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-143-156

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА РОТОРНО-ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ БПЛА ЗА РУБЕЖОМ

А.Н. Костюченков, нач. сект. ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», канд. техн. наук, ankostyuchenkov@ciam.ru

В.П. Минин, инж.-конст. ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», vpmimin@ciam.ru

С.А. Клементьев, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, klements@extech.ru

А.В. Федин, аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, avfedin@extech.ru

Рецензент: И.А. Репина

Целью проведенного исследования являлся анализ научно-технических аспектов разработки и производства современных роторно-поршневых двигателей (РПД) для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) ведущих иностранных государств и разработка рекомендаций по приоритетам их развития в Российской Федерации.

В ходе проведения исследования обобщен, проанализирован и систематизирован значительный объем информации об основных, наиболее значимых достижениях в создании авиационных РПД за рубежом. По результатам проведенного анализа показаны основные факторы и тенденции, ряд конкретных направлений, наиболее характерных для проведения исследований и разработок, определяющих развитие авиационных РПД в наиболее развитых странах, даны рекомендации по разработке и производству РПД в России.

Ввиду остроты проблемы импортозамещения зарубежных РПД для БПЛА в Российской Федерации показанные в статье результаты исследования являются актуальными, могут быть использованы заинтересованными специалистами при решении проблем разработки, производства и использования РПД в интересах обороны и безопасности России.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, двигатели внутреннего сгорания, импортозамещение, малоразмерные авиационные двигатели, роторно-поршневые двигатели, научно-технический потенциал, оборона, гражданская и военная техника, патенты, Европейское агентство авиационной безопасности.

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CREATION AND PRODUCTION OF ROTARY PISTON ENGINES FOR UAVS ABROAD

A.N. Kostyuchenkov, Head of the Sector, FSUE «CIAM named after P.I. Baranov», Doctor of Engineering, ankostyuchenkov@ciam.ru

V.P. Minin, Design Engineer, FSUE «CIAM named after P.I. Baranov», vpmimin@ciam.ru

S.A. Klementyev, Head of Department, SRI FRCEC, klements@extech.ru

A.V. Fedin, Analyst, SRI FRCEC, avfedin@extech.ru

The purpose of the study was to analyze the scientific and technological aspects of the development and production of modern rotary piston engines (MRPE) for unmanned aerial vehicles (UAVs) of leading foreign countries and to develop recommendations on the priorities of their development in the Russian Federation.

In the course of the study, a significant amount of information on the main, most significant achievements in the creation of aviation MRPE abroad was summarized, analyzed and systematized.

Based on the results of the analysis, the main factors and trends are shown, a number of specific areas most typical for research and development, determining the development of aviation MRPE in the most developed countries, recommendations for the development and production of MRPE in Russia are given.

Due to the severity of the problem of import substitution of foreign MRPE for UAVs in the Russian Federation, the results of the study shown in the article are relevant, can be used by interested specialists in solving the problems of development, production and use of MRPE in the interests of defense and security of Russia.

Keywords: unmanned aerial vehicles, internal combustion engines, import substitution, small aircraft engines, rotary piston engines, scientific and technological potential, defense, civil and military equipment, patents, European aviation security Agency.

Современный мир переживает период активного развития беспилотных летательных аппаратов. Расширяется спектр задач использования БПЛА, существенно видоизменяются их конструкции, общее количество в мире стремительно растет. Особенно бурно развитие этого вида техники происходит в наиболее развитых странах за рубежом.

В то же время в России развитие БПЛА отстает от аналогичных программ наиболее развитых стран. Такое отставание во многом связано с тем, что в стране до недавнего времени практически полностью отсутствовало, в частности, промышленное производство широкого спектра отечественных авиационных поршневых двигателей (АПД) мощностью до 300 л.с., соответствующих задачам развития БПЛА, легких самолетов и вертолетов. Сложившееся положение в создании двигателей для силовых установок БПЛА с учетом антироссийских санкций, введенных рядом стран Запада, особенно остро ставит вопросы их импортозамещения.

Само создание силовых установок является важнейшей частью программ развития БПЛА. В настоящее время в мире в составе силовых установок БПЛА используется большое разнообразие типов двигателей: поршневые, газотурбинные, электрические, гибридные и др. При этом самые распространенные среди них – поршневые ДВС традиционной компоновки. Их конструкции достигли высокого уровня технического совершенства и широко используются по различным назначениям. Они активно применяются в БПЛА самолетного и вертолетного типа, например в сегментах среднего класса (взлетной массой от 20 до 200 кг, временем полета до нескольких часов и высотой до 3–5 км) и тяжелого класса (взлетной массой более 200 кг до 1500 кг, временем полета 10–12 ч и высотой до 9–10 км).

В России в целях преодоления критической зависимости от зарубежных технологий и промышленности в авиастроении в 2015 г. был разработан, преимущественно для БПЛА, первый полностью отечественный поршневой двигатель АПД-45. Двигатель создан Инженерным центром «Итлан» в качестве возможной альтернативы АПД иностранного производства (например, итальянскому Zanzottera 498, применяемому, в частности, на БПЛА Aeronautics Aerostar). Двигатель АПД-45 представляет собой двухтактный бензиновый двухцилиндровый ДВС с воздушным охлаждением и горизонтальным оппозитным расположением цилиндров, имеет мощность около 37 кВт, массу 30 кг, систему ограничения по вибрациям, температурам и давлению. Он способен обеспечить полет беспилотного аппарата на высоте более 6000 м и при этом значительно дешевле зарубежных аналогов (рис. 1).

Дальнейшее совершенствование поршневых авиационных двигателей традиционных компоновок существенно ограничено. Это связано, с одной стороны, с возрастающими техническими проблемами и затратами по их развитию и с получением относительно невысокого итогового эффекта – с другой. Поэтому большое внимание в разработках авиационных двигателей стало уделяться силовым установкам нетрадиционных конструктивно-компоновочных схем. Так, в последние десятилетия в технически наиболее развитых странах активно ведутся исследования, производятся и используются в составе силовых установок БПЛА авиационные роторно-поршневые двигатели.

Перспективность применения РПД на БПЛА имеет ряд причин, связанных с преимуществами роторно-поршневых двигателей перед другими двигателями по ряду существенных параметров:

- низкий уровень вибраций: двигатель полностью механически уравновешен, что позволяет БПЛА нести на борту чувствительную высокоточную аппаратуру;
- высокие динамические характеристики: за счет отсутствия в механизме преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное РПД способен выдерживать гораздо более высокие обороты по сравнению с традиционными ДВС и имеет меньшую неравномерность крутящего момента;
- более высокая мощность при небольшом объеме камеры сгорания: однороторный двигатель выдает мощность в течение трех четвертей каждого оборота выходного вала, в отличие от четырехтактного поршневого двигателя, который выдает мощность только в течение одной четверти каждого оборота выходного вала (например, современный РПД с объемом рабочей камеры 1300 см³ имеет мощность 220 л.с., а с турбокомпрессором – 350 л.с.);
- высокая удельная мощность (л.с./кг): масса движущихся частей в РПД гораздо меньше, чем в аналогичных по мощности поршневых двигателях, так как в его конструкции отсутствуют коленчатый вал и шатуны;
- меньшие массогабаритные показатели: конструкция двигателя содержит меньше деталей, в том числе подвижных. Габаритный объем РПД примерно втрое меньше, чем у поршневых двигателей, при одинаковой мощности, что позволяет, соответственно, уменьшить объем мотоотсека БПЛА;
- меньшая склонность к детонации;
- уникальные возможности стандартизации и унификации: используя одну секцию (модуль или группу), состоящую из статора и ротора с уплотнениями, можно создавать двигатель мощностью, пропорциональной числу используемых секций – одной, двух или трех;
- современный уровень технологии и производства позволяет решать все технические вопросы производства РПД и обеспечения приемлемого ресурса этих двигателей;
- выигрыш по сравнению с электрическими двигателями при длительном полетном цикле БПЛА;
- меньшая себестоимость и др.

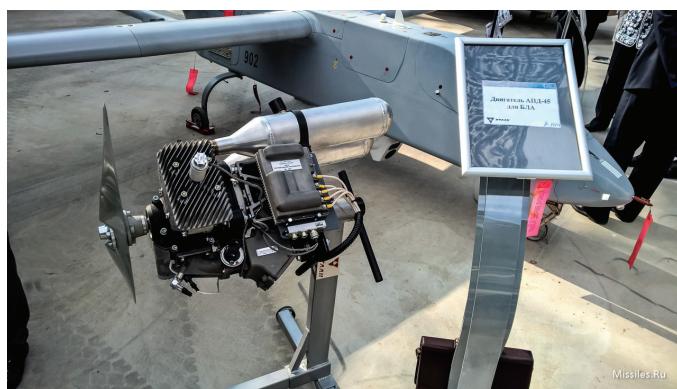


Рис. 1. Поршневой двигатель АД-45 для БПЛА

Решение проблем замены на российском рынке двигателей иностранного производства отечественными в сегменте АПД предполагает изучение передового зарубежного опыта производства и применения авиационных двигателей для различных классов БПЛА, анализ научно-технических аспектов и особенностей их разработки.

В настоящее время наиболее значимых успехов в создании и применении БПЛА, в том числе в создании и использовании РПД, добились такие страны, как США, Израиль, Великобритания, Германия, Австрия, Китай, Япония и др.

БПЛА также активно разрабатываются и используются в таких «неавиационных» государствах, как Австралия, Алжир, Бельгия, Болгария, Нидерланды, Греция, Индия, Иран, Испания, Италия, Норвегия, Пакистан, Польша, Португалия, Канада, КНДР, Словения, Турция, Финляндия, Франция, Хорватия, Чехия, Швейцария, Швеция, Южная Африка, Южная Корея и даже Таиланд, Тунис.

Масштабные работы по созданию и производству РПД для авиации и наземного применения наиболее активно ведутся многими фирмами в зарубежных странах: UAV, Cubewano (Великобритания); WST, Audi, Aixro, Wankel Rotary (Германия); Mistral (Швейцария); Austro engine (Австрия); Rotapower (США) и др.

В последние годы значительно возрос интерес к разработкам РПД в Канаде (OMC, LML, Pratt Whitney), а также в Японии (Mazda, Nitto). Широкое применение нашли РПД английской фирмы UAV в БПЛА, производимых в разных странах: в Израиле, Франции, Китае и др. (более 30 стран). Швейцарская фирма Mistral производит авиационные РПД в диапазонах мощностей 200–360 л. с. в атмосферном варианте и с турбонаддувом.

Подавляющее большинство БПЛА оснащено двигателями, разрабатываемыми компанией UAV (Великобритания). В табл. 1–3 показаны и приведены основные технические характеристики наиболее популярных роторных двигателей из линейки UAV.

Таблица 1



Основные технические характеристики двигателя AR-801

| | |
|--|--|
| Тип | Роторный, односекционный |
| Объем камеры сгорания, см ³ | 294 |
| Мощность, л.с. (6000 об/мин) л.с. (8000 об/мин) с карбюратором л.с. (8000 об/мин) с системой впрыска | 40 51 60 |
| Топливо | Mogas (этилированный и неэтилированный), AVGAS 100LL |
| Расход топлива при мощности 70 % от максимальной, г/л.с.·ч Расход топлива при максимальной мощности, г/л.с.·ч | 224 251 |
| Система зажигания | Электронная система зажигания с магнитными датчиками |
| Способ запуска | Электростартер |
| Охлаждение | Водяное охлаждение |
| Габаритные размеры, мм | 305 × 325 × 249 |
| Вес двигателя, кг | 19,5 |

В Австрии разработчиком и изготовителем авиационных ДВС является дочернее предприятие известной авиастроительной компании Diamond Aircraft Industries – фирма Austro Engine. В продуктовой линейке данного предприятия есть РПД AE 50R – однороторный двигатель AVGas мощностью 40,4 кВт, сухой массой 25 кг. Так, например, AE 50R устанавливается на один из самых популярных БПЛА вертолетного типа – Schiebel Camcopter S-100. Хорошее соот-

ношение мощности и веса обеспечивает его уникальное положение на мировом рынке. С момента запуска первой линейки продукции AE 50R, роторный двигатель мощностью 40,4 кВт, имеет успешный послужной список, включающий более 1100 установок в планерах и БПЛА ведущих производителей. Следует отметить, что данный двигатель сертифицирован Европейским агентством авиационной безопасности (EASA) в соответствии с подразделом Н, ч. 22, и может применяться на сверхлегких летательных аппаратах (табл. 4). В январе 2013 г. было объявлено, что Austro Engine завершает разработку нового роторно-поршневого двигателя мощностью 80 л.с. (58 кВт) и весом 27 кг (AE 80R) [12].

Таблица 2



Основные технические характеристики двигателя AR-731

| | |
|--|-------------------------------------|
| Тип | Роторный, односекционный |
| Объем камеры сгорания, см ³ | 208 |
| Мощность, л.с. (7800 об/мин) | 38 |
| Топливо | Mogas Regular grade или AVGAS 100LL |
| Расход топлива при установившемся полете, г/л.с.·ч | 233 |
| Расход топлива при максимальной мощности, г/л.с.·ч | 255 |
| Система зажигания | Электронное бесконтактное магнето |
| Охлаждение | Воздушное |
| Габаритные размеры, мм | 600 × 328 × 262 |
| Вес двигателя, кг | 9,9 |

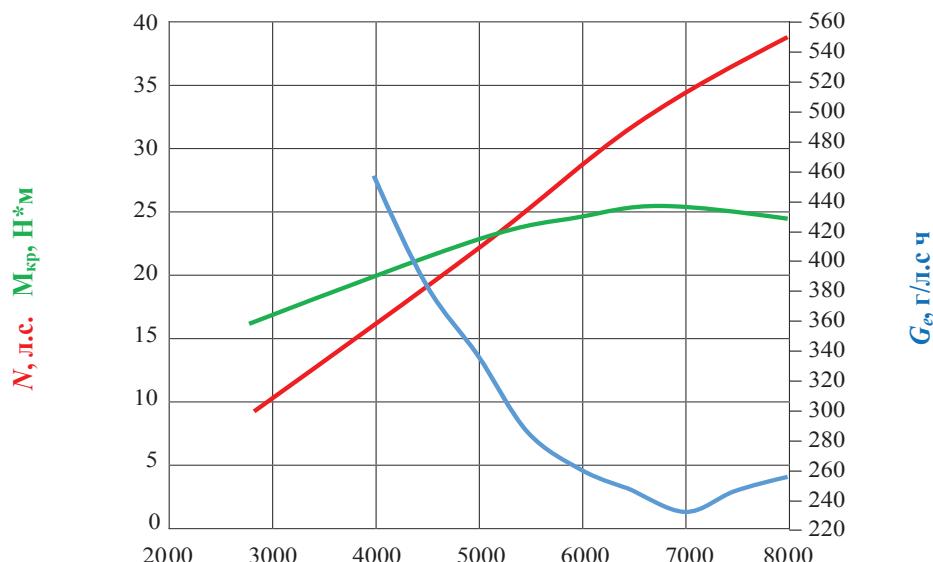
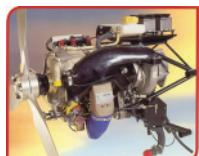


Рис 2. Кривые мощности, крутящего момента и удельного расхода топлива AR-731

Таблица 3



**Основные технические характеристики двигателя
AR-682**

| | |
|--|---|
| Тип | Роторный, двухсекционный |
| Объем камеры сгорания, см ³ | 588 |
| Мощность, л. с. (6000 об/мин) | 40 |
| л. с. (8000 об/мин) с карбюратором | 51 |
| л. с. (8000 об/мин) с системой впрыска | 60 |
| Топливо | Mogas (этилированный и неэтилированный), AVGAS 100LL |
| Расход топлива, г/л.с.·ч | 233...246 |
| Система зажигания | Электронная система зажигания с магнитными датчиками и полностью экранирована |
| Передаточное отношение редуктора | от 1,6 до 2,2, стандартное отношение 1,93 |
| Охлаждение | Водяное охлаждение |
| Вес двигателя с генератором, кг | 51 |

Таблица 4



**Основные технические характеристики двигателя
AE 50 R**

| | |
|--|---|
| Тип | Роторный, карбюраторный, двухсекционный |
| Объем камеры сгорания, см ³ | 294 |
| Мощность, л. с. (7750 об/мин) | 55 |
| Крутящий момент Н·м (7750 об/мин) | 52,5 |
| Топливо | Неэтилированное AVGAS 100LL или RON 95 |
| Масло | Синтетическое, одобренное для данного двигателя |
| Система питания | 1 карбюратор |
| Способ запуска | Электростартер |
| Система электроснабжения | Генератор переменного тока 14 В, 18 А |
| Охлаждение | Водяное охлаждение с воздушным охлаждением ядра ротора. Охладитель: 50 % гликоль, вода. |
| Вес двигателя, включая генератор, кг | 27,8 |

Кривые мощности и крутящего момента АЕ 50 R представлены на рис. 3.

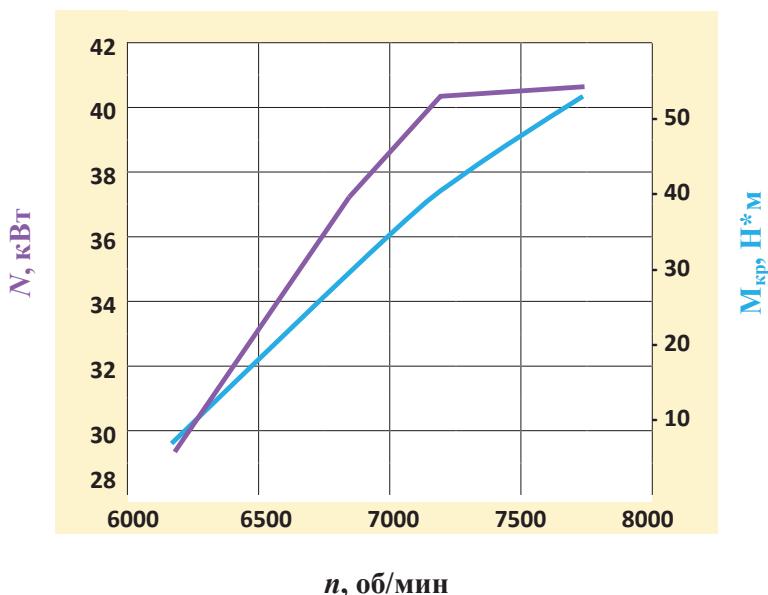
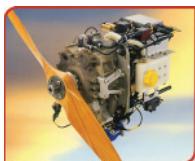


Рис. 3. Характеристики двигателя АЕ 50 Р

Индийская фирма Aeronautical Development Establishment, подразделение компании National Aerospace Laboratories, разработала РПД для установки на БПЛА собственного изготовления – Nishant. Общий вид и основные характеристики этого двигателя представлены в табл. 5.

Таблица 5



Основные технические характеристики двигателя AerDE

| | |
|--|---|
| Тип | Роторный, односекционный |
| Объем камеры сгорания, см ³ | 324 |
| Степень сжатия | 9,2:1 |
| Мощность, л. с./кВт (8000 об/мин) | 55/41 |
| Топливо | AVGAS 100LL |
| Способ запуска | Электростартер |
| Охлаждение | Картер – вода/гликоль, ротор – воздушное охлаждение |

Британская фирма Cubewano Ltd является разработчиком и производителем РПД для миниатюрных БПЛА. Характерная особенность двигателей – возможность изготовления (по требованию заказчика) с воздушным или жидкостным охлаждением. Также эти двигатели могут работать на автомобильном бензине или авиационном керосине. Общий вид и основные характеристики одного из двигателей, разрабатываемых Cubewano Ltd, представлены в табл. 6.

Таблица 6



**Основные технические характеристики двигателя
Sonic 35**

| | |
|--|---|
| Тип | Роторный, односекционный |
| Объем камеры сгорания, см ³ | 35 |
| Мощность, л. с. л. с. (8000 об/мин) | 6–11 7,5 |
| Топливо | Автомобильный бензин или керосин (JP8/JET A1) в смеси с маслом |
| Расход топлива, г/л.с.·ч | 360 |
| Охлаждение | Охлаждение воздухом от набегающего потока, возможна встроенная система охлаждения |
| Вес двигателя, кг | 3,5 |

В Японии производством РПД для автомобильной промышленности занимается фирма Mazda. Следует заметить, что на базе силовых агрегатов этой фирмы изготавливается много авиационных конвертированных двигателей, в основном в США. Также силовой агрегат РПД от Mazda является основой авиационных РПД, изготавляемых фирмой Mistral Engines (Швейцария). Широкое распространение как в авиамоделизме, так и для миниатюрных БПЛА получили двигатели японской фирмы O.S. Engines, в частности двигатель O.S. Engines-49-PI Type II.30. Его общий вид и основные характеристики представлены в табл. 7.

Таблица 7



**Основные технические характеристики двигателя
O.S. Engines-49-PI Type II.30**

| | |
|--|--------------------------|
| Тип | Роторный, односекционный |
| Объем камеры сгорания, см ³ | 4,97 |
| Мощность, кВт (17000 об/мин) | 0,934 |
| Топливо | Спирт |
| Вес двигателя, кг | 0,335 |

В Германии разработкой и изготовлением авиационных РПД занимаются несколько фирм. Наиболее продвинутые результаты представлены фирмами WinkelSuperTec GmbH и Aixro GmbH. Общий вид и характеристики двигателей представлены в табл. 8.

Большинство представленных двигателей имеют мощность 30–60 л.с., что является наиболее востребованным диапазоном для аппаратов наземной и авиационной техники, в том числе и беспилотной.

Анализ публикаций и других информационных источников показывает, что разработкой авиационных РПД занимаются в основном небольшие частные компании. Некоторые из

них, такие как Wankel Supertec, UAV, имеют значительный опыт, другие же, например Cubewano, Aixro, появились на рынке сравнительно недавно. Финансирование разработки перспективных технологических решений идет за счет государственных, в том числе и военных, программ [4, 8].

Таблица 8



**Основные технические характеристики двигателя
Wankel SuperTec GmbH KKM 501**

| | |
|---|--|
| Тип | Роторный, односекционный |
| Объем камеры сгорания, см ³ | 294 |
| Мощность, кВт (5500 об/мин) | 48 |
| Крутящий момент, Н·м (4500 об/мин) | 90 |
| Топливо | Авиационный керосин и дизельное топливо |
| Расход топлива, г/л.с.·ч | 195 |
| Система зажигания | Электронная система зажигания с магнитными датчиками |
| Способ запуска | Электростартер |
| Охлаждение | Водяное охлаждение |
| Габаритные размеры, мм | 305 × 325 × 249 |
| Вес двигателя с системой охлаждения и генератором, кг | 24,4 |

Большинство представленных двигателей разработаны за счет частных или внутренних инвестиций самих компаний-разработчиков и являются коммерческими продуктами. При этом одни и те же образцы двигателей могут устанавливаться на гражданскую и военную технику. Например, Austro AE 50R весьма широко применяется на ультралегких самолетах и мотопланерах типа Schleicher ASH 30 и в то же время является основой силовой установки одного из самых популярных БПЛА вертолетного типа Schiebel Camcopter S-100, используемого для решения как гражданских, так и военных задач.

Исключением из представленного обзора является индийский двигатель AerDE для БПЛА Nishant – данный двигатель разработан за счет средств военного ведомства [11].

По сравнению с традиционными поршневыми двигателями, к числу достоинств роторно-поршневых относится то, что они наиболее просто могут быть адаптированы к возможности работы как на «легких» топливах, так и на «тяжелых». Air Force Research Laboratory (AFRL) изучает возможности применения «тяжелых» топлив для малых БПЛА [7].

В рамках рассмотренной информации можно выделить долгосрочное сотрудничество Министерства обороны США с одним из основных производителей РПД – британской фирмой UEL. Подтверждение этому представлено в публикациях. Кроме того, можно выделить ряд фирм (Cubewano, Wankel AG, Rotron и др.), которые разрабатывают такие двигатели.

Одним из наиболее крупных зарубежных проектов в области РПД, представленных за последние годы, являются роторно-поршневые двигатели новой конструкции, разрабатываемые фирмой Liquid piston. По открытой информации, одним из источников финансирования данного проекта является агентство DARPA. На рис. 4 представлены сравнительные

габариты двигателей мощностью 5 л.с., слева расположен классический поршневой двигатель Honda Metropolitan, а справа – двигатель, выполненный по новой схеме Liquid Piston X Mini.



**Рис. 4. Двигатели Honda Metropolitan
и Liquid Piston X Mini**

Предлагаемый двигатель позиционируется разработчиком как универсальная основа силовых установок различного применения. Одно из основных направлений – его применение в БПЛА.

Развитие БПЛА – одно из приоритетных направлений для иранской авиационной промышленности. В настоящее время Иран серийно производит несколько типов БПЛА военного и гражданского назначения. Фирма Iran Aircraft Manufacturing Company выпускает разведывательные БПЛА и воздушные мишени. Семейство беспилотных летательных аппаратов типа Ababil выполнено по схеме «утка» с высокорасположенным крылом, аппараты оснащены одним роторно-поршневым двигателем Р73, приводящим в движение толкающий воздушный винт.

В 1988 г. южнокорейская фирма Daewoo (в настоящее время входит в состав корпорации KAI) приступила к разработке проекта разведывательного БПЛА «Доесяй», который оснащен одним роторно-поршневым двигателем AR 731 мощностью 38 л.с., приводящим двухлопастный толкающий воздушный винт.

Большое внимание в зарубежных исследованиях уделено созданию современных систем, обеспечивающих работоспособность авиационных РПД и ЛА, для которых они предназначены. Наиболее часто рассматриваются системы топливоподачи и зажигания, позволяющие повысить эффективные параметры и использовать различные виды топлив, в том числе «тяжелые» и газообразные. Также развивается направление систем запуска и генерирования электроэнергии для нужд силовой установки и бортового оборудования БПЛА. Наиболее часто стали применяться электромашины обратимой конструкции, в которых они сначала используются в качестве электродвигателя для обеспечения запуска, а после этого переходят в режим генерации тока. Кроме того, такая конструкция может выполнять функции маховика, который необходим для снижения неравномерности вращения РПД.

В части исследования новых технологических решений для создания перспективных РПД рассматривается возможность применения новых материалов и покрытий, в том

числе керамических. Кроме снижения массово-габаритных характеристик это позволит значительно повысить ресурсные показатели РПД. Много внимания уделено применению так называемых аддитивных технологий, позволяющих в кратчайшие сроки создавать опытные, а в перспективе – и серийные образцы наиболее сложных и ответственных деталей: ротора, статора, уплотнительных элементов и др. Наибольшее количество таких исследований проводится в Великобритании, Австрии, Германии, Японии и США. Кроме того, можно отметить группы исследователей, располагающиеся в Израиле, Китае и Индии.

Среди зарубежных компаний можно выделить патентную активность фирмы Pratt & Whitney Canada. В течение последних 5–6 лет данная компания оформляет по 2–3 заявки в год на патенты, связанные с РПД. Данная фирма занимается разработкой более мощных – авиационных газотурбинных – двигателей, но в 2010 г. были публикации об участии Pratt & Whitney Canada в проекте DARPA и Lockheed (США) по созданию универсального наземно-авиационного транспорта с вертикальным взлетом и посадкой Aerial Reconfigurable Embedded System (ARES).

В ближайшем будущем в России для обеспечения энергопотребности в силовых установках БПЛА планируется создание семейства РПД на базе унифицированных роторно-статорных групп. Данный подход позволяет в кратчайшие сроки создавать линейки отечественных двигателей различной мощности (50; 120 и 300 л.с.) для БПЛА широкого спектра действия. Данные двигатели могут быть предназначены как для непосредственного привода воздушных винтов традиционных БПЛА самолетного, вертолетного или аэростатического типа, так и для использования в составе гибридных силовых установок БПЛА вертикального взлета-посадки типа мультикоптеров.

Следует также отметить и имеющиеся недостатки современных РПД, оказывающих влияние на возможность их использования в составе силовой установки БПЛА:

– состояние уплотнителей. Площадь пятна контакта очень невелика, а перепад давления очень высокий. Следствием износа уплотнителей становятся высокие утечки между камерами, падение КПД и токсичность выхлопа. Проблема быстрого износа уплотнителей на высокой скорости вращения вала была решена применением высоколегированной стали;

– склонность к перегреву. Камера сгорания имеет серповидную форму, т.е. при маленьком объеме у нее относительно большая площадь. При температуре горения рабочей смеси основные потери энергии идут через излучение, интенсивность которого пропорциональна четвертой степени температуры; с точки зрения снижения удельной поверхности и за счет этого потерь теплоты идеальная форма камеры сгорания – сферическая. Лучистая энергия не только бесполезно покидает камеру сгорания, но и приводит к перегреву рабочей полости.

Большой объем работ, направленный на возрождение авиационного поршневого двигателестроения в России, решение технических проблем, создание конкурентоспособных отечественных РПД, проведен в ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова». В течение последних 5 лет выполнен ряд НИР по исследованию современных путей создания авиационных РПД, разработаны подходы и методики, позволяющие создавать высокоэффективные отечественные РПД. Так, результатом этих работ стало то, что создан и проходит испытания базовый односекционный РПД-демонстратор в классе мощности 100 л.с. (рис. 5).

При планировании будущих работ по созданию семейства авиационных РПД мощностью до 300 л.с. необходимо учитывать возможность двойного применения таких двигателей (военного и гражданского), а также перспективу их диверсификации в части использования в других областях техники. Приоритетные темы для исследований в данном направлении научно-технологического развития Российской Федерации в интересах обороны и обеспечения безопасности государства целесообразно определить по следующим направлениям:

– исследования методов совершенствования рабочего процесса авиационных роторно-поршневых двигателей и их систем;

- применение перспективных технологий, включающих аддитивные;
- использование новых конструкционных материалов (керамика, композиты и др.);
- вопросы снижения затрат при серийном производстве и жизненном цикле РПД с учетом возможности диверсификации и двойного применения;
- исследование возможностей гибридных силовых установок с РПД.

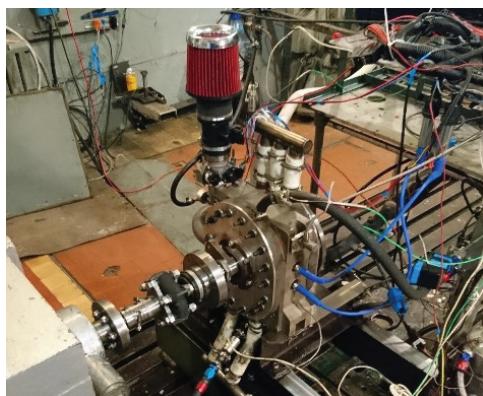


Рис. 5. Односекционный РПД-650 на испытательном стенде

Исходя из анализа мирового уровня развития технологий, направленных на создание малоразмерных авиационных двигателей, а также потребностей создания современных российских БПЛА различного назначения, наиболее правильным и актуальным направлением являются разработка и производство линейки отечественных РПД мощностью от 10 до 300 л.с. При этом направление актуализации создания авиационных РПД для ЛА малой авиации и БПЛА в полной мере соответствует задачам достижения индикаторов развития поршневых двигателей, поставленным основополагающими документами государственного планирования развития науки и технологий в авиастроении, – в частности, снижения их удельной массы на 20–25 %, удельного расхода топлива на 15–20 %, увеличения назначенного ресурса не менее чем до 4000 моточасов и др. к 2030 г. [18–20].

Как уже отмечалось, современные отечественные существующие и разрабатываемые БПЛА оснащены в основном зарубежными двигателями, причем большинство их изготавливается в странах Европейского союза. Данный факт вызывает достаточно высокий уровень опасений из-за возможного запрета поставки в Россию этого вида техники. Так, в случае введенных в строй БПЛА тип «Форпост», «Орлан» и др. возможно продолжение их эксплуатации до истечения ресурсов двигателей, а в случае с вновь разрабатываемыми БПЛА («Корсар», «Орион», «Форпост-р» и др.) отказ в поставках двигателей будет означать полную остановку проводимых работ.

Проведенный анализ научно-технических аспектов разработки и производства современных роторно-поршневых двигателей для беспилотных летательных аппаратов, практики их применения в ведущих иностранных государствах позволяет сделать вывод о том, что переход к силовым установкам с РПД отечественного производства будет способствовать достижению необходимых их технико-экономических характеристик и БПЛА в целом, но сопряжен с рисками реализации новых технических решений.

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № 075-00938-19-02.

Список литературы

1. Костюченков А.Н., Зеленцов А.А., Семенов П.В., Минин В.П. Разработка односекционного роторно-поршневого двигателя-демонстратора на основе современной комплексной методики расчета // Вестник СГАУ. 2014. № 5 (47). Ч. 2.
2. Бениович В.С., Апазиди Г.Д., Бойко А.М. Ротопоршневые двигатели. М.: Машиностроение, 1968.
3. Клементьев С.А., Федин А.В., Зубарев В.С. Основные факторы, оказывающие влияние на развитие единого транспортного пространства Российской Федерации // Инноватика и экспертиза. М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. 2015. Вып. 1 (14). С. 252–260.
4. Michael Irvin Resor Computational investigation of rotary engine homogeneous charge compression ignition feasibility M.S. Thesis B.S., Wright State University, 2014.
5. Thanapol Poojitanont, Heinz Peter Berg, Husni Taher Izweik, Axel Himmelberg, Multi-fuel Wankel Engine for Small Aircrafts and UAVs Applications: Strategies of the Engine Development Brandenburg University of Technology Cottbus, Germany, ISABE—2007–1128.
6. Ryoji Kagawa, Syunki Okazaki, Nobuhiro Somyo, Yuji Akagi, Study of a Direct-Injection Stratified-Charge Rotary Engine for Motor Vehicle Application, Mazda Motor Corp, 2004.
7. Asela A. Benthera Wadumesthrige Computational Investigation of Optimal Heavy Fuel Direct Injection Spark Ignition in Rotary Engine M.S. Thesis B.S., Wright State University, 2011.
8. Brian C. Huffman Rotary Engine Friction Test Rig Development Report Army Research Laboratory, ARL-CR-685, 2011.
9. Huai-Lung Ma, Cheng-Hsiung Kuo, Chien-Chang Chen, Chamber Contour Design and Compression Flow Calculations of Rotary Engine, Journal Of C.C.I.T., Vol. 39, No.1, May, 2010.
10. Palmer Dean, Coating reduces engine wear in unmanned aircraft. Eureka ISSN: 0261-2097, 2005.
11. Sarveswaran V., Murthy Y.V.S., and Ganesan V. Altitude performance comparison of a Wankel engine with carburetor and fuel injection, SAE India paper 0301017, 2003.
12. EAA News – Austro Successfully Tests the AE 80R Rotary Engine.
13. URL: <https://ok.ru/yulsun38/topic/67254830312238> (дата обращения: 11.11.2019).
14. Павлущенко М., Евстафьев Г., Макаренко И. Беспилотные летательные аппараты: угроза распространения и перспективы развития. М.: Права человека, 2005. 612 с.
15. Финкельберг Л.А. Авиационные поршневые двигатели XXI века. URL: http://www.ciam.ru/press-center/interview/?PAGEN_1=3 01.12.2017 (дата обращения: 11.11.2019).
16. URL: <https://www.aeroexpo.com.ru/prod/austro-engine-gmbh/product-171935-1654.html> (дата обращения: 11.11.2019.)
17. URL: <http://www.bwbooks.net/index.php?id1=4&category=tehnika&author=pavlushenko-m&book=2005&page=197> (дата обращения: 11.11.2019.).
18. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 № 1734-р).
19. Национальный план развития науки и технологий в авиастроении на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу (Протокол № 1 совещания Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28.06.2011).
20. Основы государственной политики Российской Федерации в области авиационной деятельности на период до 2020 г. (утверждены Президентом Российской Федерации 01.04.2012).

References

1. Kostyuchenkov A.N., Zelentsov A.A., Semyonov P.V., Minin V.P. Development of a single-section rotary-piston engine demonstrator on the basis of modern complex calculation methods. Messenger of SSAU. 2014. No. 5 (47). Part 2.
2. Benovic V.S., Apazidy G.D., Boyko A.M. Rotary piston engines. Moscow. Mashinostroyenie. 1968.

3. Klementyev S.A., Fedin A.V., Zubarev V.S. Main factors influencing the development of the unified transport space of the Russian Federation. Innovatika and expert examination. Moscow. SRI FRCEC. 2015. Vol. 1 (14). P. 252–260.
4. Michael Irvin Resor Computational investigation of rotary engine homogeneous charge compression ignition feasibility M.S. Thesis B.S., Wright State University, 2014.
5. Thanapol Poojitanont, Heinz Peter Berg, Husni Taher Izweik, Axel Himmelberg. Multi-fuel Wankel Engine for Small Aircrafts and UAVs Applications: Strategies of the Engine Development Brandenburg University of Technology Cottbus. Germany. ISABE-2007-1128.
6. Ryoji Kagawa, Syunki Okazaki, Nobuhiro Somyo, Yuji Akagi. Study of a Direct-Injection Stratified-Charge Rotary Engine for Motor Vehicle Application. Mazda Motor Corp. 2004.
7. Asela A. Benthera Wadumesthrige Computational Investigation of Optimal Heavy Fuel Direct Injection Spark Ignition in Rotary Engine M.S. Thesis B.S. Wright State University. 2011.
8. Brian C. Huffman Rotary Engine Friction Test Rig Development Report, Army Research Laboratory. ARL-CR-685. 2011.
9. Huai-Lung Ma, Cheng-Hsiung Kuo, Chien-Chang Chen, Chamber Contour Design and Compression Flow Calculations of Rotary Engine, Journal of C.C.I.T. Vol. 39. No.1. May. 2010.
10. Dean Palmer, Coating reduces engine wear in unmanned aircraft. Eureka ISSN: 0261-2097. 2005.
11. Sarveswaran V., Murthy Y.V.S., Ganesan V. Altitude performance comparison of a Wankel engine with carburetor and fuel injection, SAE India paper 0301017. 2003.
12. EAA News – Austro Successfully Tests the AE 80R Rotary Engine.
13. Available at: <https://ok.ru/yulsun38/topic/67254830312238> (date accessed: 11.11.2019).
14. Pavlushenko M., Evstafiev G., Makarenko I. Unmanned aerial vehicles: the threat of proliferation and development prospects. Moscow. Human Rights, 2005. 612 c.
15. Finkelberg L.A. Aviation piston engines of the XXI century. Available at: http://www.ciam.ru/press-center/interview/?PAGEN_1=3 01.12.2017 (accessed 11.11.2019).
16. Available at: <https://www.aeroexpo.com.ru/prod/austro-engine-gmbh/product-171935-1654.html> (accessed 11.11.2019.)
17. Available at: <http://www.bwbooks.net/index.php?id1=4&category=tehnika&author=pavlushenko-m&book=2005&page=197> (accessed 11.11.2019).
18. Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 (Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 22.11.2008 No. 1734-P).
19. National plan for the development of science and technology in the aircraft industry for the period up to 2025 and beyond (Minutes No. 1 of the meeting of the Ministry of industry and trade of the Russian Federation dated 28.06.2011).
20. Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of aviation activities for the period up to 2020 (approved by the President of the Russian Federation on 01.04.2012).

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-157-166

ЛАЗЕРНАЯ РЕФРАКТОГРАФИЯ – НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕФРАКТОМЕТРИИ ЖИДКИХ СРЕД

И.Л. Расковская, доц. НИУ «МЭИ», канд. физ.-мат. наук, доц., *raskovskail@mail.ru*
Б.С. Ринкевичюс, проф. НИУ «МЭИ», д-р физ.-мат. наук, *rinkevbs@mail.ru*
С.П. Юркевичюс, вед. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, доц.,
jursp@extech.ru

Рецензент: И.Н. Павлов

Сформулированы основные принципы метода лазерной рефрактографии, представлены результаты его применения для экспериментальной визуализации оптически неоднородных жидкых сред. Лазерная рефрактография – новая информационно-измерительная технология, основанная на зондировании среды структурированными лазерными пучками и цифровой обработке изображений, позволяющей восстанавливать параметры неоднородностей в жидкостях. Представлены схемы измерительных установок и типичные рефракционные изображения.

Ключевые слова: рефрактометрия, структурированное лазерное излучение, рефракция, оптически неоднородные жидкости, рефрактография.

LASER REFRACTOGRAPHY – A NOVEL TECHNOLOGY OF LIQUIDS REFRACTOMETRY

I.L. Raskovskaya, Associate Professor, Educational & Research University «MEI»,
Doctor of Physics and Mathematics, *raskovskail@mail.ru*

B.S. Rinkevichyus, Professor, Educational & Research University «MEI», Ph. D.,
inkevbs@mail.ru

S.P. Yurkevichyus, Leading Researcher, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, Associate
Professor, *jursp@extech.ru*

This paper is devoted the base principles of the method of laser refractography and the results of its application in experimental visualization of optically inhomogeneous liquids. Laser refractography is a novel information-measurement technique based on the probing of fluid flows with a structured laser beams, digital recording of the refraction images obtained, and their computer processing with a view to reconstructing the parameters of the flows. Block diagrams of measuring laser systems are shown, and typical refracograms are presented.

Keywords: refractometry, structured laser radiation, refraction, optically inhomogeneous liquids, refractography.

Введение

Классические методы рефрактометрии адаптированы главным образом для измерения показателя преломления однородных сред или локальных его значений в выбранных малых областях среды. Для обнаружения и визуализации градиентных оптических неоднородностей, как правило, используются теневые методы [2, 5, 6, 9], позволяющие в целом получить представление о форме и динамике наблюдаемого объекта. Однако для количественной диагностики параметров среды теневые изображения градиентных неоднородностей в расфокусирован-

ном лазерном пучке пригодны только в случае слабой рефракции, когда пространственное изменение интенсивности изображения линейно связано с градиентом показателя преломления. В случае сильной рефракции, особенно при наличии каустик, количественная диагностика данным методом затруднена. В этом случае целесообразно проводить измерения на основе зондирования среды структурированным лазерным излучением, что позволяет регистрировать не изменение интенсивности, а смещение структурных элементов пучка [7, 8, 11, 14].

Методика количественной диагностики неоднородностей среды на основе смещения элементов структурированного экрана используется также в спекл-рефрактометрии и при применении теневого фонового метода, однако при решении обратной задачи восстановления значений показателя преломления здесь предполагается условие слабой рефракции и не учитываются объемные эффекты в среде. Кроме того, фоновый и спекл-экраны являются пассивными и не позволяют визуализировать рефракцию оптического излучения в среде.

Основные принципы метода лазерной рефрактографии

Для решения указанных проблем в работах [7, 8] было предложено использовать дискретизацию прямотеневого изображения, т. е. разбиение его на отдельные структурные элементы, что позволяет измерять рефракционное смещение этих элементов относительно их исходного положения. Дискретизация изображения на физическом уровне может быть осуществлена на основе использования для зондирования структурированных лазерных пучков, формируемых с помощью дифракционных оптических элементов [1]. На рис. 1 в верхнем ряду показаны изображения неоднородностей в жидкости в широком пучке, в нижнем ряду — визуализация таких же неоднородностей в структурированных пучках.

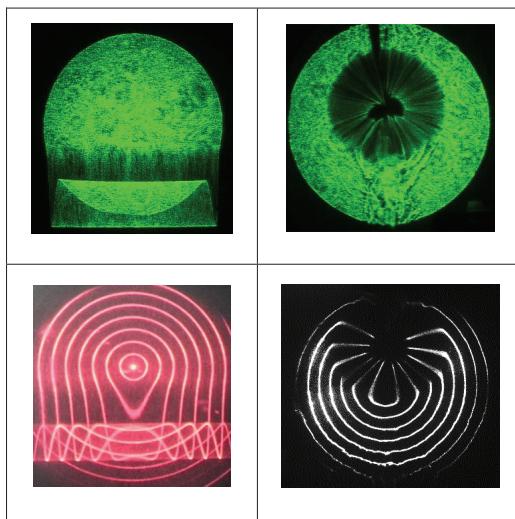


Рис. 1. Экспериментальная визуализация оптических неоднородностей с помощью широких и структурированных лазерных пучков

Применение пучков с дискретной модуляцией интенсивности в сечении позволяет в качестве информативного параметра использовать смещение элементов структуры пучка и восстанавливать значения показателя преломления в неоднородности на основе применения строгих методов решения обратной задачи рефракции. Дискретизация изображений позволяет осуществлять как их качественный визуальный анализ, так и количественную диагностику на основе измерения смещения элементов, изменения их формы и размеров,

регистрации положения особых точек и каустик. Сведение задачи измерения интенсивности прошедшего излучения в плоскости экрана к нахождению геометрических параметров дискретного изображения делает возможным решение обратной задачи восстановления поля показателя преломления.

Идея структурирования (дискретизации) изображения на физическом уровне послужила основой разработки основных принципов метода количественной диагностики жидких сред, адаптированного к условиям сильной рефракции и получившего рабочее название «лазерная рефрактография».

Лазерная рефрактография (ЛР) [8] – метод непосредственной визуализации и количественной диагностики неоднородных сред, основанный на использовании структурированного лазерного излучения (СЛИ) [7], получаемого преимущественно с помощью дифракционных оптических элементов (ДОЭ) [1]. Метод ЛР относится к классу градиентных рефракционных методов (рис. 2), однако отличительной его особенностью является то, что зондирование исследуемой среды осуществляется структурированными лазерными пучками, т. е. пучками с заданной регулярной структурой пространственной модуляции интенсивности в каждом его сечении. Исходная структура пучка, описываемая рядом информационных параметров, очевидно изменяется при его рефракции в оптической неоднородности, что позволяет на основе полученных экспериментально рефракционных изображений (рефрактограмм) осуществлять количественную диагностику и визуализацию неоднородности.

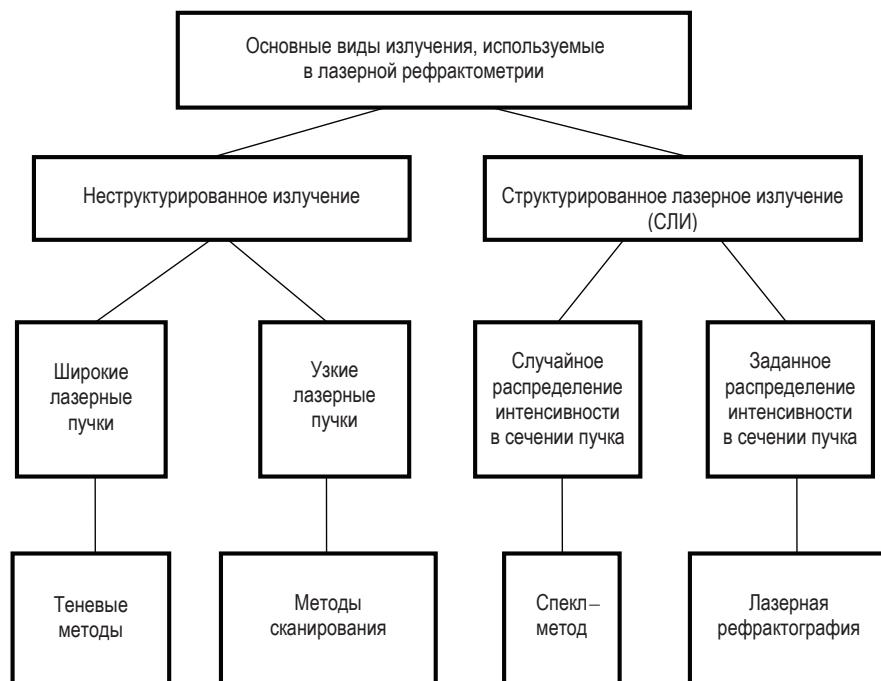


Рис. 2. Классификация методов лазерной рефрактометрии по типу сканирующего излучения

Элементной базой преобразования гауссовского лазерного пучка в структурированный являются ДОЭ. ДОЭ представляет собой пропускающую или отражающую пластинку с фазовым микрорельефом, рассчитанным в рамках теории дифракции. Наиболее перспективными для использования в ЛР являются ДОЭ, фокусирующие лазерное излучение в тонкие

линии или малые области пространства (рис. 3), что соответствует структурированному пучку с дискретной модуляцией интенсивности [7]. В этом случае элементы структуры пучка непосредственно визуализируются в его сечении и рефрактограммы имеют контурный графический характер, что, собственно, и послужило причиной появления термина «рефрактография».

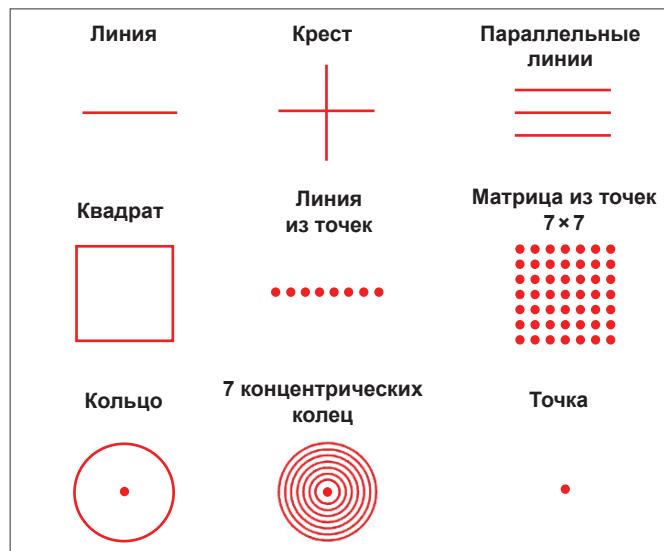


Рис. 3. Примеры сечений структурированных пучков, формируемых с помощью ДОЭ

В ЛР используется излучение, формируемое непосредственно на выходе источника и обладающее достаточной интенсивностью для визуализации зондирующих пучков внутри среды, что дает возможность построения трехмерных рефрактограмм, информативных для решения обратных задач. Кроме того, такой способ формирования СЛИ позволяет сохранить его высокую когерентность и обеспечить малую расходимость пучков, что позволяет в большинстве случаев использовать для описания СЛИ представления геометрической оптики (ГО).

В рамках ГО модель СЛИ может быть представлена семействами лучей, образующих поверхности в виде дискретного набора плоскостей, вложенных цилиндров, конусов и др. Основные типы источников излучения классифицируются по форме пространственных геометрических фигур, образованных лучами от источника: это линейно-структурное, плоско-структурное, цилиндрическое или конусно-структурное лазерное излучение (рис. 4, а, в, д). Прошедшее через исследуемую среду СЛИ создает на экране двумерную рефрактограмму (см. рис. 4, б, г, е), вид которой связан с типом пучка и пространственной структурой распределения показателя преломления, зависящего от температуры, давления, плотности, солености и других характеристик. Двумерная рефрактограмма представляет собой изображение пространственно-структурированного источника излучения, созданное оптической системой, в качестве которой выступает исследуемая среда.

Трехмерная рефрактограмма представляет собой изображение поверхности, образованной рефрагирующими в среде лучами от источника СЛИ (рис. 5), и может быть визуализирована в рассеянном излучении (рис. 11, а) или получена с помощью специальных методов обработки [8] на основе совокупности экспериментальных (рис. 5, б) или расчетных (рис. 5, в) двумерных рефрактограмм в разных сечениях.

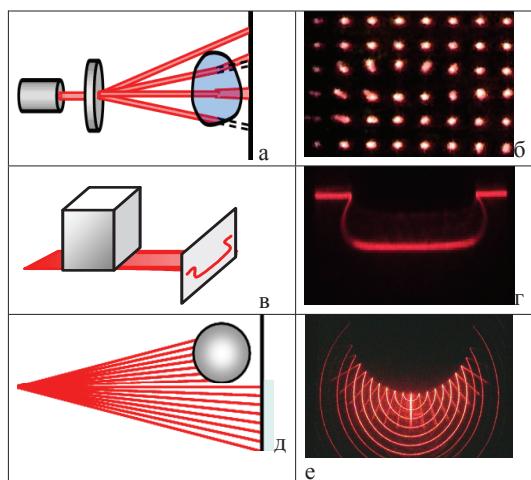


Рис. 4. Основные типы источников излучения и соответствующие двумерные рефрактограммы

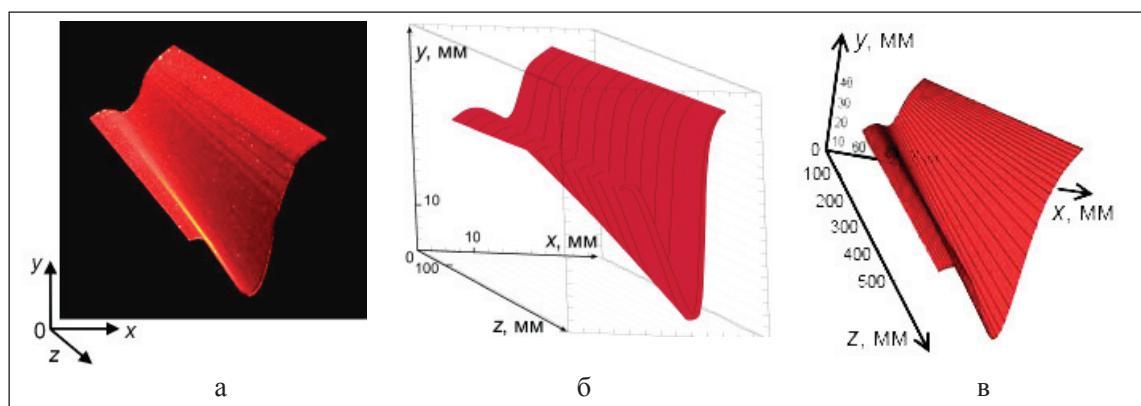


Рис. 5. Трехмерные рефрактограммы плоского пучка:

а) экспериментальная визуализация, б) восстановленная по двумерным рефрактограммам, в) моделирование

Общие принципы построения экспериментальных установок и визуализация двумерных и трехмерных рефрактограмм

Лазерный рефрактографический метод визуализации и количественной диагностики оптически неоднородной среды реализуется на основе:

- зондирования среды структурированным лазерным излучением, получаемым с помощью ДОЭ или специального оптического блока формирования СЛИ;
- цифровой регистрации рефрактограмм СЛИ;
- обработки рефрактограмм с помощью специального программного обеспечения в целях восстановления поля показателя преломления и поля физической величины, обуславливающей оптическую неоднородность.

Для исследования оптической неоднородности методом лазерной рефрактографии измерительная система должна содержать следующие основные элементы: источник лазерного излучения; оптический блок формирования СЛИ; систему позиционирования СЛИ; диф-

фузно-рассеивающий экран; цифровую фото- или видеокамеру, компьютер, специальное программное обеспечение. Объект исследования размещается между оптической системой формирования СЛИ и матовым экраном.

Рефрактографические системы на основе плоского СЛИ

На рис. 6 показана структурная схема лазерной рефрактографической системы. Излучение лазера (1) преобразуется оптической системой (2) в СЛИ (3), которое, проходя через оптически неоднородную среду (4), образует рефрактограмму на экране (5). Далее рефрактограмма регистрируется цифровой фотокамерой (6), вводится в компьютер (7) и обрабатывается с помощью специального программного обеспечения. Обработка рефрактограмм дает возможность проводить количественную диагностику неоднородности в среде, т. е. получать информацию, например, о распределении температуры в жидкости в пограничном слое около нагретых тел.

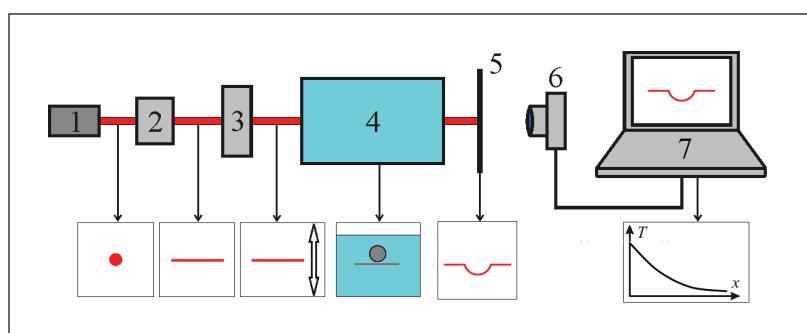


Рис. 6. Структурная схема экспериментальной установки на основе зондирования плоско-структуриванным излучением

Рефрактографические системы на основе цилиндрического СЛИ

С помощью дифракционных оптических элементов возможно получить СЛИ различного вида, которые можно адаптировать к особенностям исследуемой оптической неоднородности. В качестве примера ниже рассмотрена рефрактографическая система на основе конического СЛИ.

На рис. 7 показана принципиальная схема экспериментальной установки, предназначеннай для визуализации теплофизических процессов при естественной конвекции в жидкости около нагретых тел с помощью цилиндрического СЛИ, получаемого с помощью ДОЭ. Установка состоит из полупроводникового лазера с ДОЭ (1), установленного на юстировочном столике (2), СЛИ (3), нагреваемого объекта (4), прозрачной кюветы с водой (5), полу-прозрачного экрана (6), цифровых видеокамер (7, 8), сигнал с которых вводится на персональный компьютер (9), и специального программного обеспечения (10).

Следует обратить внимание на малые габариты лазерного блока. Размеры полупроводникового лазера совместно с установленным на нем дифракционным оптическим элементом – следующие: длина – 70 мм, диаметр – 20 мм. Полупроводниковый лазер потребляет менее 1 Вт электрической энергии при мощности излучения 20 мВт.

Высокая интенсивность СЛИ позволяет наблюдение в рассеянном излучении трехмерных рефрактограмм, т. е. поверхностей, образованных рефрагирующими геометрооптическими лучами.

На рис. 8 приведена фотография экспериментальной установки для двухракурсного зондирования оптических неоднородностей в жидкости и одновременного наблюдения двумер-

ных и трехмерных рефрактограмм. Излучение лазера преобразуется оптической системой в СЛИ и, проходя через неоднородную среду, образует трехмерные рефрактограммы, наблюдаемые в рассеянном свете. Изображение рефрактограмм регистрируется камерой и обрабатывается компьютером с помощью специального программного обеспечения. Трехмерные рефрактограммы позволяют получить дополнительную информацию об исследуемой среде по сравнению с двумерными рефракционными картинами, так как фактически они позволяют визуализировать траектории семейства геометрооптических лучей, образующих СЛИ. Последующая специальная компьютерная обработка и оцифровка этих траекторий позволяют проводить количественную диагностику градиентной неоднородности в среде, послужившей причиной рефракции этих лучей.

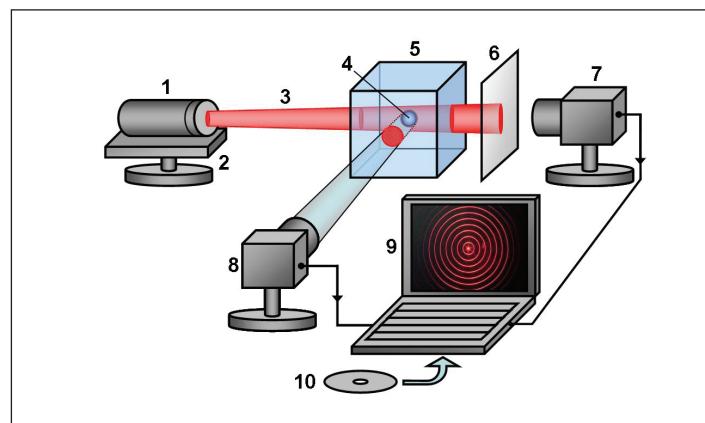


Рис. 7. Структурная схема экспериментальной установки на основе зондирования цилиндрически-структурированным излучением

С помощью специально разработанных алгоритмов трехмерные рефрактограммы могут быть восстановлены на основе серии двумерных рефрактограмм, полученных в ряде сечений (см. рис. 5, б).



Рис. 8. Экспериментальная установка для наблюдения трехмерных рефрактограмм

Обсуждение

Дискретный и регулярный характер рефрактограмм оптимальным образом обеспечивает их пригодность для цифровой регистрации и компьютерной обработки, что позволяет достичь высокой точности количественной диагностики характеристик неоднородности. На основе полученных количественных данных восстанавливается поле показателя преломления в среде и осуществляется компьютерная визуализация оптической неоднородности (фазового объекта), аналогично тому, как это делается в лазерной томографии при реконструкции амплитудных (поглощающих) неоднородностей. Одновременно возможна непосредственная визуализация оптической неоднородности в среде, подобно визуализации в широком пучке при использовании прямого теневого метода, что позволяет определить положения каустик [3, 4, 10, 12, 15] и получить предварительные сведения о геометрии неоднородности. Экспериментальные методики с использованием лазерной рефрактографии в совокупности с методами решения обратных задач рефракции и компьютерной визуализацией среды составляют основу лазерной рефракционной томографии динамических жидкых сред.

При решении обратных задач учитываются объемные эффекты в среде, т. е. метод применим в условиях сильной рефракции, в частности для диагностики градиентных жидкостных стратификаций и явлений на границе сред [13]. Таким образом, метод лазерной рефрактографии оказывается оптимально адаптированным для диагностики физических процессов в объеме и на границе жидкой среды, обусловливающих оптическую неоднородность и существенную рефракцию зондирующего излучения.

Выводы

Использование в лазерной рефрактографии структурированных пучков существенным образом расширяет возможности традиционных градиентных методов рефрактометрии.

Во-первых, надлежащий выбор конфигурации элементов структуры пучка позволяет адаптировать экспериментальную установку для диагностики определенного типа неоднородностей, например для исследования пограничных слоев у поверхностей разной формы.

Во-вторых, множественность элементов структуры пучка и их пространственная протяженность позволяют проводить измерения одновременно в выбранных областях исследуемой среды, что существенно при диагностике динамических неоднородностей, например нестационарных конвективных течений.

В-третьих, основным информативным параметром при количественной диагностике является смещение элемента структуры пучка из-за рефракции в неоднородности. Измерение этого смещения оказывается возможным благодаря идентификации элементов, так как дискретный и регулярный характер структуры пучка позволяет определять, какому элементу структуры в исходном пучке соответствует тот или иной элемент рефрактограммы.

Использование структурированного лазерного излучения при его достаточно высокой интенсивности и направленности дает возможность наблюдения и регистрации траекторий пучков и каустик [10, 15] в объеме среды, что открывает дополнительные возможности восстановления количественных характеристик неоднородности среды. Количественные данные о положении каустических поверхностей и их проекций являются информативными характеристиками, позволяющими в ряде случаев осуществлять реконструкцию значений показателя преломления в среде.

Разработанная методика может применяться для визуализации и количественного анализа физических явлений в объеме и на границе жидких сред [14]: процессов неоднородного нагрева и остывания, диффузии в стратифицированной жидкости, внутренних волн в соле-стратифицированной жидкости, ультразвуковых полей в воде и других процессов, приводящих к оптической неоднородности среды.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ № 075-00938-19-04.

Список литературы

1. Сойфер В.А., Безус Е.А., Быков Д.А. и др. Дифракционная оптика и нанофотоника. М.: Физматлит, 2014. 608 с.
2. Cerisier P., Sylvain J., Dauby P. Application of the laser beam deflection to the study of temperature fields in Rayleigh-Benard convection. Experiments in Fluids, 2002, Vol. 33. No. 3. P. 391–397.
3. Gao G., Li Z., Negahbanb M. Dynamic fracture analysis of polycarbonate by the optical method of caustics // Procedia Materials Science. 2014. No. 3. P. 165–176.
4. Markides C., Kourkoulis S. Revisiting the Reflected Caustics Method: the Accurate Shape of the «Initial Curve» // Engineering transactions. 2013. 61 (4). P. 265–287.
5. Mikhalev A.S., Skornyakova N.M. A refraction system for studying evaporation of liquid drops from a solid surface. Measurement Techniques. 2011. Vol. 52. No. 12. P. 1337–1341.
6. Mowbray D.E. The use of schlieren and shadowgraph techniques in the study of flow patterns in density stratified liquids. J. Fluid Mech. 1967. Vol. 27. No. 3. P. 595–608.
7. Raskovskaya I.L., Rinkevichus B.S., Tolkachev A.V. Structured Beams in Laser Refractography Applications // In books: Laser Beams Theory. Properties and Applications. Nova Science Publishers. Inc. N-Y. 2011. P. 399–411.
8. Rinkevichus B.S., Evtikhieva O.A., Raskovskaya I.L. Laser Refractography. New York. Springer. 2011. 189 p.
9. Settles G.S. Schlieren and Shadowgraph Techniques. New York, Springer. 2011. P. 376.
10. Vedyashkina A.V. Computer modeling of optical rays' refraction in inhomogeneous mediums // Journal of Beijing Institute of Technology. 2013. Vol. 22. Suppl. 1. P. 71–76.
11. Юркевичюс С.П., Ринкевичюс Б.С. Разработка новых оптических методов исследования потоков жидкости и газа на кафедре физики им. В.А. Фабриканта НИУ «МЭИ» // Инноватика и экспертиза. 2015. Вып. 2 (15). С. 288–292.
12. Gdoutos E.E. The optical method of caustics for the solution of fracture mechanics problems // 15th International Conference on Experimental Mechanics. 2012. P. 3819.
13. Pavlov I.N., Rinkevichus B.S., Vedyashkina A.V. Application of surface plasmon resonance method for visualization of processes in a near-wall liquid layer // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 737. No. 1. P. 012044.
14. Raskovskaya I.L., Pavlov I.N., Rinkevichus B.S., at all. Laser techniques for monitoring physical processes in water under substantial refraction conditions // Proceedings of XVII International Conference «Laser Optics 2016», St. Petersburg, June 27 – July 1, 2016, P. R7–5.
15. Vedyashkina A.V., Rinkevichus B.S., Raskovskaya I.L., Pavlov I.N. Laser radiation caustics method for quantitative diagnostic of transparent inhomogeneous media // Progress in Electromagnetics Research Symposium 2017. P. 754–758.

References

1. Soifer V.A., Bezus E.A., Bykov D.A., etc. Diffraction optics and nanophotonics. Moscow. Fizmatlit, 2014. P. 608.
2. Cerisier P., Sylvain J., Dauby P. Application of the laser beam deflection to the study of temperature fields in Rayleigh-Benard convection. Experiments in Fluids, 2002, Vol. 33, No. 3, P. 391–397.
3. Gao G., Li Z., Negahbanb M. Dynamic fracture analysis of polycarbonate by the optical method of caustics. Procedia Materials Science, 2014, No. 3, P. 165–176.
4. Markides C., Kourkoulis S. Revisiting the Reflected Caustics Method: the Accurate Shape of the «Initial Curve». Engineering transactions, 2013, 61 (4), P. 265–287.
5. Mikhalev A.S., Skornyakova N.M. A refraction system for studying evaporation of liquid drops from a solid surface. Measurement Techniques. 2011. Vol. 52, No. 12, P. 1337–1341.
6. Mowbray D.E. The use of schlieren and shadowgraph techniques in the study of flow patterns in density stratified liquids. J. Fluid Mech. 1967. Vol. 27. No. 3. P. 595–608.

7. Raskovskaya I.L., Rinkevichyus B.S., Tolkachev A.V. Structured Beams in Laser Refractography Applications. In books: Laser Beams Theory. Properties and Applications. Nova Science Publishers. Inc. N-Y. 2011. P. 399–411.
8. Rinkevichyus B.S., Evtikhieva O.A., Raskovskaya I.L. Laser Refractography. New York. Springer. 2011. 189 p.
9. Settles G.S. Schlieren and Shadowgraph Techniques. New York. Springer. 2011. P. 376.
10. Vedyashkina A.V. Computer modeling of optical rays' refraction in inhomogeneous mediums. Journal of Beijing Institute of Technology. 2013. Vol. 22. Suppl. 1. P. 71–76.
11. Yurkevicius S.P., Rinkevichus B.S. Development of new optical methods of researching fluid and gas flows at the Department of Physics. named after V.A. Fabricant in the Educational&Research University «MEI» Innovatics and expert examination. 2015. No. 2 (15). P. 288–292.
12. Gdoutos E.E. The optical method of caustics for the solution of fracture mechanics problems. 15th International Conference on Experimental Mechanics. 2012. P. 3819.
13. Pavlov I.N., Rinkevichyus B.S., Vedyashkina A.V. Application of surface plasmon resonance method for visualization of processes in a near-wall liquid layer. Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 737. No. 1. P. 012044.
14. Raskovskaya I.L., Pavlov I.N., Rinkevichyus B.S., at all. Laser techniques for monitoring physical processes in water under substantial refraction conditions. Proceedings of XVII International Conference «Laser Optics 2016». St. Petersburg. June 27 – July 1. 2016. P. R7–5.
15. Vedyashkina A.V., Rinkevichyus B.S., Raskovskaya I.L., Pavlov I.N. Laser radiation caustics method for quantitative diagnostic of transparent inhomogeneous media. Progress in Electromagnetics Research Symposium 2017. P. 754–758.

НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-167-174

ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СФЕРЕ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ В ИНТЕРЕСАХ ОБОРОНЫ И БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

А.Б. Логунов, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. воен. наук, *logunov@extech.ru*

Н.А. Молчанов, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, проф. Университета им. О.Е. Кутафина (МГЮА), д-р воен. наук, проф., *nnp999mmm@rambler.ru*

Рецензент: А.И. Гаврюшин

Правовое регулирование науки и образования в интересах обороны и безопасности в условиях сетевого общества является комплексным, системным и непрерывным процессом и требует совершенствования организационно-управленческих механизмов, законодательной базы. В статье рассматриваются особенности нормативного обеспечения регулирования вопросов развития науки и образования в интересах обороны и безопасности страны.

Ключевые слова: наука, образование, государственная политика, национальная безопасность, сетевое общество, государственное регулирование.

ISSUES OF REGULATION OF NETWORK INTERACTION IN THE SPHERE OF SCIENCE AND EDUCATION IN THE INTERESTS OF DEFENSE AND SECURITY OF THE STATE

A.B. Logunov, Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Military Sciences, *logunov@extech.ru*

N.A. Molchanov, Deputy Head of Centre, SRI FRCEC, Professor of Federal state budgetary educational institution of higher education «Moscow state law University» (MSAL), Ph.D., Professor, *nnp999mmm@rambler.ru*

Legal regulation of science and education in the interests of defense and security in a networked society is a complex, systematic and continuous process and requires improvement of organizational and managerial mechanisms and legislative framework. The article deals with the features of normative support of regulation of the development of science and education in the interests of defense and security of the country.

Keywords: science, education, state policy, national security, network society, state regulation.

В настоящее время формирование мирового порядка определяется во многом процессами глобализации. Так, наблюдается устойчивый рост важности связей и ресурсных/информационных потоков в качестве организующей основы повседневной жизни и целенаправленной деятельности людей, отдельных стран и международных организаций [10]. Ведущим драйвером глобализации является общепланетарное информационное пространство. Оно формируется на основе компьютерных коммуникационных технологий и интернет-практик, которые внесли радикальные изменения в «социальные ткани» человечества, вплотив таким образом в жизнь так называемое сетевое общество. В его основе – сеть, т. е. устойчивая кооперация отдельных людей и/или организаций, придерживающихся общих ценностей, предполагающая объединение некоторых ресурсов в интересах реализации совместной стратегии.

Термин «сетевое общество» появился в 1970–1980 гг. в среде западных социологов и является, скорее, философской рефлексией на развитие новых форм коммуникаций, организаций производства и потребления в «высокотехнологичных» обществах. К теме «сетевого общества» были обращены работы С. Брэтена, Я. ван Дейка, М. Кастельса, Р. Хилца и М. Туровфа и др. Этот термин не имеет однозначного, всеми признаваемого определения, а его трактовка зависит от контекста. В целом «сетевизация» общества – это процесс развития системы глобальных горизонтальных связей на основе интернет-практик, которые позволяют людям общаться друг с другом, не прибегая к традиционным каналам, созданным общественными институтами для социализации [11]. Соответственно, «сетевое общество» не может иметь универсальную правовую интерпретацию, и его нормативное определение зависит от рассматриваемой отрасли.

Развитие глобального информационного пространства и «сетевого общества» напрямую затрагивает такие важнейшие сферы, как развитие науки и образования и обеспечение безопасности. Так, расширение форм коммуникаций, обмена информацией вносит революционные изменения в передачу и обмен знаниями, в образовательные технологии, формирует новые профессиональные сообщества педагогов, ученых и инженеров. Формируются инновационные подходы к организации подготовки специалистов различного профиля, виртуальные университеты, сетевые транснациональные консорциумы исследователей и разработчиков. Это с одной стороны. С другой – зависимость повседневной деятельности государственных органов, корпоративных структур, населения от Интернета (киберпространства) спровоцировала множество новых угроз. И чем выше эта зависимость, тем выше уязвимость страны перед угрозой подрыва или уничтожения ее информационной и производственной инфраструктуры посредством вредоносных программ, направленных из неизвестного источника неизвестными злоумышленниками. Одним из факторов, способствующих распространению таких угроз, является то, что Интернет – это, по большей части, свободная и нерегулируемая среда [10]. Кроме того, «сетевизация» сферы науки и образования и обеспечения безопасности не ограничивается вопросами безопасности информационной.

Необходимость серьезного внимания со стороны системы государственного управления к использованию информационного пространства и Интернета выражается, в том числе, и в развитии правового регулирования деятельности в сети Интернет и защиты его российского сегмента. Законодательство в области Интернета лежит на стыке правового поля и научно-технической политики, так как напрямую затрагивает интересы общества, права и свободы человека [7].

В 1999 г. в России Законодательным собранием принятая Концепция формирования информационного общества в России. Она стала манифестом интеграции страны в глобальное информационное пространство. В 2000 г. Россия подписала так называемую Окинавскую хартию глобального информационного общества – международный документ, который декларирует обеспечение равного доступа к информации и информационным технологиям, внедрение этих технологий в образование, медицину и экономику. Уже в 2002 г. Правительство РФ принимает Федеральную целевую программу «Электронная Россия», которую с 2011 г. заменила Государственная программа «Информационное общество (2011–2020 годы)» [3].

К фундаментальным законам, которые регулируют информационное пространство России, относится Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации». В целом в национальном законодательстве в настоящее время действует около десятка федеральных законов и десятки подзаконных актов, определяющих «работу» сетевого общества в стране [7]. Эта нормативная основа на-

ходится в постоянном совершенствовании. Так, 01.05.2019 Президент России В.В. Путин подписал Закон «Об устойчивом Рунете»¹.

В рассматриваемом контексте вопросы правового регулирования науки и образования являются предметом пристального внимания со стороны органов управления в рамках системы обеспечения национальной безопасности страны. Так, стратегическими целями обеспечения национальной безопасности в области науки, технологий и образования, как отмечается в ст. 67 Стратегии национальной безопасности РФ, являются развитие системы научных, проектных и научно-технологических организаций и повышение качества общего, профессионального и высшего образования, а также развитие фундаментальных научных исследований. Статья 70 Стратегии раскрывает необходимые 14 направлений деятельности для достижения указанных целей [1]. Эти направления деятельности, или задачи национальной безопасности в области науки, технологий и образования, не могут быть реализованы без современных управлений, обучающих технологий, коммуникативных практик в профессиональной среде исследователей и разработчиков, профессорско-преподавательского состава, технологических брокеров и т. д. В свою очередь, в рамках заседания Совета по науке и образованию 27.11.2018 Президент РФ В.В. Путин заявил о том, что для «нового качества жизни человека» в России, конкурентоспособности экономики и выживания страны в целом необходимы существенное повышение ее научного потенциала, новые знания и прорывные технологии: «Знания, технологии, компетенции, кадры – это основа для реализации наших национальных проектов, для достижения наших стратегических целей» [6].

Следует отметить, что нормативную основу сетевого взаимодействия в системе образования определяет Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (гл. 2, ст. 15) [2]. Здесь сетевая форма взаимодействия рассматривается как условие реализации образовательной программы и понимается как выстраивание отношений образовательной организации с иными образовательными организациями, в том числе иностранными, суть деятельности которых состоит в использовании ресурсов организаций науки, культуры, физкультурно-спортивных и иных организаций посредством разработки и реализации совместных образовательных программ и учебных планов [13].

Вместе с тем в плане совершенствования правового регулирования в сфере науки и образования принят ряд федеральных законов, указов Президента, постановлений Правительства РФ, в том числе:

– Указ Президента РФ от 15.05.2018 № 215 «О структуре федеральных органов исполнительной власти», в соответствии с которым Министерство образования и науки Российской Федерации преобразовано в Министерство просвещения Российской Федерации и Министерство науки и высшего образования Российской Федерации;

– Федеральный закон от 19.07.2018 № 218-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который существенно расширяет полномочия РАН в целях обеспечения преемственности и координации ее деятельности с органами исполнительной власти, военно-промышленного комплекса и образовательных и научных учреждений, в том числе в области научных исследований, реализуемых в сфере оборонно-промышленного комплекса в интересах обороны страны и безопасности государства;

– Постановление Правительства РФ от 29.03.2019 № 377 «Об утверждении Государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской

¹ Закон направлен на то, чтобы защитить устойчивую работу Интернета в России в случае возникновения угрозы его нормальному функционированию из-за рубежа. Он вступит в силу уже в ноябре текущего года. При этом положение о криптографической защите информации и национальной системе доменных имен начнет действовать с начала 2021 г. URL: https://iz.ru/874370/2019-05-01/putin-podpisal-zakon-ob-ustoichivom-runete?utm_source=uxnews3utm_medium=desktop (дата обращения: 22.10.2019).

Федерации», – данная Программа будет реализоваться в 2019–2030 гг. Она разработана с учетом целей и целевых показателей национальных проектов «Наука», «Образование» и «Цифровая экономика», и в нее 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».

Перечисленные нормативные правовые акты и их содержание отвечают целям и задачам Стратегии национальной безопасности РФ и обеспечивают государственно-правовое регулирование в области интеграции и развития науки и образования. Такое регулирование проводится, в том числе, в целях формирования опережающего научно-технического задела для создания перспективных образцов вооружения, военной и специальной техники, развития оборонно-промышленного комплекса, а также подготовки и переподготовки кадров. Инструментами такого регулирования в настоящее время может рассматриваться следующее:

1) информационные системы учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, которые могут представлять интерес и для обеспечения обороны страны и безопасности государства. Эти системы позволяют проводить мониторинг и отбор таких НИОКТР. В частности, в качестве примера можно привести Единую государственную информационную систему учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, выполняемых за счет средств федерального бюджета (ЕГИСУ НИОКТР), разработанную во исполнение Постановления Правительства РФ от 12.04.2013 № 327 [4];

2) Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (утверждена Постановлением Правительства РФ от 21.05.2013 № 426) [5]. Научные исследования, проводимые в рамках Программы, относятся к исследованиям гражданского назначения. Тем не менее отдельные результаты могут быть востребованы в интересах обороны и безопасности страны;

3) центры развития науки, технологий и образования в области обороны и обеспечения безопасности государства созданы при образовательных организациях и осуществляют свою деятельность при координирующей роли Коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации. Типовые задачи этих центров – активизация участия ведущих вузов страны и вовлечение высококвалифицированных специалистов в решение наукоемких задач в интересах обороны и обеспечения безопасности государства, в том числе через реализацию комплекса программ повышения квалификации. В каждом Центре определены 3–5 приоритетных направлений деятельности;

4) проекты «Мегасайенс». Усилиями Минобрнауки России во взаимодействии с другими федеральными органами исполнительной власти (ФОИВ), госкорпорациями и ведущими предприятиями оборонного сектора создается и развивается программа создания и развития сети уникальных научных установок класса «Мегасайенс».

Перечисленные инструменты государственно-правового регулирования, безусловно, не раскрывают всей полноты спектра усилий по формированию опережающего научно-технического задела и соответствующему регулированию науки и образования в интересах обороны и безопасности. В то же время их реализация зависит от внутриведомственного и межведомственного взаимодействия, взаимодействия различных коллективов, образующих соответствующие профессиональные сети, специализированное «сетевое общество». И с этих позиций важную роль играют организации – интеграторы (технологические брокеры) усилий научно-образовательного сообщества, аккумулирующие и предоставляющие необходимые

мую информацию по полученным результатам и их исполнителям, формирующие соответствующий информационно-аналитический задел как часть научно-технологического задела в области обороны и безопасности страны [12].

Одной из таких организаций-интеграторов является ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, в котором объединены механизмы экспертизы, мониторинга и анализа деятельности в научно-технической сфере страны, во многом основанные на сетевых интернет-практиках. РИНКЦЭ располагает следующими сетевыми системами информационной поддержки и мониторинга деятельности в научно-технической сфере:

– Федеральным реестром экспертов научно-технической сферы. На текущий момент в Реестре аккредитовано 4330 экспертов – ведущих ученых и специалистов страны;

– системой учета и мониторинга малых предприятий, деятельность которых заключается во внедрении результатов исследований и разработок (в Реестре содержатся сведения о 449 предприятиях);

– системой информационной поддержки грантов и стипендий Президента РФ молодым российским ученым и ведущим научным школам по приоритетным направлениям модернизации российской экономики.

Важное направление деятельности РИНКЦЭ – реализация полномочий Минобрнауки России в области национальной безопасности, а также проведение специальных научно-технических экспертиз в интересах органов государственной власти, в том числе для сопровождения деятельности Коллегии и Научно-технического совета (НТС) Военно-промышленной комиссии (ВПК) РФ. РИНКЦЭ является базовой организацией НТС ВПК РФ и, наряду с Минобороны России и Минпромторгом России, участником формирования и реализации Межведомственной координационной программы фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в области обороны и обеспечения безопасности государства. Для этого РИНКЦЭ, опираясь на свои информационно-сетевые ресурсы, в рамках государственного задания и по запросам ФОИВ проводит:

– подготовку экспертно-аналитических материалов в интересах Минобрнауки России и НТС ВПК РФ для прогнозирования и перспективного планирования НИОКТР военного, специального и двойного назначения, совершенствования научно-технической политики в области оборонных исследований. В год подготавливается примерно 60 материалов;

– мониторинг и анализ деятельности подведомственных Минобрнауки России организаций в области НИОКТР военного, специального и двойного назначения. В настоящее время мониторингом охвачены более 500 учреждений Минобрнауки России. В целях эффективного использования полученной информации о проводимых НИОКТР в области обеспечения обороны и безопасности государства разрабатывается система информационной поддержки мониторинга и анализа деятельности вузов и научно-исследовательских организаций (НИО) Минобрнауки России в области НИОКТР военного и двойного назначения;

– специальные экспертизы по оценке качества НИОКТР в интересах силовых министерств и ведомств.

В целом перечисленные направления работ РИНКЦЭ соответствуют деятельности технологических брокеров – специализированных организаций, обеспечивающих взаимодействие государства, промышленности и науки на основе сбора, обработки, анализа и предоставления существенной информации и оперирующих соответствующей базой данных проводимых НИОКТР и их результатов. При этом указанная деятельность ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ вносит вклад в формирование научно-технического задела в интересах реализации текущей и последующих государственных программ вооружений, в создание единой информационной базы НИОКТР для ОПК, которые осуществляются по программам ФОИВ, не только в рамках Гособоронзаказа.

В то же время для нормативного обоснования создания (участия в создании) специализированных сетевых ресурсов деятельности подведомственных Минобрнауки России орга-

низаций в области обороны и безопасности государства по результатам мониторинга необходимо принятие соответствующего нормативного акта Правительства РФ или локального акта Минобрнауки России в отношении ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. Этим нормативным актом необходимо возложить на ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ функции уполномоченной организации Минобрнауки России в части, касающейся программно-технического, информационно-аналитического и методического обеспечения мониторинга, учета, хранения, анализа результатов НИОКТР военного, специального и двойного назначения, права на которые принадлежат Российской Федерации, выполненных (выполняемых) организациями, подведомственными Минобрнауки России. Этим же актом необходимо закрепить за ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ функцию взаимодействия с Федеральной службой по интеллектуальной собственности (Роспатент), в частности с ФГБУ ФАПРИД, Минобороны России, Минпромторгом России, Минэкономразвития России в части, касающейся координации информационных ресурсов Единого реестра результатов НИОКТР военного, специального и двойного назначения и единой государственной информационной системы учета НИОКТР гражданского назначения, а также других информационных баз в данной сфере, права на которые принадлежат Российской Федерации.

Кроме того, в акте должно быть указано, что ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ:

– осуществляет с обеспечением соответствующего режима доступа программно-техническое обеспечение функционирования и развития информационной системы учета результатов НИОКТР военного, специального и двойного назначения, выполненных подведомственными Минобрнауки России организациями, права на которые принадлежат Российской Федерации;

– подготавливает предложения по проектам нормативных правовых актов в части, касающейся правовой охраны, учета и использования подобных результатов интеллектуальной деятельности (РИД).

В целом разработка и принятие такого нормативного документа создает условия для функционирования технологического брокера в лице ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ в специализированном «сетевом обществе», что позволит:

– оптимизировать процесс сбора, обобщения, хранения, представления и анализа данных по РИД и НИОКТР военного, специального и двойного назначения;

– создать возможность онлайн-обращения к такой информационной системе заинтересованных пользователей – генеральных конструкторов, генеральных технологов, представителей промышленных предприятий и широкого круга разработчиков технологий военного, специального и двойного назначения;

– упростить и ускорить процесс взаимодействия Минобрнауки России с Военно-промышленной комиссией России, заинтересованными ФОИВ по вопросам создаваемых за счет бюджетных средств технологий, а также формализовать данное взаимодействие;

– обеспечить проработку теоретических и практических шагов по формированию «сетевого права» в специфических областях.

Подводя итог, можно отметить, что правовое регулирование науки и образования в интересах национальной безопасности в условиях сетевого общества в настоящее время осуществляется в основном с использованием классических отраслевых правовых инструментов. Этот подход оправдывает себя, с учетом специфики управления, с одной стороны, наукой и образованием, с другой – сферой обороны и безопасности. Принципиальной особенностью симбиоза этих сфер является жесткая необходимость обеспечения государственной и коммерческой тайны, что само по себе предусматривает известные ограничительные и охранительные меры применительно к распространению, обмену и доступу к чувствительной информации, что слабо сочетается с принципами функционирования глобального информационного пространства и сети Интернет.

Постановка вопроса о формировании новой отрасли права – «сетевого права» [8], которое регулирует общественные отношения, строящиеся с использованием информационного пространства, – корректна и для регулирования науки и образования в интересах национальной безопасности. Однако разработка нормативной базы для профессиональных сетей, организуемых и формирующихся на стыке науки образования и обеспечения национальной безопасности, – предмет дальнейших усилий специалистов в области права и национального законодательства.

Статья выполнена в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Минобрнауки Российской Федерации по результатам работ в рамках Государственного задания по проекту № 2.13325.2019/13.1.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 31.12.2015 № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191669 (дата обращения: 26.04.2019).
2. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 № 273-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/499cc91fbe852d6839d4de3b173bb4953a33419c (дата обращения: 27.04.2019).
3. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 313 «Об утверждении Государственной программы Российской Федерации «Информационное общество». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162184/b3e763e50e50e4f99a2ffbe50e7043ae10bdee88312 (дата обращения: 26.04.2019).
4. Постановление Правительства РФ от 12.04.2013 № 327 «О единой государственной информационной системе учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения». URL: <https://base.garant.ru/70359576> (дата обращения: 28.04.2019).
5. Постановление Правительства РФ от 21.05.2013 № 426 «О Федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». URL: <https://base.garant.ru/70385450> (дата обращения: 28.04.2019).
6. Владимир Путин провел в Кремле заседание Совета при Президенте по науке и образованию. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/59203> (дата обращения: 27.04.2019).
7. Агейчев А. Законодательство в сфере интернет-коммуникаций. Российский и международный опыт // Сравнительная политика. 2016. № 2 (23). С. 73–84. URL: [https://doi.org/10.18611/2221-3279-2016-7-2\(23\)-73-84](https://doi.org/10.18611/2221-3279-2016-7-2(23)-73-84) (дата обращения: 30.04.2019).
8. Гришина Т. Сетевому обществу – сетевое право. 22.07.2018. URL: <https://narodirossii.ru/?p=23618> (дата обращения: 30.04.2019).
9. Логунов А.Б., Ольшевский Д.В., Гренчихин А.В. Анализ практических вопросов участия образовательных организаций высшего образования в реализации программы Военно-промышленной комиссии Российской Федерации «Межведомственная программа координации фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в интересах обороны и обеспечения безопасности государства» // Инноватика и экспертиза. 2018. Вып. 2 (23).
10. Логунов А.Б. Региональная и национальная безопасность. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Вузовский учебник – ИНФРА-М-М, 2014. С. 383.
11. Ломпартер Д. Сетевое общество: основные понятия, концепции, развитие. URL: <http://fb.ru/article/458506/setevoe-obschestvo-osnovnyie-ponyatiya-kontseptsii-razvitiye> (дата обращения: 30.04.2019).
12. Молчанов Н.А. Модернизация современной системы образования с учетом реализации Стратегии государственной национальной политики Российской Федерации как основа обеспечения национальной безопасности государства / ФГБОУ ВО «МГЮА» // Lex Russica (Русский закон). 2013. № 7. С. 767–773.
13. Попова И.Н. Сетевое взаимодействие как ресурс развития общего и дополнительного образования // Интернет-журнал «Мир науки». 2016. Т. 4. № 6. URL: <http://mir-nauki.com/PDF/47PDMN616.pdf> (дата обращения: 27.04.2019).

References:

1. Decree of the President of the Russian Federation of 31.12.2015 No. 683 «On the national security Strategy of the Russian Federation». Art. 67–70. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191669 (accessed 26.04.2019).
2. Federal law No. 273-FZ of 29.12.2012 «On education in the Russian Federation». Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/499cc91fbe852d6839d4de3b173bb4953a33419c (accessed 27.04.2019).
3. Resolution of the government of the Russian Federation of April 15, 2014 No. 313 «On approval of the state program of the Russian Federation «Information society». Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162184/b3e763e50e4f99a2ffbe50e7043ae10bdee88312 (accessed 26.04.2019).
4. Resolution Of the government of the Russian Federation of April 12, 2013 No. 327 «On the unified state information system of accounting for research, development and technological works of civil engineering» Available at: <https://base.garant.ru/70359576> (accessed 28.04.2019).
5. Resolution of the government of the Russian Federation of may 21, 2013 No. 426 «On the Federal target program. Research and development in priority areas of development of the scientific and technological complex of Russia for 2014–2020». Available at: <https://base.garant.ru/70385450> (accessed 28.04.2019).
6. Vladimir Putin held a meeting of the presidential Council for science and education in the Kremlin. Available at: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/59203> (accessed 27.04.2019).
7. Ageichev A. Legislation in the field of Internet communications. Russian and international experience. Comparative politics. 2 (23). 2016. P. 73–84. Available at: [https://doi.org/10.18611/2221-3279-2016-7-2\(23\)-73-84](https://doi.org/10.18611/2221-3279-2016-7-2(23)-73-84) (accessed 30.04.2019).
8. Grishina T. Network society is the network the right. Available at: <https://narodirossii.ru/?p=23618> (accessed 30.04.2019).
9. Logunov A.B., Olshevsky D.V., Grenchikhin A.V. Analysis of practical issues of participation of educational institutions of higher education in the implementation of the program of the Military-industrial Commission of the Russian Federation «Interdepartmental program of coordination of fundamental, search and applied research in the interests of defense and security of the state». Innovatika and expert examination. Scientific papers. Moscow. Issue. 2018. Vol. 2(23).
10. Logunov A.B. Regional and national security. 3rd ed., revised and supplemented. Moscow. University textbook. INFRA-M-M. 2014. P. 383.
11. Lomparter D. Network society: basic concepts, concepts, development. Available at: <http://fb.ru/article/458506/setevoe-obschestvo-osnovnyie-ponyatiya-konseptsii-razvitiye> (accessed 30.04.2019).
12. Molchanov N.A. Modernization of the modern education system taking into account the implementation of the Strategy of the state national policy of the Russian Federation as a basis for ensuring the national security of the state. Lex Russica (Russian law), No. 7. 2013. P. 767–773. Publisher: Federal state budgetary educational institution of higher education. Moscow state law University. After O.E. Kutafin (MSAL).
13. Popova I.N. Network interaction as a resource for the development of General and additional education. Internet journal «World of science» 2016. Vol. 4. No. 6. Available at: <http://mir-nauki.com/PDF/47PDMN616.pdf> (accessed 27.04.2019).

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-175-182

ПРОИЗВОДСТВО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В ИНТЕРЕСАХ ОБОРОНЫ И ВЛИЯНИЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ОТРАСЛЬ В США

Д.Б. Изюмов, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, izyumov@extech.ru

Е.Л. Кондратюк, зам. нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, kel@extech.ru

Рецензент: А.И. Гаврюшин

В статье представлены результаты анализа глобального рынка редкоземельных металлов для нужд вооруженных сил за рубежом. Представлены оценки направления развития законодательной системы США в данной области, а также результаты сопоставления уровней развития производства редкоземельных металлов США и Китая.

Ключевые слова: редкоземельные металлы, вооружение, военная и специальная техника, основные направления развития, перспективные исследования, экспорт редкоземельных металлов, импорт редкоземельных металлов, редкоземельные постоянные магниты.

PRODUCTION OF RARE EARTH METALS IN THE INTERESTS OF DEFENSE AND THE IMPACT OF REGULATORY RESTRICTIONS ON THE INDUSTRY IN THE UNITED STATES

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 the global market of rare earth metals for the needs of the armed forces abroad. The Article also estimates the direction of development of the US legislative system in this area, as well as presents the results of comparing the levels of development of production of rare earth metals in the US and China.

Keywords: rare earth metals, armament, military and special equipment, main directions of development, perspective researches, export of rare earth metals, import of rare earth metals, rare earth permanent magnets.

Активный рост индустрии редкоземельных металлов (РЗМ) в последние годы связан с увеличением спроса на РЗМ, инициированный главным образом Китаем в 2010 г., в результате ограничения квот на их экспорт и роста глобального производства высокотехнологичной продукции. С учетом факта монополии КНР на поставки РЗМ, многие страны осознали, что в вопросах обеспечения национальной безопасности необходимо делать ставку на собственные стратегические ресурсы и ресурсы партнеров (в первую очередь США), поэтому активизировали разработку и реализацию национальных программ по развитию рассматриваемой отрасли.

Редкоземельными являются 17 химических элементов: 15 металлов с атомными номерами от 57 до 71 и два химически сходные с металлами – скандий (Sc) и иттрий (Y). Несмотря на относительное изобилие указанных химических элементов в земной коре, они считаются редкими, поскольку их добыча и производство достаточно трудоемки и дорогостоящи. Магниты, изготовленные из редкоземельных металлов, являются самыми сильными из известных постоянных магнитов (ПМ).

Согласно принятой за рубежом классификации РЗМ делятся на две группы: легкие (La, Ce, Pr, Nd и Sm) и тяжелые (Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu и Y). Из данной классификации исключены два редкоземельных металла: Sc (скандий) – из-за его уникальных свойств, схожих со свойствами металлов, и Pm (прометий) – из-за его радиоактивности [1].

В табл. 1 представлены данные об уровне запасов редкоземельных металлов в мире.

Таблица 1

Уровень запасов редкоземельных металлов в мире

| Страна | Запасы, тыс. т | Доля в мировых запасах, % |
|---------------------|----------------|---------------------------|
| Китай | 43 000 | 41,4 |
| Россия и страны СНГ | 19 000 | 18,3 |
| США | 13 000 | 12,5 |
| Австралия | 5200 | 5,0 |
| Индия | 1100 | 1,1 |
| Канада | 940 | 0,8 |
| ЮАР | 390 | 0,4 |
| Бразилия | 280 | 0,26 |
| Другие страны | 21 042 | 20,24 |
| Итого | 103 952 | 100,0 |

При этом анализ глобального рынка показывает, что крупнейшими мировыми импортерами РЗМ являются Япония (44,5% объема глобального рынка по массе, около 71,0% по стоимости), Малайзия (около 20,0% по массе и 1,1% по стоимости), Норвегия (4,0% и 2,0% соответственно) и Гонконг (Китай) (3,0% и 4,0% соответственно) [2].

В настоящее время вопрос производства РЗМ крайне важен, в том числе с точки зрения развития современных технологий [3]. Особенно этот вопрос актуален для стран, не имеющих собственных месторождений РЗМ. Так, сейчас основным производителем (до 80% от уровня мирового производства) и поставщиком (до 95% мировых поставок) редкоземельных металлов является Китай. Однако в последние годы наблюдается тенденция роста производства РЗМ в США, что предоставляет уникальную возможность для существенного увеличения объема их выпуска для нужд американской промышленности в целях повышения обороноспособности государства.

Применение редкоземельных металлов в интересах обеспечения национальной безопасности за рубежом

В настоящее время наличие достаточного объема РЗМ оказывает значительное влияние на развитие энергосберегающих технологий, транспортных систем, альтернативной энергетики, робототехники и т.д. Уровень разработок, состояние производства и объемы их применения являются индикаторами уровня научно-технического развития государства и его производственных мощностей. В военно-промышленном комплексе (ВПК) редкоземельные металлы используются для изготовления взрывчатых веществ (ВВ). На основе сплавов неодима, самария, иттрия, европия и эрбия производят сверхмощные ПМ. Редкоземельные элементы в качестве присадок добавляют в некоторые виды сплавов для придания им необходимых свойств. В частности, данные металлы могут использоваться для производства жаростойких обтекателей и корпусов летательных аппаратов (в том числе гиперзвуковых), авиационных двигателей, а также элементов и узлов образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), обладающих повышенной износо- и коррозионной стойкостью. Также данные материалы используются при производстве элек-

тронной компонентной базы, например интегральных схем, электропроводки, оптоэлектронных устройств и различного вооружения с заданным уровнем тактико-технических характеристик (ТТХ).

На современном этапе развития науки и технологий практически не существует альтернативы использованию РЗМ, обладающих уникальными физическими свойствами, такими как высокая прочность в сочетании с низкой плотностью или устойчивость к различным формам коррозии.

Американские специалисты определили ряд химических элементов, имеющих первостепенное значение для обеспечения национальной безопасности страны. Согласно докладу Национального исследовательского совета США (National Research Council – NRC) таковыми признаны редкоземельные металлы, металлы платиновой группы, а также три химических элемента: индий, марганец и ниобий.

В недавнем сообщении, распространенном Геологической службой США (US Geological Survey – USGC), указывается, что любой химический элемент может в какой-то момент приобрести ключевое значение для национальной безопасности – в зависимости от его наличия на территории государства, объемов производства и способов применения. В результате Геологическая служба США и Национальная ассоциация горнодобывающей промышленности (National Mining Association – NMA) инициировали активную фазу финансирования соответствующих исследований.

В США по причине развития технологий, связанных с использованием РЗМ, отмечается рост ассигнований по ряду программ модернизации образцов ВВСТ, состоящих на вооружении США. Среди них: вертолеты Black Hawk, зенитные ракетные комплексы Patriot, многоцелевые истребители пятого поколения F-22 Raptor, основные боевые танки (ОБТ) M1 Abrams, многоцелевые атомные подводные лодки Virginia и т.д.

Развитие производства РЗМ в ближайшей перспективе также связывают со значительным улучшением важнейших характеристик радиолокационных систем (РЛС), например таких, как угловая точность целеуказания. Типичные зоны обзора современных зарубежных РЛС оптического диапазона охватывают 360° по пеленгу и от $+30$ до -40° по углу места. Время разворота в заданном направлении составляет не более 1–2 с, максимальные угловые скорости слежения составляют 40–60 град/с. Такие динамические характеристики обеспечиваются преимущественно применением высокомоментных электродвигателей с редкоземельными постоянными магнитами.

Американские эксперты на протяжении ряда лет обеспокоены использованием в ОБТ M1 Abrams снарядов с урановым сердечником (APFSDS-T M829). По их мнению, производство снарядов нового поколения с применением РЗМ позволит создавать и поставлять на вооружение более эффективные, экономичные и менее опасные для личного состава боеприпасы (по сравнению с APFSDS-T M829).

За рубежом перспективы применения РЗМ для производства образцов ВВСТ связывают с высокоэнергетическими редкоземельными постоянными магнитами толщиной 1–400 мкм и созданием принципиально новых функциональных магнитных систем на их основе: пленочных постоянных магнитов и магнитотвердых пленок из РЗМ. Так, в ВЭС получением осажденных пленочных магнитов толщиной 1–400 мкм с заявленным уровнем свойств занимаются компании Mitsubishi и Toyota (Япония). Исследованием возможности применения тонких магнитных пленок в робототехнике занимается итальянский Институт биоробототехники (BioRobotics Institute of Scuola Superiore Sant'Anna). Изучением тонких пленок на основе сплава Nd – Fe – В (неодим – железо – бор) занимается Oakland University (Новая Зеландия). В основном исследования направлены на возможность применения тонких пленок в устройствах, а не на разработку технологий их получения.

Пленочные постоянные магниты с высокими магнитотвердыми свойствами и перпендикулярной магнитокристаллической анизотропией применяются для повышения уровня функциональных характеристик следующих устройств:

- быстродействующих бистабильных микропереключателей для радиочастотных микросистем, микрооптоэлектромеханических систем (МОЭМС) и микроридкостных систем;
- бистабильных микроактюаторов на основе пленочных магнитов с перпендикулярной магнитокристаллической анизотропией;
- плоских синхронных трехфазных микродвигателей;
- микротурбогенераторов;
- плоских электродвигателей для микроразмерных беспилотных летательных аппаратов (БЛА);
- беспропеллерных БЛА, сочетающих в себе тонкие магниты и устройства на сверхпроводящих материалах;
- миниатюрных механизмов стабилизации оптики для систем разведки и скрытого наблюдения.

Государственное регулирование рынка редкоземельных металлов в США

В начале президентского срока Д. Трамп заявил, что торговые отношения с Китаем будут одним из приоритетов внешней политики США. При этом Д. Трамп занимает в этих отношениях весьма жесткую позицию. Американские эксперты отмечают, что в ближайшем будущем это может обернуться для США большими сложностями и невозможностью производства двигателей для современных истребителей, управляемых ракетных систем и другой высокотехнологичной продукции сектора военно-промышленного комплекса (ВПК), в которой используется до 100 % редкоземельных металлов, поставляемых из Китая. Небольшая часть РЗМ поставляется из стран Балтии, Франции и Японии, но и там они производятся преимущественно из китайского сырья. Эксперты отмечают, что Китай в любой момент может перекрыть канал поступления РЗМ в США.

Необходимо отметить, что военно-политическое руководство (ВПР) США осознало серьезность ситуации – угрозу национальной безопасности – только с приходом новой администрации, и в марте 2017 г. член Палаты представителей Д. Хантер, конгрессмен-республиканец и сторонник Д. Трампа, выступил с инициативой¹ создания государственных стратегических запасов обеспечения национальной обороны США (National Defense Stockpile – NDS). Представленный законопроект носит название: «Материалы, необходимые для обеспечения американского лидерства и национальной безопасности» – METALS Act (Materials Essential to American Leadership and Security) [4]. Законопроект предлагает обязать предприятия ВПК страны закупать только РЗМ, произведенные внутри США, а правительство должно помочь американским производителям РЗМ предоставлением различных льгот.

В разделе 6 закона говорится о прямом запрете инвестиций в редкоземельные объекты США, если эти инвестиции хотя бы частично поступают из Китая или России. Несмотря на это, часть активов в связи с ее банкротством уже ранее была приобретена китайскими компаниями. В дальнейшем же все заявки на покупку активов месторождения Маунтин-Пасс будут рассматриваться Комитетом по зарубежным инвестициям США (The Committee on Foreign Investment in the United States – CFIUS). Комитет контролирует все инвестиционные проекты и транзакции, которые потенциально могут повлиять на национальную безопасность США. В итоге область, связанная с добычей редкоземельных металлов, может перейти в ведение Минобороны США.

Законопроектом METALS Act также предусматривается создание Инвестиционного фонда стратегических материалов за счет средств Министерства обороны США в объеме 1 % от

¹ Strategic and Critical Materials Operations Report to Congress.

стоимости программ по разработке новейших авиационных и ракетных вооружений. Средства Фонда пойдут на выделение беспроцентных займов сроком до 5 лет американским компаниям, занимающимся разработкой новой высокотехнологичной продукции или технологий, связанных со стратегическими и критическими материалами, а также на финансирование оборонных программ, в рамках которых предприятиями ВПК будут закупаться произведенные внутри страны эти самые стратегические и критические материалы. При этом одна из главных задач Фонда – недопущение сокращения программ производства новейших образцов ВВСТ.

В официальном отчете научно-исследовательской службы Конгресса США (Congressional Research Service) [5] говорится, что редкоземельные элементы входят в состав узлов практически всех передовых систем вооружений, и США не могут оставаться в зависимости от зарубежных источников стратегических и критических материалов. Риск такой зависимости с точки зрения национальной безопасности слишком велик, что требует принятия срочных мер по возрождению национальной производственной базы этих материалов. Полный список стратегических и критических видов сырья выглядит следующим образом: мышьяк, асбест, цезий, плавиковый шпат, галлий, графит, индий, марганец, слюда, ниобий, кристаллический кварц, РЗМ, рубидий, скандий, стронций, tantal, таллий, торий, ванадий и иттрий.

Помимо природного сырья, в список стратегических и критических материалов METALS Act предлагает включить перхлорат аммония, используемый в качестве окислителя в твердых ракетных топливах. В законе подчеркивается, что необходимо полностью отказаться от импорта этого химического соединения, если США намерены сохранить лидерство в производстве ракетного вооружения и пилотируемой космической техники.

Законопроект METALS Act сразу же поддержали компании, реализующие в настоящее время проекты по разведке редкоземельных месторождений в США: Ucore Rare Metals Inc. (месторождение Бокан-Маунтин на Аляске) и Texas Mineral Resources Corp. (месторождение Раунд-Топ в шт. Техас).

Помимо этого, в 2017 г. в законе Public Law 92–570 («Поправка Берри») появились поправки, предусматривающие ограничения на закупки РЗМ Министерством обороны США. Ограничения на поставки редкоземельных и специальных металлов распространяются на все контракты и субконтракты Министерства обороны США. Под ограничения подпадают следующие металлы или их сплавы:

- сталь с превышением содержания в сплаве марганца – свыше 1,65 %, кремния – 0,60 %, меди – 0,60 %; или более 0,25 % любого из следующих элементов: алюминия, хрома, кобальта, ниobia (колумбия), молибдена, никеля, титана, вольфрама или ванадия;
- металлические сплавы на основе никеля, железо-никеля и кобальта, в которых содержание других легирующих металлов (кроме железа) превышает 10 %;
- титан и титановые сплавы;
- цирконий и его сплавы.

Так, в настоящее время американские предприятия для нужд Министерства обороны США производят конечную выплавку специальных металлов и сплавов в целях контроля за их происхождением и поддержания качества на требуемом уровне. Например, титановая губка (необработанный титан), добытый в Казахстане, отправленный в США и переплавленный в слитки на литейном заводе в шт. Огайо, будет соответствовать стандартам производства специальных металлов США.

В соответствии с данными ограничениями Министерство обороны США, как правило, не может приобретать образцы ВВСТ или их компоненты, которые уже содержат какое-либо количество редкоземельных и специальных металлов, не произведенных в Соединенных Штатах. Данные ограничения распространяются на авиационную технику, ракетное вооружение, космические системы, морские суда, бронетанковую и автомобильную технику, ору-

жие и боеприпасы. Министерству обороны США и его основным подрядчикам также запрещено напрямую приобретать любой специальный металл (например, металлические листы, прутки, пластины и т. д.), если он не выплавлялся в Соединенных Штатах.

Однако «Поправка Берри» предусматривает ряд исключений на поставку специализированных металлов, среди них:

- обстоятельства, при которых министр обороны устанавливает, что специальный металл или сплав требуемого качества в достаточном количестве и требуемой форме не может быть изготовлен промышленностью США;
- поставки в поддержку боевых действий или в чрезвычайных ситуациях за пределами США;
- в случае неотложной необходимости;
- поставки на суммы контрактов ниже упрощенного порога приобретения (250 тыс. долл.);
- в случае международных соглашений (например, торговые или взаимозачетные соглашения);
- приобретение электронных компонентов (например, диоды или интегральные схемы), в случае если министр обороны укажет, что наличие данного электронного компонента в США имеет значение для национальной безопасности государства;
- покрытия и напыления, содержащие специальные и редкоземельные металлы, которые не выплавлялись в США, в случае если их общий объем в конечном изделии не превышает 2%;
- приобретение изделий гражданского назначения (например, крепежи, постоянные магниты и т. п.), в том числе для оборонных нужд при определенных обстоятельствах;
- изделия, содержащие материалы, не соответствующие нормативно-техническим нормам, в случаях если их использование необходимо в целях обеспечения национальной безопасности США.

Помимо этого, ограничения на поставку для Министерства обороны США отдельно коснулись редкоземельных ПМ и вольфрама, которые впервые появились в Законе о бюджетных ассигнованиях на национальную оборону (National Defense Authorization Act – NDAA) в 2017 г. (P.L. 115–232). В отличие от ограничений на использование специальных и редкоземельных металлов данные ограничения устанавливают, что сырье или готовые изделия из них не должны быть поставлены из четырех стран: КНДР, КНР, Российской Федерации и Ирана. Данные запреты касаются непосредственно Министерства обороны США и представителей оборонной промышленности.

Запреты на поставки сырья из редкоземельных ПМ и вольфрама применяются к всем контрактам Министерства обороны США и субконтрактам на любом уровне. Данный перечень включает следующие редкоземельные постоянные магниты:

- самарий-кобальтовые;
- неодим-железо-борные;
- а также вольфрамовое сырье:
- металлический вольфрамовый порошок;
- тяжелый сплав вольфрама (готовые изделия или полуфабрикаты) и компоненты, содержащие тяжелые сплавы вольфрама.

В соответствии с ограничительными мерами на поставки Министерство обороны США, как правило, не может напрямую приобретать образцы ВВСТ (самолеты, ракетные и космические системы, суда, бронетанковая и автомобильная техника, оружие и боеприпасы), содержащие редкоземельные постоянные магниты или вольфрам, которые были произведены в четырех указанных странах.

Министерству обороны США также запрещается продавать материалы из государственных стратегических запасов обеспечения национальной обороны США указанным странам или любой третьей стороне, которая может являться посредником указанных государств.

Государственные стратегические запасы обеспечения национальной обороны США были созданы Конгрессом в 1939 г. для приобретения и хранения в целях уменьшения или предотвращения вероятной зависимости Соединенных Штатов от зарубежных стратегических и критически важных материалов в периоды чрезвычайных ситуаций или вооруженных конфликтов.

Закон предусматривает следующие исключения:

- в случаях необходимости, если министр обороны выносит решение о том, что материалы удовлетворяют параметрам качества, количества, форме, стоимости и не могут быть приобретены внутри страны;
- закупка или продажа данных материалов или конечных изделий для использования за пределами США;
- объемы закупки на уровне или ниже размеров упрощенного порога приобретения (сумма контракта – до 250 тыс. долл.);
- приобретение электронных устройств, содержащих данные материалы, по рекомендации Совета по стратегической защите материалов в случаях, когда наличие конкретного электронного устройства в стране имеет решающее значение для обеспечения национальной безопасности;
- покупка конечного изделия, содержащего неодим-железо-борный магнит, изготовленного из переработанного материала, если измельчение и его спекание осуществляется в США.

В настоящее время на территории США ведутся работы по изучению и оценке ряда редкоземельных объектов, однако все они далеки от завершения, а перспективы их ввода в эксплуатацию в ближайшее время весьма сомнительны. Речь идет о следующих месторождениях: Беар-Лодж (шт. Вайоминг), Бокан-Маунтин (шт. Аляска), Даймонд-Крик и Леми-Пасс (шт. Айдахо), Элк-Крик (шт. Небраска), Ла-Пас (шт. Аризона), Пи-Ридж (шт. Миссури), Раунд-Топ (шт. Техас) и Тор (шт. Невада).

В связи с этим в ближайшей перспективе на глобальном рынке РЗМ сохранится фактическая монополия Китая. Представленные данные показывают, что КНР является мировым лидером не только в добыче и экспорте редкоземельных металлов, но и в их производстве, а также в производстве конечной потребительской продукции с использованием РЗМ [6]. Среди основных факторов, которые позволяют обеспечить доминирование Китая на глобальном рынке РЗМ на среднесрочную перспективу, зарубежные эксперты отмечают локализацию природных ресурсов (месторождение Баюнь-Обо с запасами РЗМ около 40 млн т) и значительную государственную поддержку (научная программа «Национальные исследования и программа поддержки разработок в сфере высоких технологий»). Данная программа значительно способствовала активизации исследований РЗМ в Китае. Низкая стоимость труда и себестоимость производства в Китае связаны с правительственные субсидиями, что гарантирует производителям РЗМ более низкие производственные издержки по сравнению с уровнем мирового рынка.

Таким образом, все большая востребованность РЗМ определяется современным уровнем развития науки и технологий в развитых государствах. Очевидным становится тот факт, что ряд уникальных свойств этих металлов, таких как ковкость, пластичность, температура плавления, парамагнитность (которая сохраняется даже при низких температурах) и хорошая электропроводность, позволяет производителям ВВСТ достигать существенно более высоких ТТХ по сравнению с существующими образцами. Неудивительно, что зарубежные конструкторы используют редкоземельные металлы и их сплавы для создания сухопутной, авиационной и морской техники, примерами которой могут служить передовые образцы бронетанковой техники, артиллерийского вооружения, боевых вертолетов, стратегических бомбардировщиков, межконтинентальных баллистических ракет, атомных подводных лодок и т. д.

Анализ представленных данных показывает, что в среднесрочной перспективе Китай будет по-прежнему занимать лидирующие позиции в рассматриваемой области, наращивать потенциал и разрабатывать передовые образцы вооружения с использованием РЗМ. Необходимо отметить, что наличие существенных законодательных ограничений в США, связанных с поставками сырья или конечной продукции из РЗМ, может негативно отразиться на дальнейшем развитии техники и технологий в этой стране.

Выявленная обеспокоенность военно-политического руководства развитых зарубежных стран, связанная с уровнем внутренней добычи и производства РЗМ, показывает значимость развития данного направления для успешной разработки и создания передовых образцов ВВСТ.

Статья выполнена по результатам работ в рамках Государственного задания по проекту № 2.13326.2019/13.1 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Ярыгин Т.Л. Мировой рынок редкоземельных металлов // Научное сообщество студентов ХХI столетия. Экономические науки: сб. ст. по мат-лам LXXI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 11 (71).
2. Самсонов Н.Ю. Обзор мирового и российского рынка редкоземельных металлов // ЭКО. 2014. № 2.
3. Golev A. Rare earth supply chains: Current status, constraints and opportunities // Resources Policy. Vol. 41. 2014.
4. URL: www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/1407/text (дата обращения: 07.10.2019).
5. URL: <https://fas.org/sgp/crs/natsec/R41744.pdf> (дата обращения: 03.10.2019).
6. Кременецкий А.А., Архипова Н.А. Редкоземельные металлы России: состояние МСБ, проблемы и пути развития // Разведка и охрана недр. 2012. № 9.

References

1. Yarygin T.L. World market of rare earth metals. Scientific community of students of the XXI century. Economic science: collection of articles on paper international LXXI student Scientific and practical Conf. No. 11 (71).
2. Samsonov N.Yu. Review of the world and Russian market of rare earth metals. ECO. 2014. No. 2.
3. Golev A. Rare earth supply chains: Current status, constraints and opportunities. Resources Policy. Vol. 41. 2014.
4. Available at: www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/1407/text (accessed: 07.10.2019).
5. Available at: <https://fas.org/sgp/crs/natsec/R41744.pdf> (accessed: 03.10.2019).
6. Kremenetsky A.A., Arkhipova N.A. Rare Earth metals of Russia: the state of SMEs, problems and ways of development. Exploration and protection of subsoil. 2012. No. 9.

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-183-195

НАРАЩИВАНИЕ БОЕВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОТИВОРАКЕТНОЙ ОБОРОНЫ США

Д.Б. Изюмов, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *izyutov@extech.ru*

Е.Л. Кондратюк, зам. нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *kel@extech.ru*

Рецензент: А.И. Гаврюшин

В статье представлены результаты анализа основных элементов и направлений развития системы противоракетной обороны США, оценки объемов запланированных инвестиций в ее усовершенствование и расширение. Рассмотрены основные научно-технические решения обеспечения глобальной противоракетной обороны США и стран – членов НАТО.

Ключевые слова: противоракетная оборона, Агентство противоракетной обороны США, баллистическая ракета, боевая головная часть, радиолокационная станция, вооружение, военная и специальная техника, основные направления развития, перспективные исследования.

BUILD-UP OF ANTI-MISSILE COMBAT CAPABILITIES OF THE US DEFENSE

D.B. Izyumov, Head of Department, SRI FRCEC, *izyutov@extech.ru*

E.L. Kondratyuk, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, *kel@extech.ru*

The article presents the results of the analysis of the main elements and directions of development of the US missile defense system, evaluation of planned investments in its improvement and expansion. The main scientific and technological solutions for the global missile defense of the United States and NATO member states are considered.

Keywords: missile defense, US missile defense Agency, ballistic missile, warhead, radar, weapons, military and special equipment, main directions of development, prospective research.

В настоящее время за рубежом системы противоракетной обороны (ПРО) разрабатываются и развернуты несколькими странами, среди которых – Израиль, Индия, Япония и страны Евросоюза, однако все эти системы имеют малый или средний радиус действия. Стратегической системой ПРО обладают только два государства в мире – США и Россия. Так, США, обладающие самым обширным научно-техническим и технологическим заделом, представляют наибольший интерес в области развития систем ПРО.

Программа ПРО 2019–2020 гг. направлена на комплексное обеспечение потребностей вооруженных сил (ВС) США и боевого командования (Combatant Commanders – СОСОМ) в разработках, проведении испытаний, развертывании новых систем вооружения, интеграции в глобальную систему ПРО новых средств перехвата, датчиков, систем оперативного управления и связи (Command and control, battle management and communications – С2ВМС). В нее входит система ПРО США (Ballistic Missile Defense System – BMDS) (рис. 1).

Перечень статей расходов на 2020 г. в области национальной и региональной противоракетной обороны США предполагает дальнейшее инвестирование в развитие передовых технологий и наращивание возможностей по противодействию комплексным угрозам [1, 2].



Рис. 1. Структура системы ПРО США

Далее рассмотрим структуру и составные элементы ПРО США на основании данных, представленных в программных элементах (Program Elements – PE) 6-й Главной научно-технической программы (ГНТП) Министерства обороны (МО) США¹ (Department of Defense – DoD).

Национальная противоракетная оборона США

В 2019 г. Агентство противоракетной обороны США (Missile Defense Agency – MDA, далее – Агентство) сформировало бюджетный запрос на 2020 г. в размере 9,43 млрд долл. (на 1,06 млрд долл. меньше по сравнению с бюджетом текущего года) на обслуживание состоящих на вооружении систем и дальнейшее развитие ПРО США. В данные ассигнования включены также расходы на поддержку систем противоракетной обороны зарубежных партнеров.

Запрос на 2020 г., несмотря на снижение, демонстрирует направленность Агентства ПРО США к дальнейшему расширению национальной системы противоракетной обороны. В рамках данных мероприятий будут продолжены разработка новых и модернизация устаревших систем, проведение испытаний, техническое обслуживание и ремонт элементов Комплекса противоракетной обороны на маршевом участке полета наземного базирования (Ground-based Midcourse Defense – GMD)².

¹ 6-я Главная научно-техническая программа «Исследования и разработки» содержит информацию о финансировании НИОКР МО США. Программные элементы в ней сгруппированы в разделах главной программы в соответствии с принятой в МО США классификацией исследований и разработок: исследования, поисковые, экспериментальные и опытно-конструкторские разработки. Деление НИОКР отражает последовательность их проведения при создании новых образцов ВВСТ в США.

² Ground-based Midcourse Defense – комплекс противоракетной обороны США, введенный в эксплуатацию в 2005 г. Предназначен для перехвата межконтинентальных баллистических ракет и их боевых частей в космическом пространстве.

Также внимание руководства Агентства направлено на увеличение числа противоракет (ПР), поддержку развития технологий, связанных с улучшением характеристик датчиков, систем боевого управления и др. В свою очередь, Министерство обороны США особо акцентировало внимание MDA на четырех направлениях в области повышения киберзащиты объектов ПРО США: на устойчивой аутентификации, улучшении возможностей систем защиты от кибератак, обеспечении надежности сетей и достижении максимального уровня согласованности программного обеспечения всех элементов, входящих в систему ПРО США.

Согласно информации, предоставленной в ПЭ 0603882С, МО США намерено израсходовать в 2020 г. 1,2 млрд долл. на систему GMD. Согласно данным, приведенным в 6-й ГНТП МО США, MDA продолжит активно финансировать НИОКР, связанные с разработкой и модернизацией наземных систем перехвата, а также дальнейшее их производство. Так, до 2023 г. общее количество развернутых ПР GBI (Ground Based Interceptor) достигнет 64 ед., в их число войдут 20 ПР на Аляске и еще четыре на базе BBC Ванденберг в Калифорнии.

Противоракета Ground Based Interceptor представляет собой трехступенчатый твердотопливный носитель, рассчитанный на вывод в околосземное пространство кинетического перехватчика – основного поражающего элемента системы. Длина ракеты составляет 16,8 м, масса в снаряженном состоянии – 12,7 т.

По мнению военно-политического руководства США, увеличение числа противоракет с 44 (в 2018 г.) до 64 ед. позволит значительно повысить эффективность обороны от потенциальных угроз со стороны Северной Кореи и Ирана (рис. 2). Также Агентство ПРО планирует полностью обновить устаревшие функциональные элементы системы GMD, включая программное обеспечение (ПО) систем обнаружения и поражения боевых головных частей (БЧ), а также приступить к установке усовершенствованных БЧ – RKV (Redesigned Kill Vehicle)³.

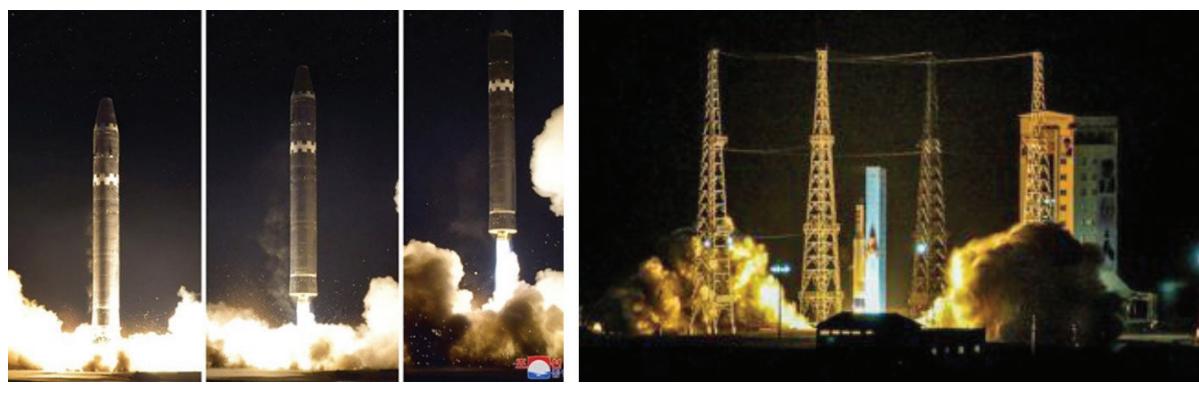


Рис. 2. Запуск: а) МБР Hwasong-15 в 2017 г. (КНДР); б) РН легкого класса Simorgh Space Launch Vehicle в 2019 г. (Иран)

Согласно заявлению Пентагона модернизированная БЧ RKV является соизмеримым ответом на рост количества угроз безопасности США. Модернизированная БЧ обладает повышенной надежностью и большей скоростью полета, также RKV позволит улучшить качество информационного обмена в полете. В ходе испытаний, проведенных в 2018 г., была осуществлена оценка уровня ее интеграции с системой ПРО США и соответствия реальных ТТХ RKV заявленным на этапе разработки. Замену всех БЧ модернизированными RKV запланировано завершить до 2022 г.

³ В некоторых источниках RKV именуется модернизированным перехватчиком EKV (Exoatmospheric Kill Vehicle) мод. СЕ-III.

Финансирование в рамках ПЭ 0604887С (бюджетный запрос на 2020 г. составляет 98,1 млн долл.) направлено на проведение испытаний и обслуживание элементов системы ПРО наземного базирования, осуществляющих перехват на маршевом участке траектории.

Так, в 2017 г. успешно проведены первые испытания (шифр FTG-15) по перехвату мишени-имитатора МБР, а в 2018 г. осуществлены эксплуатационные испытания (шифр FTG-11) системы наземного базирования с использованием ПР GBI, размещенных на базе ВВС США Ванденберг.

Агентство ПРО США запланировало на ближайший год проведение оценки диапазона применения GBI и анализ телеметрии, полученной в ходе испытаний по программе «Контрольные испытания ПР наземного базирования» (GM-Controlled Test Vehicle-03 – GM CTV-03). Также планируется запуск RKV без перехвата для сбора полетных данных с использованием ракеты GBI, запущенной с базы ВВС Ванденберг. Благодаря внедрению новых технологических решений RKV будет менее дорогостоящей по сравнению с устанавливаемой ранее БЧ EKV⁴. Помимо скорости полета, их основное отличие, также значительно влияющее на повышение эффективности системы ПРО США, – это появление обратной связи перехватчика с центром управления.

Помимо проведения испытаний, технического обслуживания (ТО) систем ПРО наземного базирования, ПЭ предусматривает финансирование обучения обслуживающего персонала, закупку тренажеров и учебного ПО.

На реализацию мероприятий, представленных в ПЭ 0603907С, Агентство ПРО США запросило на 2020 г. 128,2 млн долл. Так, предусматривается финансирование работ, связанных с РЛС морского базирования X-диапазона – SBX (Sea-Based X-band radar)⁵. РЛС SBX обеспечивает точное слежение за ракетами на среднем участке траектории, а также позволяет обнаруживать и следить за траекторией отделившихся ступеней. К настоящему времени эксплуатационные испытания SBX успешно закончены. В объем запрошенных средств включены расходы, необходимые для увеличения времени нахождения станции в открытом море до 330 дней ежегодно (до 2024 г.) в интересах обеспечения вооруженных операций на случай непредвиденных обстоятельств по просьбе Тихоокеанского командования США (USPACOM) и Северного командования США (USNORTHCOM).

Также MDA продолжит эксплуатацию SBX на восточном побережье США, предусмотренную Законом о национальной обороне (National Defense Authorization Act – NDAA) от 2016 г. Так, предполагается проведение испытаний с максимальным использованием существующих объектов МО США в целях минимизации оборонных расходов, а также в интересах мониторинга возможных угроз со стороны КНДР. Также в рамках ПЭ 0603907С на 2020 г. запланировано обновление устаревших процессоров x86 на РЛС X-Band Radar (XBR).

В соответствии с данными ПЭ 0604873С на 2020 г. сформирован бюджетный запрос в размере 136,4 млн долл. на проведение эксплуатационных испытаний РЛС дальнего обнаружения (Long Range Discrimination Radar – LRDR), развертываемых на Аляске и в Японии. LRDR является средством обнаружения на маршевом участке траектории, которое позволяет улучшить способность обнаружения и распознавания БР, повышая эффективность применения противоракет наземного базирования. К 2022 г. MDA планирует успешно завершить этап военной приемки РЛС, после чего она начнет полноценное функционирование в составе системы ПРО США.

⁴ Заатмосферный перехватчик EKV, устанавливаемый на ПР GBI, способен осуществлять перехват баллистической ракеты с неразделяемой боевой частью.

⁵ Sea-Based X-band radar – буксируемая надводная радиолокационная станция, предназначенная для размещения в открытом океане. Создана и эксплуатируется в рамках программы ПРО Агентства противоракетной обороны США, входит в состав системы GMD.

Процесс возведения базы LRDR по Программе военного строительства (Military construction – MILCON) предполагал два этапа. Первый этап (стоимость – 155 млн долл.), работы по которому начались в 2017 г., включал монтаж систем управления, средств защиты и платформы под установку элементов РЛС. Второй этап (150 млн долл.) предусматривал строительство защищенной электростанции и топливного хранилища.

Согласно данным о проекте MD11 программного элемента 0603884C Агентство ПРО намерено израсходовать 250 млн долл. в 2020 г. на проведение работ, связанных с усовершенствованием РЛС AN/TPY-2, Cobra Dane, SBX и UEWR (Upgraded Early Warning Radars) за счет установки нового программного обеспечения (в том числе обновления алгоритмов радиочастотного распознавания) и монтажа усовершенствованных радиочастотных датчиков.

Также часть финансирования по проекту будет направлена на мероприятия стратегического планирования, оценку эффективности обновления ПО и проведения вышеперечисленных работ, заключение контрактов, внутренние проверки, аудиты и др.

Глобальная противоракетная оборона США

Уровень расходов последних лет показывает приверженность МО США к созданию региональных сил ПРО, которые будут действовать совместно с элементами системы ПРО, развернутыми стратегическими партнерами. США продолжают реализовать Европейский поэтапный адаптивный подход (ЕПАП) (European Phased Adaptive Approach – EPAA) (табл. 1), целью которого является обеспечение защиты развертываемых сил США и их союзников по НАТО в Европе от ударов БР со стороны Ближнего Востока. В табл. 2 показан график проведенных работ по развертыванию европейской компоненты системы ПРО с 2009 по 2018 г. [3].

Таблица 1

План реализации Европейского поэтапного адаптивного подхода

| Фаза | Дата реализации | Место проведения | Наименование элементов системы ПРО | Наименование противоракеты | Наименование РЛС |
|------|---|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------|--|
| I | Завершена в 2011 г. | Средиземное море, Рота, Испания | Корабли ПРО Aegis BMD | SM-3 Block IA | AN/TPY-2. Развёрнута в Турции, система C2BMC модернизирована в интересах организации узла управления ПРО в Европе на авиационной базе Рамштайн (Германия) |
| II | Завершена в 2016 г. | Румыния | Система ПРО Aegis Ashore | SM-3 Block IB | Датчики интегрированы с обновленными версиями системы ПРО Aegis. К 2015 г. корабли ПРО модернизированы до уровня 3.6.1, 4.0.1 и 5.0 |
| III | Продлена до 2020 г. (была запланирована до 2018 г.) | Польша | Система ПРО Aegis Ashore | SM-3 Block IIA | Система точного сопровождения космического базирования Precision Tracking Space System (PTSS), средства обнаружения и сопровождения баллистических объектов инфракрасного типа воздушного базирования Airborne Infrared (ABIR). Корабли ПРО Aegis BMD оснащены программным обеспечением версии BMD 5.1 |
| IV | Отменена (по состоянию на 2019 г.) | – | – | SM-3 Block IIB | – |

Таблица 2

График основных этапов развертывания системы ПРО в Европе

| Дата реализации | Содержание работ |
|------------------|---|
| Сентябрь 2009 г. | США объявили о начале реализации Европейского поэтапного адаптивного подхода |
| Сентябрь 2011 г. | – Достигнуто соглашение между Польшей и США об установке системы Aegis Ashore в Польше; – Румыния и США подписали соглашение о строительстве системы Aegis Ashore в Румынии; – Турция объявила о решении разместить РЛС противоракетной обороны США |
| Октябрь 2011 г. | Испания и США объявляют о достижении соглашения по созданию базы американских кораблей Aegis в Рота (Испания) |
| Апрель 2012 г. | НАТО объявила об установке и проведении успешных испытаний узла управления европейской части системы ПРО на авиабазе Рамштайн (Германия) |
| Октябрь 2013 г. | Церемония закладки фундамента системы Aegis Ashore в Девеселу (Румыния) |
| Февраль 2014 г. | Эсминец УРО USS Donald Cook (DDG-75) размещен в Рота (Испания) |
| Май 2014 г. | Система Aegis Ashore прошла успешные испытания в Кауаи (Гавайи) |
| Июль 2014 г. | Эсминец USS Ross (DDG-71) размещен в Рота (Испания) |
| Октябрь 2014 г. | База противоракетной обороны в Румынии введена в эксплуатацию |
| Декабрь 2015 г. | Завершен первый этап испытаний по перехвату Aegis Ashore ракеты SM-3 |
| Май 2016 г. | Система противоракетной обороны Aegis Ashore в Румынии прошла этап эксплуатационной сертификации |
| Март 2018 г. | Агентство США сообщило о продлении срока введения в эксплуатацию базы в Польше до 2020 г. из-за технических проблем |
| Октябрь 2018 г. | ПР SM-3 ПА, предназначенная для размещения на базе в Польше, осуществила успешный перехват имитатора баллистической ракеты средней дальности, запущенной с эсминца USS John Finn (DDG 113) (в рамках реализации третьей фазы ЕПАП) |

MDA успешно выполнило вторую фазу ЕПАП, которая предполагала развертывание системы ПРО Aegis Ashore в Девеселу (Румыния) в 2016 г. Данная система, принятая к эксплуатации ВМС США, обеспечивает возможность запуска ракет SM-3 Block IA и IB для защиты европейских партнеров и дислокации американских войск в Европе. В настоящее время Aegis Ashore является неотъемлемой частью системы ПРО НАТО, которая также включает передовые системы вооружений – такие, как мобильная РЛС разведки и наблюдения AN/TPY-2⁶ (Army Navy/Transportable Radar Surveillance System and Control. Model 2) в Турции, управляемые ПР Aegis Destroyers, размещенные в Рота (Испания), ПР SM-3 и узел управления ПРО на авиабазе Рамштайн (Германия).

Standard Missile 3 – зенитная управляемая ракета семейства «Стандарт». Находится на вооружении ВМС США, устанавливается на крейсеры, эсминцы или на наземные комплексы. Кинетическая БЧ имеет собственный двигатель. Наведение производится автоматически с помощью матричной инфракрасной головки самонаведения, имеющей высокое раз-

⁶ AN/TPY-2 – мобильная РЛС X-диапазона с поэтапным высоким разрешением. Является важным элементом системы BMDS. AN/TPY-2 передает информацию на РЛС AN/MPQ-53/65 системы MIM-104 Patriot PAC-3. AN/TPY-2 характеризуется расширенным диапазоном поиска, способностью отслеживать малые объекты и баллистические ракеты всех классов. После обнаружения ракет благодаря использованию сложных алгоритмов способна отличать угрозы от объектов, не представляющих опасности.

решение. Предназначена для уничтожения воздушных целей, в том числе баллистических ракет и боеголовок на заатмосферных высотах.

В настоящее время реализуется третья фаза ЕПАП. Она предполагает размещение системы ПРО Aegis Ashore в Польше и обновление системы ПРО Aegis новой модификацией ракет SM-3 Block IIА. Завершение строительства Aegis Ashore в Польше было намечено на конец 2018 г., однако сроки были сдвинуты до 2020 г. по инициативе американской стороны. После завершения работ третьей фазы системы Aegis Ashore и другие модернизированные системы Aegis будут способны осуществлять пуск ракет модификаций SM-3 Block IA, IB и IIА. Это повысит вариативность противоракетной обороны в целом и обеспечит более полную защиту от ракет малой и средней дальности, а также промежуточного радиуса действия.

Суммарно MDA планирует израсходовать 25,7 млн долл. в 2020 г. на развертывание Aegis Ashore в Польше. Финансирование будет направлено на целый спектр мероприятий, необходимых для полноценного функционирования системы. В том числе предполагается осуществлять обновление отдельных компонентов в соответствии с ростом боевых возможностей противника, а также планом ВМС США по модернизации средств поражения (Navy's destroyer modernization plan) [4], что позволит улучшить осведомленность о европейском театре военных действий. Актуальность информации будет поддерживаться на должном уровне, в том числе и за счет внедрения беспроводной широкополосной информационной сети.

Помимо перечисленных выше расходов, руководство США на 2020 г. запланировало следующие объемы финансирования в области дальнейшей разработки, проведения испытаний, эксплуатации и технического обслуживания элементов системы ПРО.

1. В рамках ПЭ 0603892C 727,5 млн долл. будет направлено на ПРО Aegis BMD. Данный ПЭ предполагает интеграцию БР SM-3 Block IIА в систему ПРО, переход на общую систему аппаратных средств Kinetic Warhead, тестирование их аппаратного взаимодействия и выпуск опытного образца стартового комплекта (All-Up-Rounds) для поддержки первоначального развертывания в рамках Третьей фазы ЕПАП.

Агентство ПРО США намерено и дальше увеличивать число систем Aegis в соответствии с требованиями ВМС США для повышения эффективности противодействия баллистическим ракетам малой, средней и промежуточной дальности. Внедрение новых РЛС с улучшенной разрешающей способностью позволяют системе Aegis повысить возможности противодействия большему спектру БР дальнего действия. В 2020 г. MDA продолжит разработку нового ПО для системы объединенной противовоздушной и противоракетной обороны (Integrated Air and Missile Defense – IAMD) Baseline 9.C2 (BMD 5.1) в поддержку третьей фазы ЕПАП и поддержки IAMD 10 (BMD 6.0). Модернизация ПО и аппаратных средств ПРО до уровня 6.0 позволит интегрировать состоявшие на вооружении системы ПРО с передовой РЛС ПВО/ПРО (Advanced Air and Missile Defense Radar – AMDR), именуемой AN/SPY-6⁷, для увеличения дальности взаимодействия элементов европейской ПРО. В 2020 г. Агентство продолжит модернизацию аппаратного и программного обеспечения систем управления противоракет SM-3 Block IB и ПР SM-3 Block IIА.

2. В рамках ПЭ 0604878C планируется израсходовать 169,8 млн долл. на проведение испытаний систем Aegis.

⁷ AN/SPY-6, или AMDR, – радиолокационная система, разрабатываемая для размещения на кораблях ВМС США. Система обеспечивает объединенную противовоздушную и противоракетную оборону, а также некоторые дополнительные функции (например, обнаружение перископов подводных лодок). Система AMDR состоит из двух основных РЛС и контроллера RSC (Radar Suite Controller), предназначенного для координации и работы. РЛС S-диапазона осуществляет трехкоординатный обзор, сопровождение целей, распознавание баллистических ракет и связь с противоракетами. РЛС X-диапазона осуществляет слежение и сопровождение низколетящих и надводных целей, управление ракетами, подсветку цели на конечном участке траектории ракеты.

Программа испытаний ПРО Aegis предполагает проведение всестороннего анализа и оценки возможностей всех компонентов Aegis, в том числе их совместимости с системой глобальной ПРО.

Также план проведения испытаний ПРО Aegis предусматривает проведение имитационного моделирования в целях получения дополнительных данных, необходимых MDA и командующим войсками для перехода к базовому уровню оперативной готовности (Operational Capacity Baseline). Так, к настоящему моменту Агентство провело успешные испытания FTM-29 с использованием ПРО Aegis уровня 5.1 и ПР SM-3 Block IIА.

3. Агентство MDA в 2020 г. планирует направить 697,8 млн долл. на закупку 30 ракет Aegis SM-3 Block IB, включая расходы, связанные с эксплуатацией и проведением ТО пускового оборудования. Также будет закуплено 20 ракет SM-3 Block IIА. Каждый вариант ракеты можно использовать на кораблях Aegis BMD и на площадках Aegis Ashore в Румынии и Польше.

4. В период до 2022 г. MDA планирует направить 160,3 млн долл. на корабельное оборудование систем оружия ПРО Aegis, включая программное обеспечение и монтажное оборудование. MDA продолжит поставки блоков SM-3 Block IB в Румынию и для многоцелевых кораблей Aegis ВМС США. Продолжится взаимодействие Агентства ПРО с ВМС США по вопросам усовершенствования антенны РЛС AN/SPY-1, включая внедрение нового ПО Aegis Weapon System.

В целом в 2020 г. на закупку и сопровождение элементов системы ПРО Aegis планируется израсходовать около 700 млн долл.

Еще один важный компонент противоракетной обороны США – комплексы THAAD (Terminal High Altitude Area Defense). THAAD представляет собой мобильную сухопутную систему, которая обеспечивает защиту от ударов БР на конечной стадии полета. THAAD, являясь быстроразвертываемой системой, расширяет и дополняет возможности национальной и региональной систем ПРО США и стран – членов НАТО.

В настоящее время Агентство ПРО США осуществляет развертывание батареи передового базирования THAAD на о. Гуам. Испытательные пуски северокорейских БР обеспокоили военно-политическое руководство США, показав наличие серьезной угрозы с их стороны американской группировке передового развертывания в Южной Корее в частности и в Азиатско-Тихоокеанском регионе в целом.

Развертывание THAAD способствует созданию многоуровневой системы противоракетной обороны и расширяет защиту Альянса США – Южная Корея от угрозы ракетного удара со стороны КНДР.

В целях недопущения ослабления позиций на Корейском п-ове бюджетный запрос Агентства ПРО США на 2020 г. содержит следующие статьи [5]: 230,2 млн долл. для систем ПРО THAAD по ПЭ 0603881С, включая проведение НИОКР, связанных с модернизацией и обновлением парка мобильных комплексов. MDA продолжит разработку обновлений ПО для THAAD в интересах повышения возможностей в ходе взаимодействия с другими элементами системы ПРО.

Данные работы позволят обеспечить лучшую совместимость системы ПРО THAAD с другими элементами BMDS, расширить защищенные области с помощью удаленного управления пусковыми установками THAAD и начать разработку терминала, оповещающего о гиперзвуковых угрозах. Также MDA продолжит разработку, связанную с USFK JEON (United States Forces Korea Joint Emergent Operational Need), которая обеспечивает расширенные возможности THAAD против ряда угроз элементам ПРО USFK и объединяет возможности THAAD по обнаружению и отслеживанию угроз удара БР на более длительный срок.

В 2018 г. компания Lockheed Martin заключила контракт с МО США на 200 млн долл. на проведение работ, связанных с повышением возможностей комплексов THAAD MSE и Patriot Launch on Remote (система удаленного управления) и их интеграции в систему ПРО, а также

на разработку и внедрение обновленного программного обеспечения Launcher Interface Network Kit и архитектуры Fire Solution. Ожидается, что работы будут завершены к 2022 г.

Также Министерство обороны США планирует израсходовать:

– 25,1 млн долл. на проведение испытаний в рамках ПЭ 0604876С. Данный программный элемент предусматривает проведение в 2020 г. испытаний систем защиты комплексов согласно плану Integrated Master Test Plan (IMTP) ver. 20.1. Испытания предусматривают удаленный запуск ракет Patriot и перехват БР средней дальности комплексами THAAD (шифр FTO-03);

– 425,9 млн долл. на продолжение закупок ПР и техническое обслуживание комплексов THAAD. В настоящее время в СВ США поставлено 262 комплекса THAAD, а к 2020 г. число состоящих на вооружении противоракет составит 375 ед.;

– 99,8 млн долл. будет направлено на приобретение, ремонт и техническое обслуживание тренажеров комплекса THAAD.

Создание новых возможностей

В интересах расширения возможностей ПРО США MDA осуществляет поддержку следующих основных направлений исследований:

– повышение разрешающей способности перспективных средств обнаружения системы ПРО;

– создание твердотельных лазеров большой мощности, предполагаемых к дальнейшей установке на БЛА для обеспечения возможности поражения БР на разгонном участке траектории;

– реализацию технологии «Многообъектные боевые головные части» (Multi-Object Kill Vehicle – MOKV).

Согласно информации о финансировании в рамках ПЭ 0604115С, Агентство запрашивает 303,5 млн долл. на реализацию проектов, достигших уровня технологической готовности (Technology Maturation Initiatives). В частности, MDA планирует внедрять усовершенствованные датчики в системы, уже прошедшие испытания и подтвердившие свою эффективность. Примером такой системы является мультиспектральная система наведения (Multi-spectral Targeting System) разведывательно-ударного БЛА MQ-9 Reaper, устанавливаемая в целях решения задач точного слежения и распознавания целей (рис. 3). В перспективе мультиспектральные системы наведения планируется устанавливать на космические перехватчики.



Рис. 3. Разведывательно-ударный БЛА MQ-9 Reaper с системой мультиспектрального наведения

Согласно ПЭ 0603294С на Программу технологий создания боеголовок общего назначения (Common Kill Vehicle Technology Program) MDA планирует израсходовать в 2020 г. 13,6 млн долл.

Предполагается создать технологический задел в области разработки системы уничтожения нескольких воздушных целей при запуске одной противоракеты (рис. 4). В настоящее время Агентство заключило трехлетние контракты с тремя конкурирующими подрядчиками в целях снижения технического риска в случае нереализации разработки МОКВ. Начало НИОКР запланировано на 2020 г.



Рис. 4. Концепция многообъектной головной части ПР

Согласно информации, представленной в ПЭ 0603176С «Передовые концепции и оценка эксплуатационных показателей» (Advanced Concepts & Performance Assessment), Агентство запрашивает 14,2 млн долл. на организацию НИР по оценке вероятного технического уровня перспективной ПРО, проведение ее всестороннего анализа и изучение новых моделей и концепций. Также в рамках данного ПЭ запланировано финансирование программно-аппаратного моделирования технических возможностей перспективных проектов, проведение испытаний датчиков воздушного базирования, опытных образцов боеголовок с модульной открытой архитектурой и т. п.

Космическая противоракетная оборона

На программу космической противоракетной обороны в рамках ПЭ 1206895С Агентство ПРО на 2020 г. запрашивает 27,6 млн долл. В ее ходе предполагается проведение испытаний спутника ПРО космического базирования (Spacebased Kill Assessment – SKA). SKA будет собирать и хранить данные сети ИК-датчиков, размещенных на коммерческих спутниках, и с помощью широкополосной сети передачи данных отправлять информацию в Центр управления ПРО США (рис. 5).

Группировка спутников SKA, которую начали выводить на орбиту в 2017 г., к настоящему моменту прошла полный перечень летных испытаний, признанных успешными. Бюджетный запрос на 2020 г. направлен, в том числе, на разработку алгоритмов оценки вероятности удара БР, а также на изучение возможности внедрения систем искусственного интеллекта.



Рис. 5. Датчик системы SKA

Агентство ПРО США также запрашивает 35,8 млн долл. на техническое обслуживание действующей космической системы наблюдения и разведки STSS (Space Tracking and Surveillance System) (ПЭ 1206893С). Данная система состоит из двух спутников, работающих на низкой околоземной орбите. STSS предоставляет данные оперативного слежения за угрозами, осуществляет распознавание целей, выдачу целеуказания и замыкает систему управления огнем системы ПРО. В целом система STSS будет продолжать обеспечивать ситуационную осведомленность Центра космической противоракетной обороны (Missile Defense Space Center – MDSC) ВС США.

В перечень работ по ПЭ 1206893С также включено финансирование мероприятий, направленных на обеспечение совместного функционирования, использования и интеграции системы STSS с другими космическими средствами и системами морского и наземного базирования.

Другие программы развития противоракетной обороны США

Финансирование исследований и разработок датчиков ПРО в рамках ПЭ 0603884С направлено на поддержание национальной и региональной систем ПРО США. Так, на поддержку РЛС раннего предупреждения Cobra Dane, модернизированных РЛС раннего предупреждения (программа Upgraded Early Warning Radar – UEWR) и РЛС AN/TPY-2, размещенных за пределами континентальной части США, а также РЛС морского базирования Агентство ПРО США запросило 263,5 млн долл.

В перечень работ также включены разработки передовых алгоритмов систем распознавания для указанных РЛС в интересах их модернизации. Дальнейшее развитие средств распознавания предусматривает, в том числе, их интеграцию в систему глобальной ПРО. В результате работ РЛС позволят обеспечить всех участников глобальной ПРО информацией о выявленных и опознанных объектах с указанием степени угрозы, исходящей от них.

Помимо отдельных звеньев ПРО США, планируется модернизировать и основной элемент – систему оперативного управления боевыми действиями и связи (Command and control, battle management, and communications system – C2BMC), осуществляющую полный спектр информационного обеспечения, координации и управления. Она обеспечивает постоянное слежение, выявление и распознавание угроз, управление огнем и поддержание качества данных конечным потребителям – Aegis, GMD, THAAD и Patriot, а также осуществляет информационное обеспечение партнеров по коалиции в интересах национальной и региональной ПРО.

Система C2BMC также обеспечивает управление датчиками и РЛС AN/TPY-2 передового базирования во всем мире, предоставляет оперативные данные для ситуационной осведомленности и принятия решений системы глобальной ПРО. На поддержание ее потенциала

на современном уровне, включая разработку нового ПО «Спираль 8.2-3» и «Спираль 8.2-5», MDA на 2020 г. запрашивает 564,2 млн долл. Агентство ПРО продолжит разработку пакетов обновлений, позволяющих улучшить управление датчиками и системами слежения. ПО «Спираль 8.2-3» обеспечит возможность дистанционного управления элементами ПРО Aegis, а ПО «Спираль 8.2-5» позволит интегрировать РЛС LRDR в систему глобальной ПРО.

С 2018 г. MDA увеличило расходы на НИОКР в области разработки и создания гиперзвуковых оборонных систем. Так, в рамках ПЭ 0604181С в 2020 г. запланированные расходы на проведение данных исследований, а также на формирование «дорожной карты» в области развития гиперзвуковых технологий составят 157,6 млн долл.

MDA планирует исследовать, развивать и наращивать потенциал в области обеспечения кибербезопасности в соответствии со Стратегией МО США (National Cyber Strategy of the USA 2018), Планом реализации мер по кибербезопасности МО США (Cybersecurity Discipline Implementation Plan) и Программой MDA по кибероперациям (Cyber Operations Program) [6, 7].

Таким образом, расходы (9,43 млрд долл.) на укрепление и расширение развертывания национальных и коалиционных (региональных) средств ПРО, запланированные Агентством ПРО США на 2020 г., будут распределены следующим образом (рис. 6).



**Рис. 6. Диаграмма распределения бюджета
Агентства ПРО США**

В области международного сотрудничества MDA продолжает осуществлять финансовую поддержку партнеров по ПРО в целях:

- проведения совместных исследований и разработок в рассматриваемой области;
- развертывания на территориях союзников своих комплексов противоракет и элементов системы ПРО (прежде всего РЛС);
- дополнительных закупок средств противоракетной обороны;
- обеспечения совместного производства элементов ПРО.

Также сохраняется многолетняя традиция сотрудничества Агентства с израильской Организацией противоракетной обороны (Israel Missile Defense Organization), включая совместное развитие системы ПРО «Праща Давида», перехватчика в верхней части траектории полета БР (Upper-Tier Interceptor) и модернизацию комплекса ПРО Arrow (Arrow Weapon System Improvements). Международное сотрудничество MDA по всем программам осуществляется в соответствии с ранее достигнутыми международными соглашениями.

Статья выполнена по результатам работ в рамках Государственного задания по проекту № 2.13326.2019/13.1 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Изюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л. Перспективы развития противоракетной обороны США // Инноватика и экспертиза. 2018. Вып. 1 (22). С. 169–184. URL: <http://inno-exp.ru/archive/22/169-184.pdf> (дата обращения: 08.10.2019).
2. Ballistic missile defence. NATO, 25 July 2016. URL: https://www.nato.int/cps/ic/natohq/topics_49635.htm (дата обращения: 08.10.2019).
3. URL: <https://missiledefenseadvocacy.org/missile-defense-systems-2/missile-defense-systems/policy-coming-soon/european-phased-adaptive-approach-epaa> (дата обращения: 08.10.2019).
4. URL: <http://missiledefenseadvocacy.org/intl-cooperation/poland> (дата обращения: 08.10.2019).
5. Fiscal Year (FY) 2020 President's Budget Submission. Missile Defense Agency, Defense-Wide Justification Book, Vol. 2a of 2 (Research, Development, Test & Evaluation, Defense-Wide), Feb 2019.
6. Cyber Strategy, DoD, 2018. URL: https://media.defense.gov/2018/Sep/18/2002041658/-1/-1/1/CYBER_STRATEGY_SUMMARY_FINAL.PDF (дата обращения: 08.10.2019).
7. Cybersecurity Discipline Implementation Plan, DoD, Feb 2016. URL: <http://dodcio.defense.gov/Portals/0/Documents/Cyber/CyberDis-ImpPlan.pdf> (дата обращения: 08.10.2019).

References

1. Izyumov D.B., Kondratyuk E.L. Prospects for the development of the US missile defense. Innovatika and expert examination. 2018. Vol. 1 (22). P. 169–184. Available at: <http://inno-exp.ru/archive/22/169-184.pdf> (date accessed: 08.10.2019).
2. Ballistic missile defence. NATO, 25 July 2016. Available at: https://www.nato.int/cps/ic/natohq/topics_49635.htm (date accessed: 08.10.2019).
3. Available at: <https://missiledefenseadvocacy.org/missile-defense-systems-2/missile-defense-systems/policy-coming-soon/european-phased-adaptive-approach-epaa> (date accessed: 08.10.2019).
4. Available at: <http://missiledefenseadvocacy.org/intl-cooperation/poland> (date accessed: 08.10.2019).
5. Fiscal Year (FY) 2020 President's Budget Submission. Missile Defense Agency, Defense-Wide Justification Book, Vol. 2a of 2 (Research, Development, Test & Evaluation, Defense-Wide), Feb 2019.
6. Cyber Strategy, DoD, 2018. Available at: https://media.defense.gov/2018/Sep/18/2002041658/-1/-1/1/CYBER_STRATEGY_SUMMARY_FINAL.PDF (date accessed: 08.10.2019).
7. Cybersecurity Discipline Implementation Plan, DoD, Feb 2016. Available at: <http://dodcio.defense.gov/Portals/0/Documents/Cyber/CyberDis-ImpPlan.pdf> (date accessed: 08.10.2019).

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 3 (28)

MOSCOW 2019

ИННОВАТИКА И ЭКСПЕРТИЗА

3 (28)

Москва 2019

Ответственный редактор *А.А. Тугаринов*

Компьютерная верстка *А.А. Тугаринов*

Корректор *А.В. Соколова*

Перевод *В.Е. Гелюта*

Сдано в набор 1.11.19. Подписано в печать 25.12.19.

Формат 205×287. Бумага 80 г/м².

Тираж 80. Заказ № 20.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Научно-исследовательский институт –

Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы»

Москва, ул. Антонова-Овсеенко, д. 13