

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ – РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ»
(ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ)

ИННОВАТИКА И ЭКСПЕРТИЗА

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ
Выпуск 2 (20)

МОСКВА 2017

Editor-in-chief

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

Editorial Board:

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

K.V. Lebedev, Deputy General Director of SRI FRCEC for R&D, Doctor of Economics;

I.I. Kurochka, Scientific Secretary, Executive Secretary of the editorial Board, Doctor of Physics and Mathematics;

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

Y.L. Rybakov, Director of Centre, Ph.D. of Biology;

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

S.B. Schepansky, Deputy Director of Centre, Doctor of Engineering;

A.M. Mironov, Chief, Main Directorate for Research & Development and Advanced Technology Technical Expertise (Innovation Research) of the Ministry of Defence, Doctor of Engineering;

A.N. Antonov, General Director JSC «Poligon»;

N.P. Ivaschenko, Deputy Dean, Lomonosov Moscow State University, Ph.D. of Economics;

A.M. Tishin, Professor, Lomonosov Moscow State University, Ph.D. of Physics and Mathematics

Executive Technical Editor for the collection

A.A. Tugarinov

Innovatics and Expert Examination. The scientific works of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Project Evaluation and Consulting Services» (SRI FRCEC). Moscow. SRI FRCEC, 2017. Vol. 2(20). 243 p.

This collection includes published scientific works of theoretical and practical nature made by analysts, specialists and experts of SRI FRCEC as well as of other scientific organizations and industrial enterprises, on the most important issues of Russia in the field of innovation, scientific and technological expert examination, economics and organization of scientific activity, scientific and technological cooperation. The topical issues touched upon, are related to the production and application of new high-tech raw materials, use of directional transmission of energy, prospects of development of energy, study of properties of new materials, including nanostructured materials; examination of trends of innovative development of Russia, results of the analysis of activity of economic entities and development of innovative infrastructures of universities; discussion of legal regulation of protected areas etc.

Scientific research and review-analytical articles of this collection may be useful for managers of institutions and enterprises, scientific research workers, experts, analysts and practitioners in the field of innovation management, development of innovative products, as well as for lecturers and students.

ISSN 1996-2274

© SRI FRCEC, 2017

EAN-13: 9771996227771

This collection was registered on 12 April 2007 in ROSOHRANKULTURA Agency PIN^o FS77-27730.

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

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

E-mail: info@extech.ru

http: //www.extech.ru

Главный редактор

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

Редакционная коллегия:

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

К.В. Лебедев, зам. ген. директора ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по научной работе, канд. экон. наук;

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

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

Ю.Л. Рыбаков, дир. центра, д-р биол. наук;

Т.И. Турко, дир. центра, канд. биол. наук;

С.Б. Щепанский, зам. дир. центра, канд. техн. наук;

А.М. Миронов, нач. гл. управления ГУНИД МО РФ, канд. техн. наук;

А.Н. Антонов, ген. директор АО «Полигон»;

Н.П. Иващенко, зам. дек. МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р экон. наук;

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

Отв. тех. редактор сборника

А.А. Тугаринов

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, 2017. Вып. 2(20). 243 с.

В сборнике опубликованы научные труды теоретического и практического характера аналитиков, специалистов и экспертов ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ а также других научных организаций и производственных предприятий по наиболее актуальным для России проблемам в области инноватики, научной и научно-технической экспертизы, экономики и организации научной деятельности, научно-технического и технологического сотрудничества. Затронуты актуальные проблемы, связанные с добычей и применением нового высокотехнологичного сырья, использования направленной передачи энергии, перспективами развития энергетики, изучением свойств новых, в том числе наноструктурных материалов; рассматриваются направления инновационного развития России и др.

Научные и обзорно-аналитические статьи сборника могут быть полезными для руководителей учреждений и предприятий, научных работников, экспертов и аналитиков, практиков-производственников в области инновационного управления, разработки инновационных продуктов, а также для преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

ISSN 1996-2274

© ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2017

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

Gudkova A.A., Olshevsky D.V. Assessment of innovative development of subjects of the Russian Federation	8
Fedorkov V.F., Turko T.I., Fahurdinov O.V., Timohin A.A. The analysis for accounting of small innovative enterprises, created in the sphere of education and science	24
Rulev A.S., Yuferev V.G., Pugacheva A.M. The innovative technology of forest ameliorative arrangement of degraded landscapes on the basis of GIS-technologies and space imaging	33
Lazareva E.O., Lipovitskaya I.N., Andreyeva E.S. Innovative approaches for predicting the level of pollution of atmospheric air in large cities	46
Bashkin V.N., Galiulin R.V., Arabskiy A.K. Innovative technology of disturbed tundra soils recultivation on «Gazprom Dobycha Yamburg» LLC territory	51

EXPERT EXAMINATION AND ANALYTICAL ACTIVITY

Mironov N.A., Divueva N.A. Methodological issues of practical application of federal roster of experts of scientific and technical sphere for scientific, technological and social and economic forecasting	59
Kobrunov A.I. Mathematical models of expert evaluation of the reliability of the forecast of estimated parameters and reserves of hydrocarbon deposits	66
Kolesnikov I.Yu., Morozov V.N., Tatarinov V.N., Tatarinova V.N. Stress-strain energetic zoning of geological medium for disposition of ecological infrastructure objects	77
Lebedev V.I. Prospects of development of mineral resources base of the republic of Tyva	89
Galiulin R.V., Bashkin V.N., Galiulina R.A. Problem of safe use of methanol in the gas industry: examination and innovations	101
Rumiancev D.E. Dendrochronological expert examination in forestry	111

ECONOMY AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

Andreyev Yu.N., Lukasheva N.A. Analysis of the impact of economic societies on the technological development of sectors of the economy	115
Spichak V.V. Three-dimensional geophysical imaging of the subsurface – the basis of rational environmental management and natural resources use	129
Shlotgauer S.D. Impact of forestry development on the ecosystems of the northern Sikhote Alin	138

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Гудкова А.А., Ольшевский Д.В. Оценка инновационного развития субъектов Российской Федерации	8
Федорков В.Ф., Турко Т.И., Фахурдинов О.В., Тимохин А.А. Анализ учета малых инновационных предприятий, созданных в сфере образования и науки	24
Рулев А.С., Юферев В.Г., Пугачева А.М. Инновационная технология лесомелиоративного обустройства деградированных ландшафтов на основе ГИС-технологий и космоснимков	33
Лазарева Е.О., Липовицкая И.Н., Андреева Е.С. Инновационные подходы к прогнозированию уровня загрязнения атмосферного воздуха крупных городов	46
Башкин В.Н., Галиулин Р.В., Арабский А.К. Инновационная технология рекультивации нарушенных тундровых почв на территории ООО «Газпром Добыча Ямбург»	51

ЭКСПЕРТИЗА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Миронов Н.А., Дивуева Н.А. Методические вопросы практического использования Федерального реестра экспертов научно-технической сферы для научно-технологического и социально-экономического прогнозирования	59
Кобрунов А.И. Математические модели экспертной оценки достоверности прогноза подсчетных параметров и запасов месторождений углеводородов	66
Колесников И.Ю., Морозов В.Н., Татаринцев В.Н., Татарникова Т.А. Напряженно-деформированное энергетическое районирование геологической среды для размещения экологических инфраструктурных объектов	77
Лебедев В.И. Перспективы освоения минерально-сырьевой базы Республики Тыва ...	89
Галиулин Р.В., Башкин В.Н., Галиуллина Р.А. Проблема безопасного применения метанола в газовой промышленности: экспертиза и инновации	101
Румянцев Д.Е. Дендрохронологические экспертизы в лесном хозяйстве	111

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Андреев Ю.Н., Лукашева Н.А. Анализ воздействия Хозяйственных обществ на технологическое развитие отраслей экономики	115
Спичак В.В. Трехмерная геофизическая томография земных недр — основа рационального природопользования	129
Шлотгауэр С.Д. Воздействие лесопромышленного освоения на экосистемы северного Сихотэ-Алиня	138

ENGINEERING AND TECHNOLOGY

Tishin A.M. The estimation of maximum power density and a comparative analysis of mass-dimensional characteristics of electric machines	148
Skritsky V.A. Causes of methane explosions in highly productive coal mines of Kuzbass	171
Tsypuk A.M., Rodionov A.V. Machines and technologies for restoration of forests in conditions of intensive forest management	181
Buravchuk N.I. Fuel composites of finely-granular carbon-containing technogenic raw material	192
Kryuchin N.P. Mechanization of sowing of phytomeliorant plants	205
Babkin V.A. Extractive substances of larch wood: chemical composition, biological activity and prospects for practical use	210
Motorina I.G., Rasulov M.M., Gukasov V.M., Myakinkova L.L. The effectiveness of phototherapy techniques in the treatment of long-term healing wounds	225

NATIONAL SECURITY

Izyumov D.B., Kondratyuk E.L. Prospects of development of space means of radio- and radio-engineering intelligence of the leading foreign countries	235
--	-----

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Тишин А.М. Оценка предельной плотности мощности и сравнительный анализ массогабаритных характеристик электромашин	148
Скрицкий В.А. Причины взрывов метана в высокопроизводительных угольных шахтах Кузбасса	171
Цыпук А.М., Родионов А.В. Машины и технологии для восстановления леса в условиях интенсивного лесопользования	181
Буравчук Н.И. Топливные композиты из мелкозернистого углеродсодержащего техногенного сырья	192
Крючин Н.П. Механизация посева растений фитомелиорантов	205
Бабкин В.А. Экстрактивные вещества древесины лиственницы: химический состав, биологическая активность, перспективы практического использования	210
Моторина И.Г., Расулов М.М., Гукасов В.М., Мякинкова Л.Л. Эффективность фототерапии при лечении длительно незаживающих ран	225

НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Изюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л. Перспективы развития космических средств радио- и радиотехнической разведки ведущих зарубежных стран	235
---	-----

ИННОВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.А. Гудкова, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. экон. наук, gudkova@extech.ru
Д.В. Ольшевский, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, olsh@extech.ru

В статье рассмотрены применяемые в зарубежной и отечественной практике подходы к оценке инновационного развития регионов. Рассмотрен алгоритм типологизации субъектов Российской Федерации в зависимости от уровня их экономического и инновационного развития. Выделены типы регионов с однородными качественными характеристиками. Определены позиции субъектов Российской Федерации в общем инновационном пространстве страны и динамика их изменений за период 2012–2015 гг.

Ключевые слова: субъект Российской Федерации, типы регионов, оценка инновационного развития.

ASSESSMENT OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF SUBJECTS OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.A. Gudkova, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Economics, gudkova@extech.ru
D.V. Olshevsky, Senior Researcher, SRI FRCEC, olsh@extech.ru

The article discusses approaches to assessing the innovative development of regions applied in foreign and domestic practice. The algorithm of typology of subjects of the Russian Federation depending on the level of their economic and innovative development is considered. The types of regions with homogeneous qualitative characteristics are singled out. The positions of the subjects of the Russian Federation in the overall innovation space of the country and the dynamics of their changes for the period 2012–2015 are determined.

Keywords: subject of the Russian Federation, types of Regions, assessment of innovative development.

Повышение инновационной активности субъектов Российской Федерации является одной из важнейших задач государственной политики в научно-технической и инновационной сфере. На реализацию этой задачи направлено проведение мониторинга инновационного развития территорий. Данный инструмент государственной региональной инновационной политики позволяет оценить имеющийся потенциал, определить перспективы регионов, проанализировать динамику достигнутых результатов, выполнить сравнительный анализ инновационности субъектов РФ с целью распространения положительного опыта. Внимание к проведению оценки инновационного развития субъектов РФ обусловлено тем, что только инновационный путь развития позволяет повысить конкурентоспособность не только отдельных регионов, но и экономики страны в целом.

Для оценки региональной инновационной политики зачастую используется метод рейтингования регионов, основанный на расчете локальных показателей, характеризующих различные аспекты инновационного развития территорий, с последующим их ранжирова-

нием согласно интегральному показателю инновационного развития, который можно считать разными способами.

Еще один метод составления региональных рейтингов, используемый на практике, основан на суммировании полученных локальных показателей по каждому региону. Недостатком такого подхода является то, что в нем не учитываются важные для регионов аспекты инновационного развития. Однако, если локальные показатели суммировать с учетом веса каждого из аспектов (который определяется, исходя из его влияния на конечный результат инновационной деятельности), то этот недостаток можно преодолеть.

Мониторинг инновационного развития регионов, построенный на системе индикаторов (показателей) с последующим составлением на ее основе рейтингов, широко используется в зарубежной, а в последние годы и в отечественной практике.

В международной практике наиболее известными системами оценки инновационного развития на уровне регионов являются Regional Innovation Scoreboard (RIS) (используется в Европейском союзе с 2002 г.) и Portfolio Innovation Index (PII, Сводный индекс инновационного развития) (применяется в США).

В Regional Innovation Scoreboard оценка инновационного развития регионов включает три блока показателей — факторы инновационного развития (innovation enablers), деятельность фирм (firm activities) и результаты инновационной деятельности (innovation output). Как отмечается в работе [1], из-за несовершенства статистики на региональном уровне в RIS не применяется абсолютное ранжирование отдельных регионов, а выделяются и ранжируются группы регионов со сходным уровнем инновационного развития. Поэтому общим итогом оценки по данной методике является выделение пяти типов инновационных территорий: сильные инноваторы (high innovators), средне-сильные инноваторы (medium-high innovators), средние инноваторы (average innovators), средне-слабые инноваторы (medium-low innovators) и слабые инноваторы (low innovators).

Применяемый в США сводный Portfolio Innovation Index включает четыре блока, каждому из которых присвоены различные весовые коэффициенты: человеческий капитал (30 %), экономическая динамика (30 %), производительность и занятость (30 %) и благосостояние (10 %). На основании значения инновационного индикатора в регионе (в процентах от среднего уровня инновационного развития по США в целом) выделяют пять групп территорий. К первой группе относятся территории со значением этого показателя выше 110 %, ко второй — с интервалом от 100 % до 110 %, к третьей — с интервалом от 90 % до 100 %, к четвертой — менее 80 %. Пятую группу составляют регионы, данными по которым отсутствуют.

Европейская и американская системы оценки регионального инновационного развития учитывают ресурсы инновационной деятельности и ее результаты. А само построение индексов инновационного развития регионов базируется на наличии статистических данных в региональном разрезе.

В обеих системах (RIS и PII) используется процедура сглаживания значений отобранных показателей и их последующая нормализация. В рамках RIS ежегодные данные по показателям адаптируются с использованием метода трансформации квадратного корня степени N , если коэффициент асимметрии исходных данных превышает 0,5, таким образом, чтобы после проведения трансформации данных он был ниже 0,5. Затем адаптированные данные нормируются с помощью метода линейного масштабирования, а максимальные и минимальные значения выбираются из данных по показателям текущего и предыдущего исследований [1].

В рамках PII сглаживание значений производится на основе сопоставления данных с критическим уровнем, равным двум стандартным отклонениям (2σ). Если в отдельных регионах имеются данные, выходящие за рамки критического уровня, то значения показателей для них устанавливаются на уровне 2σ . В случае значительного отклонения (больше 4σ) от среднего по США уровня, вычисление критического уровня происходит по выборке, очищенной от данных отклонений. Затем проводится нормирование адаптированных данных на основе их отнесения к среднему по США значению соответствующего показателя [2].

Методы построения индикаторов инновационного развития регионов в ЕС и США использованы в отечественной практике в качестве отправной точки для построения соответствующих рейтингов инновационного развития субъектов РФ.

В частности, система количественных и качественных показателей инновационного развития субъектов РФ разработана в Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), на основании которой Институт статистических исследований и экономики знаний (НИУ ВШЭ) с 2012 г. ежегодно составляет рейтинг инновационного развития субъектов РФ.

Система показателей Российского регионального инновационного индекса (РРИИ) НИУ ВШЭ охватывает четыре тематических блока (субиндексов) — «Социально-экономические условия инновационной деятельности», «Научно-технический потенциал», «Инновационная деятельность» и «Качество инновационной политики», по каждому из которых рассчитываются индикаторы [3].

Методология расчета построена так, что итоговый индекс формируется как среднее арифметическое нормализованных значений всех включенных в рейтинг показателей. Общее количество используемых показателей — 37 (показатели официальной статистики и из открытых информационных источников). По итогам расчетов регионы структурируются в зависимости от величины интегрального показателя по четырем группам.

Согласно [3] по итогам ранжирования за 2013–2014 гг. в первую группу внесены субъекты РФ с рангом от 0,5413 до 0,5625, во вторую — от 0,3627 до 0,4930, в третью — от 0,2586 до 0,3511, в четвертую группу — от 0,1592 до 0,2372. Подобная градация позволила авторам не только представить динамику изменений в рейтинге, но и выделить конкретные регионы, имеющие резервы для развития инновационной деятельности.

Рейтинги инновационных регионов страны также составляет Ассоциация инновационных регионов России (АИРР) с периодичностью два раза в год, начиная с 2012 г. Экспертно-аналитическим комитетом АИРР в структуру рейтинга включены четыре блока: «Научные исследования и разработки» (данные по 9 показателям), «Инновационная деятельность» (9 показателей), «Социально-экономические условия» (5 показателей), «Инновационная активность региона» (6 показателей) [4].

При оценке степени симметричности по каждому показателю АИРР применяет процедуру сглаживания данных по методике, используемой RIS. Затем сглаженные данные нормируются методом линейного масштабирования. Итоговый индикатор инновационного развития региона рассчитывается усреднением полученных значений всех показателей методом простого среднего. На основании расчетов субъекты РФ распределяются по следующим пяти группам: сильные инноваторы, средне-сильные инноваторы, средние инноваторы, средне-слабые инноваторы и слабые инноваторы.

К числу организаций, составляющих рейтинги инновационной активности регионов, следует отнести и Национальную ассоциацию инноваций и развития информационных технологий (НАИРИТ). В основе методологии НАИРИТ также заложен подход к составлению рейтингов, используемый Европейской комиссией — European Innovation Scoreboard (EIS). Следуя данной методике, для анализа инновационной активности регионов используется система количественных инновационных индикаторов. За основу данной системы взяты критерии, разработанные в рамках EIS для оценки уровня инновационного развития стран Европы и адаптированные с учетом национальной специфики и возможностей по поиску различных статистических данных.

Критерии, рассматриваемые в рамках рейтинга инновационной активности регионов НАИРИТ, разделены на три группы, соответствующие основным институциональным сегментам инновационного развития:

- среда для развития инноваций;
- производство и использование инноваций;
- правовая среда.

Алгоритм подсчета рейтинга основан на том, что для каждого критерия по всем исследуемым регионам выбирается максимальное и минимальное значения. Затем показатели регионов нормируются в соответствии с найденными значениями по стандартной формуле (метод линейного масштабирования). В результате регионы с максимальным и минимальным показателем по данному критерию получают значения 1 и 0 соответственно. Итоговый показатель инновационной активности региона рассчитывается как среднее значение показаний всех индикаторов, причем, все они имеют равную значимость.

Составляемый НАИРИТ рейтинг инновационной активности регионов предусматривает формирование четырех сравнительных рейтингов: обобщенного рейтинга инновационной активности по сумме критериев, а также трех рейтингов по каждой из группы критериев, что позволяет определить наиболее успешные и проблемные субъекты РФ.

В представленном в 2015 г. НАИРИТ рейтинге инновационной активности регионов за 2014 г. [5] субъекты РФ были систематизированы по пяти группам: очень высокая инновационная активность (2 субъекта), высокая инновационная активность (21), средняя инновационная активность (20), умеренная инновационная активность (23) и низкая инновационная активность (19). Выявление факторов, обеспечивающих рост инновационной активности, показало, что основным фактором являлось развитие импортозамещения, а в числе других — повышение уровня образования, профессионализма и развитие институтов инновационной сферы [6].

Следует отметить, что для Министерства образования и науки Российской Федерации, участвующего в реализации ряда направлений государственной инновационной политики регионов страны, для оценки эффективности деятельности подведомственных организаций, наряду с рейтингованием может быть задействован метод типологизации субъектов РФ по уровню их инновационного развития.

В [7] излагался методический подход к типологизации субъектов РФ на основе значений комплексного индикатора, рассчитанных с помощью экспресс-анализа инновационного развития регионов страны (разработан в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ).

Ниже представлен алгоритм осуществления типологизации субъектов РФ с учетом доработанной и усовершенствованной методики:

1 этап — На основе данных официальной государственной статистики производится предварительный расчет одиннадцати показателей (табл. 1), используемых для последующего экспресс-анализа инновационного развития субъектов РФ.

2 этап — Подготовка исходных данных путем оценки степени симметричности распределения данных по каждому показателю. При значении коэффициента асимметрии выше $\pm 0,5$ осуществляется сглаживание данных за счет подбора корня степени N .

3 этап — Расчет стандартного индекса (СИ), который представляет собой нормированные значения показателей по каждому субъекту и рассчитывается по формуле:

$$СИ_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

где x_i , $x_{\min}$, $x_{\max}$ — соответственно текущее значение для определенного региона России, минимальное и максимальное значения определенного показателя по группе субъектов РФ.

4. Расчет базовых индикаторов (ИБ) по каждому тематическому направлению (экономические условия инновационного развития, конкурентоспособность региона, научно-технический потенциал, инновационная деятельность) для каждого субъекта РФ осуществляется как среднее арифметическое стандартных индексов:

$$И_{Bi} = \frac{\sum_{j=1}^n l_{ji}}{n} \quad (2)$$

где n — число показателей в тематическом направлении.

Таблица 1

**Система показателей для экспресс-анализа инновационного развития
субъектов Российской Федерации**

Тематические направления	Наименование показателей	Назначение показателей
Экономические условия инновационного развития	Валовой региональный продукт в расчете на одного занятого в экономике региона (руб.)	Экономический результат производственной деятельности
	Удельный вес затрат на технологические инновации в инвестициях в основной капитал (%)	Инновационная емкость инвестиций в сфере производства и услуг региона
	Численность студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования на 10 000 человек населения региона (чел.)	Образовательный потенциал
Конкурентоспособность региона	Удельный вес инновационных товаров в общем объеме отгруженных товаров (%)	Вклад инновационной деятельности организаций сфер производства и услуг в развитие экономики региона
	Удельный вес затрат на технологические инновации в общем объеме отгруженной продукции (%)	Интенсивность затрат на технологические инновации
Научно-технический потенциал	Внутренние затраты на ИР в расчете на одного исследователя (руб.)	Уровень финансирования науки
	Удельный вес персонала, занятого ИР, в общей численности занятых в экономике региона (%)	Уровень занятости в сфере научно-технической деятельности
	Число поступивших патентных заявок на изобретения и полезные модели на 10 000 человек экономически активного населения региона (ед.)	Результативность научно-технической сферы
Инновационная деятельность	Удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации, %	Степень участия организации в осуществлении инновационной деятельности в целом или отдельных ее видов
	Объем отгруженной инновационной продукции на один рубль затрат на технологические инновации, руб.	Уровень экономической эффективности инновационной деятельности
	Число разработанных передовых технологий в расчете на 10 000 человек экономически активного населения региона, ед.	Результативность инновационной и научно-технической деятельности

5. По значению каждого базового индикатора субъекты РФ условно разделяются на три группы:

- с высоким значением индикатора, к данной группе относятся субъекты, значения ИБ которых превышают величину 1,3 ИБср, где ИБср — среднее значение базового индикатора по исследуемой группе регионов;
- с низким значением индикатора, к данной группе относятся субъекты, значения ИБ которых меньше величины 0,7 ИБср;
- со средним значением индикатора, к данной группе относятся субъекты, значения ИБ которых меньше 1,3 ИБср и выше 0,7 ИБср.

6. В соответствии с условиями ранжирования субъекту РФ по каждому базовому индикатору присваиваются 25 баллов за высокий уровень, 10 — за средний и 0 баллов за низкий.

7. По итогу суммирования баллов осуществляется типологизация субъектов РФ в разрезе четырех типов регионов:

1 тип — Субъекты РФ с высоким уровнем инновационного развития. К этому типу отнесены регионы, в которых полученное значение превышает 85 баллов;

2 тип — Субъекты РФ, обладающие потенциалом инновационного развития. К этому типу отнесены регионы, сумма баллов у которых находится в диапазоне от 50 до 75;

3 тип — Субъекты РФ, обладающие потенциалом инновационного развития, но использующие его недостаточно эффективно. К этому типу отнесены регионы, полученное значение у которых находится в диапазоне от 30 до 45 баллов;

4 тип — Субъекты РФ с низким уровнем инновационного развития. К этому типу отнесены регионы, сумма баллов по которым составила менее 30.

К настоящему времени, на основании опубликованных в открытой печати статистических данных, появилась возможность и произведены расчеты, а также осуществлена типологизация субъектов РФ за период 2012–2015 гг. Полученные результаты могут быть использованы для анализа процесса инновационного развития страны в разрезе субъектов РФ. Ниже представлены результаты анализа типологизации регионов страны за 2015 и 2014 гг. (в 2014 г. Республика Крым и г. Севастополь не указаны в связи с отсутствием необходимых данных для проведения расчетов), а также динамика изменения положения каждого субъекта РФ в типологии регионов страны по уровню инновационного развития за четыре года (2012–2015 гг.).

В соответствии с результатами проведенной типологизации, в 2015 г. (по отношению к 2014 г.) в группе регионов 1 типа (субъекты с высоким уровнем инновационного развития) количество субъектов РФ уменьшилось с 9 до 8 (табл. 2). Вместе с тем Москва, Санкт-Петербург, Красноярский и Пермский края, Нижегородская и Самарская области, а также Республика Татарстан по уровню инновационного развития сохранили свои лидирующие позиции среди регионов страны. В свою очередь, по итогам инновационной деятельности за 2015 г., Сахалинская и Ярославская области перешли в группу 2 типа, а Томская область, наоборот, в первую.

Таблица 2

Субъекты Российской Федерации с высоким уровнем инновационного развития в 2014 и 2015 гг.

2014 год	2015 год
г. Москва, г. Санкт-Петербург, Красноярский край, Нижегородская область, Пермский край, Республика Татарстан, Самарская область, Сахалинская область, Ярославская область	г. Москва, г. Санкт-Петербург, Красноярский край, Нижегородская область, Пермский край, Республика Татарстан, Самарская область, Томская область

В 2015 г., в отличие от 2014 г, субъекты с высоким уровнем инновационного развития были представлены четырьмя федеральными округами: Приволжским, Центральным, Северо-Западным и Сибирским (ПФО, ЦФО, СЗФО и СФО соответственно; рис. 1). Сахалинская область (Дальневосточный федеральный округ, ДФО), как было отмечено выше попала по результатам типологизации в группу 2 типа. Следует отметить, что за рассматриваемые два года ПФО является лидером среди федеральных округов по количеству субъектов 1 типа.

В 2015 г. отмечается увеличение количества регионов страны, обладающих потенциалом инновационного развития (2 тип) с 21 (2014 г.) до 25 (табл. 3). Большая часть субъектов РФ, классифицированных в 2014 г. по этому типу, сохранили свои позиции (15 регионов).

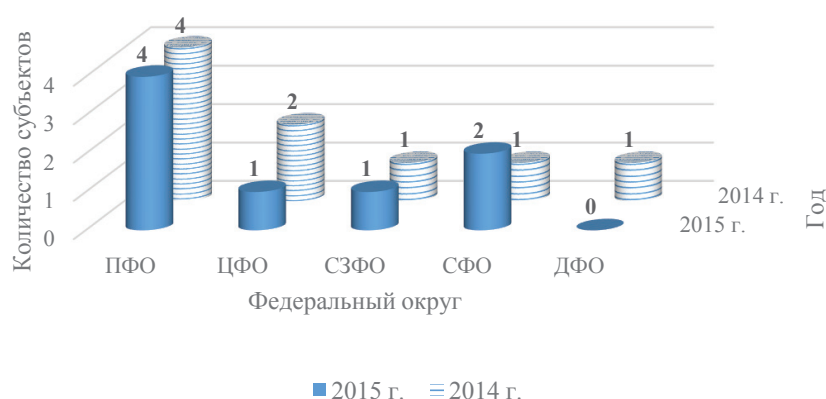


Рис. 1. Распределение по федеральным округам субъектов Российской Федерации с высоким уровнем инновационного развития в 2014 и 2015 гг.

Положительным моментом является переход восьми регионов из группы 3 типа во вторую, что свидетельствует об улучшении состояния в них инновационной деятельности. К данным субъектам относятся Белгородская, Брянская, Владимирская, Вологодская, Саратовская, Тамбовская и Тульская области, а также Республика Башкортостан.

Таблица 3

Субъекты Российской Федерации, обладающих потенциалом для инновационного развития в 2014 и 2015 гг.

2014 год	2015 год
Волгоградская область, Воронежская область, Иркутская область, Калужская область, Курская область, Московская область, Новгородская область, Новосибирская область, Омская область, Пензенская область, Республика Мордовия, Ростовская область, Рязанская область, Свердловская область, Томская область, Тюменская область, Удмуртская Республика, Ульяновская область, Хабаровский край, Челябинская область, Чувашская Республика	Белгородская область, Брянская область, Владимирская область, Вологодская область, Воронежская область, Калужская область, Курская область, Московская область, Новгородская область, Новосибирская область, Омская область, Пензенская область, Республика Башкортостан, Ростовская область, Саратовская область, Сахалинская область, Свердловская область, Тамбовская область, Тульская область, Тюменская область, Ульяновская область, Хабаровский край, Челябинская область, Чувашская Республика, Ярославская область

В 2015 г. отличительной особенностью распределения регионов страны по федеральным округам, включенных в группу 2 типа, является существенное увеличение (с 5 до 10) субъектов ЦФО (рис. 2). Приволжский и Уральский федеральные округа (УФО) сохранили свои позиции и представлены пятью и тремя регионами соответственно. Положительная динамика отмечается в СЗФО и ДФО. Однако, если увеличение количества субъектов в СЗФО обеспечил переход Вологодской области из группы 3 типа, то в ДФО — за счет снижения показателей инновационной деятельности Сахалинской области (переход из группы 1 типа во второй). Количество регионов СФО в 2015 г. сократилось с четырех до двух, причем один субъект округа перешел в группу 1 типа (Томская область), а второй — 3 типа (Иркутская

область). Сократился количественный состав также и Южного федерального округа (ЮФО), который в 2015 г. представлен одним регионом – Ростовской областью.

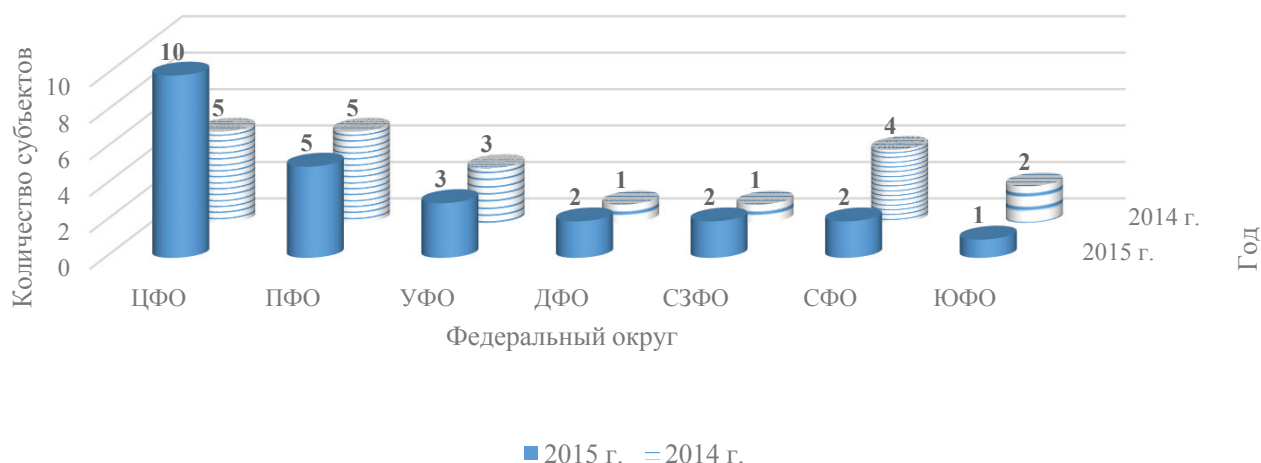


Рис. 2. Распределение по федеральным округам субъектов Российской Федерации, обладающих потенциалом для инновационного развития в 2014 и 2015 гг.

Самой многочисленной остается группа субъектов РФ, отнесенная к 3 типу (обладают потенциалом для инновационного развития, но используют его недостаточно эффективно). Количество регионов страны в данной группе в 2015 г. практически не изменилось по отношению к 2014 г. (33 и 34 соответственно). Почти 64% субъектов РФ, отнесенных в 2014 г. к 3 типу (21 регион), в 2015 г. существенно не изменили свои показатели инновационного развития и сохранили свои позиции в группе (табл. 4). Тем не менее, по результатам проведенного исследования, отмечается улучшение инновационной деятельности в восьми регионах, что позволило им перейти из группы 4 типа в третий. К данным субъектам РФ отнесены: Ивановская, Калининградская, Кемеровская, Костромская, Оренбургская, Орловская области, Чукотский и Ямало-Ненецкий автономные округа. Вместе с тем, в 2015 г. в четырех регионах страны наблюдалась противоположная ситуация – снижение инновационной деятельности. В результате Волгоградская, Иркутская, Рязанская области и Удмуртская Республика в итоговой типологии субъектов РФ были перемещены из группы 2 типа в третий.

Группа 3 типа как в 2014 г., так и в 2015 г. характеризуется наличием субъектов РФ из всех федеральных округов, за исключением Крымского федерального округа (КФО, Республика Крым и г. Севастополь вошли в состав ЮФО в 2016 г.). За два года наблюдений количественный состав субъектов в федеральных округах, представленных в рассматриваемой группе, примерно оставался на одном уровне, за исключением Северо-Кавказского федерального округа (СКФО, рис. 3). В СКФО из-за снижения темпов инновационного развития три региона перешли в группу 4 типа (Кабардино-Балкарская Республика, Республики Ингушетия и Дагестан). Вместе с тем, в федеральных округах качественный состав изменялся неоднородно. В ряде округов отмечается существенное перераспределение субъектов между типами. В частности, в ЦФО из восьми регионов, представленных в 2014 г., в 2015 г. только три сохранили свое положение в группе (Липецкая, Смоленская и Тверская области), остальные пять субъектов (Белгородская, Брянская, Владимирская, Тамбовская и Тульская области) улучшили свое положение в итоговой типологии. В то же время три об-

ласти (Ивановская, Костромская и Орловская), по итогам 2015 г., перешли из группы 4 типа в третий, а в Рязанской области наблюдалось ухудшение показателей инновационной деятельности, в результате данный субъект из 2 типа попал в третий. Схожая ситуация по перераспределению регионов отмечается в ПФО и СФО. В остальных федеральных округах (ДФО, ЮФО, УФО, СЗФО) изменение качественного состава имело более равномерный характер. Большинство субъектов, представленных в группе 3 типа в 2014 г., сохранили свое положение и в 2015 г.

Таблица 4

Субъекты Российской Федерации, обладающих потенциалом для инновационного развития, но использующие его недостаточно эффективно в 2014 и 2015 гг.

2014 год	2015 год
Алтайский край, Амурская область, Архангельская область, Астраханская область, Белгородская область, Брянская область, Владимирская область, Вологодская область, Забайкальский край, Кабардино-Балкарская Республика, Камчатский край, Кировская область, Краснодарский край, Ленинградская область, Липецкая область, Магаданская область, Мурманская область, Ненецкий автономный округ, Приморский край, Республика Адыгея, Республика Башкортостан, Республика Бурятия, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Республика Коми, Республика Марий Эл, Республика Саха (Якутия), Саратовская область, Смоленская область, Ставропольский край, Тамбовская область, Тверская область, Тульская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	Алтайский край, Амурская область, Архангельская область, Астраханская область, Волгоградская область, Ивановская область, Иркутская область, Калининградская область, Камчатский край, Кемеровская область, Кировская область, Костромская область, Краснодарский край, Ленинградская область, Липецкая область, Магаданская область, Мурманская область, Оренбургская область, Орловская область, Приморский край, Республика Адыгея, Республика Бурятия, Республика Коми, Республика Марий Эл, Республика Саха (Якутия), Рязанская область, Смоленская область, Ставропольский край, Тверская область, Удмуртская Республика, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Чукотский автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ

В 2015 г. количество субъектов РФ с низким уровнем инновационного развития (4 тип) по сравнению с 2014 г. не изменилось и составило 19 регионов (табл. 5). Однако следует учитывать, что в 2015 г. в проведенные расчеты были включены данные об инновационном развитии Республики Крым и г. Севастополя. По результатам проведенной типологизации за 2015 г., два этих субъекта РФ попали в группу 4 типа. По итогам инновационной деятельности за 2015 г. в одиннадцати регионах не отмечено положительной динамики и данные субъекты Российской Федерации сохранили свое положение в группе: Еврейская автономная область, Карачаево-Черкесская Республика, Курганская и Псковская области, Республики Алтай, Калмыкия, Карелия, Северная Осетия – Алания, Тыва и Хакасия, а также Чеченская Республика.

Характер распределения по федеральным округам регионов страны, включенных по результатам проведенной типологизации в группу с низким уровнем инновационного развития, имеет ряд особенностей. Так, в 2015 г. отмечается существенное ухудшение инновационной деятельности в СКФО, в котором шесть из семи субъектов РФ данного федерального округа находятся в группе 4 типа (рис. 4). В СФО, СЗФО, ПФО и ЮФО количественный состав регионов, по сравнению с 2014 г., остался прежним, но характер изменения качественного состава в них различен. Положительная тенденция, связанная с сокращением количества субъектов РФ, в которых показатели инновационной деятельности находились на низком уровне, отмечается прежде всего в ЦФО, а также в ДФО и УФО.

Ниже представлена динамика изменения положения каждого субъекта РФ (за исключением Республики Крым и г. Севастополя) в итоговой типологии регионов страны по уровню инновационного развития за четыре года (2012–2015 гг.) в разрезе федеральных округов (во всех представленных ниже таблицах, ячейки с зеленым цветом отражают положительную динамику субъекта РФ в итоговой типологии, с красным — отрицательную, без цвета — отсутствие динамики).

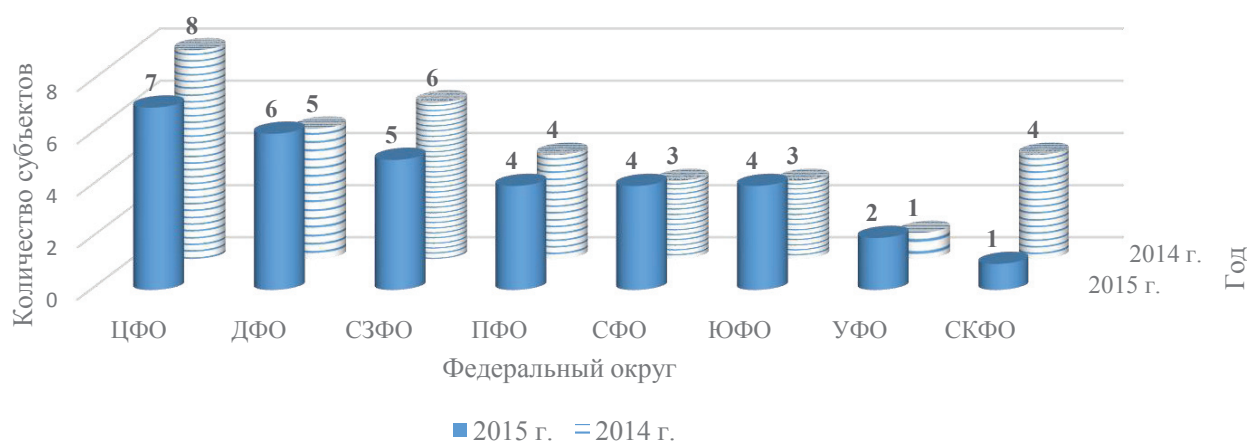


Рис. 3. Распределение по федеральным округам субъектов Российской Федерации, обладающих потенциалом для инновационного развития, но использующие его недостаточно эффективно в 2014 и 2015 гг.

Таблица 5

Субъекты Российской Федерации с низким уровнем инновационного развития в 2014 и 2015 гг.

2014 год	2015 год
Еврейская автономная область, Ивановская область, Калининградская область, Карачаево-Черкесская Республика, Кемеровская область, Костромская область, Курганская область, Оренбургская область, Орловская область, Псковская область, Республика Алтай, Республика Калмыкия, Республика Карелия, Республика Северная Осетия – Алания, Республика Тыва, Республика Хакасия, Чеченская Республика, Чукотский автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ	г. Севастополь, Еврейская автономная область, Забайкальский край, Кабардино-Балкарская Республика, Карачаево-Черкесская Республика, Курганская область, Ненецкий автономный округ, Псковская область, Республика Алтай, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Республика Калмыкия, Республика Карелия, Республика Крым, Республика Мордовия, Республика Северная Осетия – Алания, Республика Тыва, Республика Хакасия, Чеченская Республика

Центральный федеральный округ, в рассматриваемый период, в целом характеризуется положительными итогами происходящих инновационных процессов. Количество субъектов РФ ЦФО, отнесенных к 2 типу увеличилось в два раза — с 5 (2012 г.) до 10 (2015 г.) регионов, в то время как группа регионов 3 типа сократилась с 12 до 7 (табл. 6). В пяти субъектах РФ ЦФО отмечается стабильный характер инновационного развития, то есть за четыре года наблюдений данные регионы страны оставались в определенной группе: г. Москва (1 тип), Калужская и Московская области (2 тип), Смоленская и Тверская области (3 тип). Неблагоприятная ситуация сложилась в Центральном федеральном округе в 2014 г. — шесть субъектов РФ ЦФО по результатам инновационной деятельности перешли в более низкую группу в итоговой типоло-

гии регионов страны. Однако, в 2015 г. таких субъектов РФ ЦФО было всего два, в то время как восемь областей округа улучшили свои инновационные показатели и, в результате, повысили свое положение в итоговых результатах проведенного исследования.

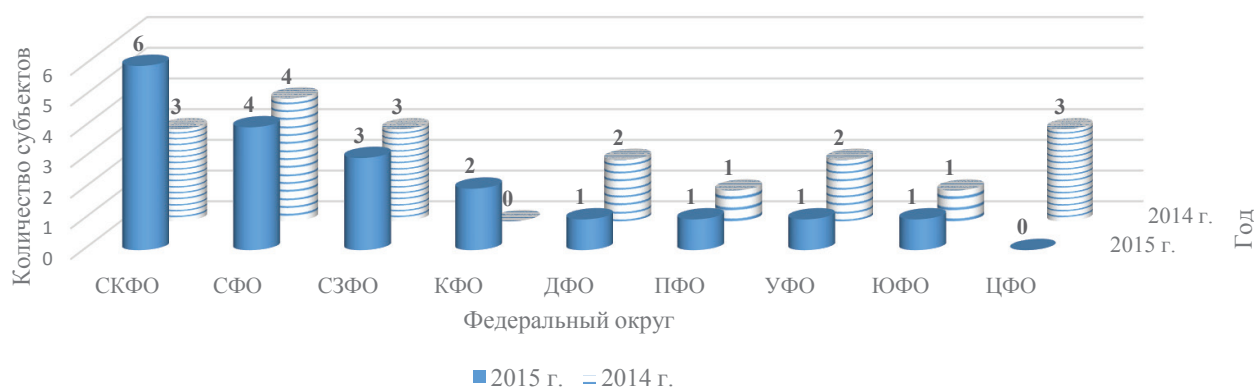


Рис. 4. Распределение по федеральным округам субъектов Российской Федерации с низким уровнем инновационного развития в 2014 и 2015 гг.

В рассматриваемый период, в Северо-Западном федеральном округе, несмотря на происходящие процессы, которые как положительно, так и отрицательно влияли на инновационное развитие регионов, входящих в состав округа, в целом количество субъектов РФ СЗФО, отнесенных к тому или иному типу, практически осталось неизменным (табл. 7). За четыре года наблюдений лидером по инновационной активности в СЗФО остается г. Санкт-Петербург. Кроме того, данный субъект РФ СЗФО характеризуется устойчивым положением в итоговой типологии (1 тип). Следует отметить, что в трех регионах Северо-Западного федерального округа с 2012 по 2015 гг. также отмечаются стабильные показатели инновационной деятельности; однако в них, в отличие от г. Санкт-Петербурга, уровень инновационного развития значительно ниже. К этим субъектам РФ СЗФО относятся: Республика Коми (3 тип), Вологодская (3 тип) и Псковская (4 тип) области.

По результатам проведенных исследований, в Южном федеральном округе за четыре года наблюдений отсутствует динамика изменения уровня инновационного развития. Все субъекты РФ ЮФО не изменяли своего положения в итоговой типологии (табл. 8). Исключением можно назвать Волгоградскую область, однако несмотря на улучшение инновационного климата в 2014 г. (попадание в группу 2 типа), по показателям 2015 г. данный регион страны отнесен в группу 3 типа, в которой находился в 2012–2013 гг.

Приволжский федеральный округ по уровню инновационного развития является одним из лидеров в Российской Федерации. В рассматриваемый период три субъекта РФ ПФО сохраняли свое положение в группе 1 типа: Республика Татарстан, Нижегородская и Самарская области (табл. 9). Кроме того, в 2012–2015 гг. стабильные показатели инновационной деятельности отмечены в четырех регионах: Чувашская Республика и Пензенская область (2 тип), а также Республика Марий Эл и Кировская область (3 тип).

В целом, в рассматриваемый период, Северо-Кавказский федеральный округ характеризуется низким уровнем инновационного развития (табл. 10). В 2014 г. улучшение ряда показателей инновационной деятельности в Республиках Дагестан и Ингушетия обеспечило данным субъектам РФ СКФО переход в группу 3 типа. Однако, как было отмечено выше, из-за снижения темпов инновационного развития эти два региона, а также Кабардино-Балкарская Республика, перешли в группу 4 типа. Лидером по уровню инновационного развития в

Северо-Кавказском федеральном округе является Ставропольский край, тем не менее, этот субъект РФ СКФО находится в итоговой типологии только в группе третьего типа.

Таблица 6

Динамика изменения положения субъектов Российской Федерации Центрального федерального округа в итоговой типологии регионов страны по уровню инновационного развития в 2012–2015 гг.

Субъект Российской Федерации	Тип субъекта Российской Федерации			
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Белгородская область	2	2	3	2
Брянская область	3	3	3	2
Владимирская область	3	3	3	2
Воронежская область	3	3	2	2
Ивановская область	3	3	4	3
Калужская область	2	2	2	2
Костромская область	3	3	4	3
Курская область	3	2	2	2
Липецкая область	3	2	3	3
Московская область	2	2	2	2
Орловская область	3	3	4	3
Рязанская область	3	3	2	3
Смоленская область	3	3	3	3
Тамбовская область	3	3	3	2
Тверская область	3	3	3	3
Тульская область	2	2	3	2
Ярославская область	2	2	1	2
г. Москва	1	1	1	1

Таблица 7

Динамика изменения положения субъектов Российской Федерации Северо-Западного федерального округа в итоговой типологии регионов страны по уровню инновационного развития в 2012–2015 гг.

Субъект Российской Федерации	Тип субъекта Российской Федерации			
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Республика Карелия	3	4	4	4
Республика Коми	3	3	3	3
Архангельская область	2	2	3	3
Ненецкий автономный округ	3	4	3	4
Вологодская область	3	3	3	3
Калининградская область	3	3	4	3
Ленинградская область	3	2	3	3
Мурманская область	4	3	3	3
Новгородская область	2	3	2	2
Псковская область	4	4	4	4
г. Санкт-Петербург	1	1	1	1

С 2012 по 2015 гг. в Уральском федеральном округе наблюдается относительно спокойное протекание процессов инновационной деятельности (табл. 11). Лидирующие позиции в УФО занимают три региона: Челябинская область, находящаяся с 2012 г. в группе 2 типа, а также Свердловская и Тюменская области, которые по результатам проведенного исследования включены в данную группу с 2013 г. Малоэффективная инновационная деятельность отмечается в Курганской области. Данный субъект РФ УФО с 2014 г. относится к регионам с низким уровнем инновационного развития.

Таблица 8

Динамика изменения положения субъектов Российской Федерации Южного федерального округа в итоговой типологии регионов страны по уровню инновационного развития в 2012–2015 гг.

Субъект Российской Федерации	Тип субъекта Российской Федерации			
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Республика Адыгея	3	3	3	3
Республика Калмыкия	4	4	4	4
Краснодарский край	3	3	3	3
Астраханская область	3	3	3	3
Волгоградская область	3	3	2	3
Ростовская область	2	2	2	2

В Сибирском федеральном округе инновационные процессы, которые повлияли как положительно, так и отрицательно на перераспределение положения в итоговой типологии, наблюдались в 2014 и 2015 гг., причем только в пяти субъектах РФ СФО (табл. 12). В большей же части регионов в округе (в семи из двенадцати) показатели инновационной деятельности изменялись незначительно, в результате чего данная группа субъектов РФ СФО за четыре года наблюдений не меняла свой тип инновационного развития.

Таблица 9

Динамика изменения положения субъектов Российской Федерации Приволжского федерального округа в итоговой типологии регионов страны по уровню инновационного развития в 2012–2015 гг.

Субъект Российской Федерации	Тип субъекта Российской Федерации			
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Республика Башкортостан	3	3	3	2
Республика Марий Эл	3	3	3	3
Республика Мордовия	2	2	2	4
Республика Татарстан	1	1	1	1
Удмуртская Республика	2	3	2	3
Чувашская Республика	2	2	2	2
Пермский край	3	2	1	1
Кировская область	3	3	3	3
Нижегородская область	1	1	1	1
Оренбургская область	3	3	4	3
Пензенская область	2	2	2	2
Самарская область	1	1	1	1
Саратовская область	3	3	3	2
Ульяновская область	2	1	2	2

В рассматриваемый период, лидирующие позиции в Дальневосточном федеральном округе по уровню инновационного развития занимают Сахалинская область и Хабаровский край (табл. 13). В целом же в ДФО инновационная деятельность не носила активный характер. По результатам исследования, пять из девяти субъектов РФ ДФО с 2012 по 2015 гг. сохраняли свое положение в итоговой типологии.

Происходящие процессы обусловлены неравномерностью развития различных аспектов инновационных процессов в субъектах Российской Федерации.

Таблица 10

Динамика изменения положения субъектов Российской Федерации Северо-Кавказского федерального округа в итоговой типологии регионов страны по уровню инновационного развития в 2012–2015 гг.

Субъект Российской Федерации	Тип субъекта Российской Федерации			
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Республика Дагестан	4	4	3	4
Республика Ингушетия	4	4	3	4
Кабардино-Балкарская Республика	3	3	3	4
Карачаево-Черкесская Республика	4	4	4	4
Республика Северная Осетия-Алания	4	4	4	4
Чеченская Республика	4	4	4	4
Ставропольский край	3	3	3	3

С точки зрения принятия управленческих решений выделение субъектов Российской Федерации-лидеров свидетельствует о необходимости изучения опыта этих регионов для создания механизма его распространения. Наличие информации о регионах, обладающих на данный момент наибольшим инновационным потенциалом, а также регионов с недостаточно эффективно используемым потенциалом является основой для анализа региональных факторов, препятствующих инновационному развитию в этих субъектах Российской Федерации, а также выявления проблемных зон, на которые следует обратить внимание.

Таблица 11

Динамика изменения положения субъектов Российской Федерации Уральского федерального округа в итоговой типологии регионов страны по уровню инновационного развития в 2012–2015 гг.

Субъект Российской Федерации	Тип субъекта Российской Федерации			
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Курганская область	3	3	4	4
Свердловская область	3	2	2	2
Тюменская область	3	2	2	2
Ханты-Мансийский автономный округ-Югра	3	3	3	3
Ямало-Ненецкий автономный округ	3	4	4	3
Челябинская область	2	2	2	2

Наличие субъектов Российской Федерации с низким уровнем инновационного развития свидетельствует о необходимости поиска путей ускорения инновационного развития в этих регионах.

Предложенная типология основана на группировке регионов, обладающих однородными качественными характеристиками, и может быть использована при составлении рекомендаций по совершенствованию деятельности органов исполнительной власти по активизации инновационной деятельности в субъектах Российской Федерации. При этом следует подчеркнуть, что применение предлагаемой типологии субъектов Российской Федерации позволяет охарактеризовать уровень инновационного развития регионов России не только за определенный (наблюдаемый) год, но и оценить динамический аспект данного процесса.

Таблица 12

Динамика изменения положения субъектов Российской Федерации Сибирского федерального округа в итоговой типологии регионов страны по уровню инновационного развития в 2012–2015 гг.

Субъект Российской Федерации	Тип субъекта Российской Федерации			
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Республика Алтай	4	4	4	4
Республика Бурятия	3	3	3	3
Республика Тыва	4	4	4	4
Республика Хакасия	4	4	4	4
Алтайский край	3	3	3	3
Забайкальский край	3	3	3	4
Красноярский край	2	2	1	1
Иркутская область	3	3	2	3
Кемеровская область	3	3	4	3
Новосибирская область	2	2	2	2
Омская область	2	2	2	2
Томская область	2	2	2	1

Таблица 13

Динамика изменения положения субъектов Российской Федерации Дальневосточного федерального округа в итоговой типологии регионов страны по уровню инновационного развития в 2012–2015 гг.

Субъект Российской Федерации	Тип субъекта Российской Федерации			
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Республика Саха (Якутия)	3	3	3	3
Камчатский край	3	3	3	3
Приморский край	3	3	3	3
Хабаровский край	3	2	2	2
Амурская область	3	3	3	3
Магаданская область	2	2	3	3
Сахалинская область	2	2	1	2
Еврейская автономная область	4	4	4	4
Чукотский автономный округ	4	4	4	3

В заключении также отметим, что предлагаемая типология субъектов Российской Федерации по уровню инновационного развития может стать действенным инструментом оценки и контроля деятельности региональных и федеральных органов исполнительной власти.

Статья подготовлена по материалам научно-исследовательской работы, выполняемой ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ в рамках государственного задания (№ 26.4430.2017/НМ) в сфере научной деятельности Минобрнауки России.

Список литературы

1. Hollanders H., Tarantola S., Loschky A. Regional Innovation Scoreboard (RIS). 2009. Pro Inno Europe. 2009. Available at: <http://www.proinno-europe.eu/page/regional-innovation-scoreboard> (дата обращения 27.02.2017).
2. Crossing the next regional frontier: Information and Analytics Linking Regional Competitiveness to Investment in a Knowledge-Based Economy. U.S. Economic Development Administration, 2009. Available at: <http://www.statsamerica.org/innovation> (дата обращения 06.03.2017).
3. Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации. Выпуск 4 / под ред. Л.М. Гохберга. Москва: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». 2016.
4. Рейтинг инновационных регионов России: версия 2016. Available at: http://www.i-regions.org/images/files/presentations/AIRR_26.12.pdf (дата обращения 13.03.2017).
5. Рейтинг инновационной активности регионов за 2014 год. Available at: <http://www.nair-it.ru/news/31.07.2015/461> (дата обращения 13.03.2017).
6. Интернет портал «Новости. Sputnik». Available at: <http://news.sputnik.ru/obschestvo/f8f6035f9ec57dac4f5c073ae582da6ba60b1c42> (дата обращения 13.03.2017).
7. Гудкова А.А., Ольшевский Д.В. Методологические подходы к оценке инновационного развития субъектов Российской Федерации / Инноватика и экспертиза. Научные труды. Выпуск 2 (17). Москва. 2016.

References

1. Hollanders H., Tarantola S., Loschky A. Regional Innovation Scoreboard (RIS). 2009. Pro Inno Europe. 2009. Available at: <http://www.proinno-europe.eu/page/regional-innovation-scoreboard> (accessed 27.02.2017).
2. Crossing the next regional frontier: Information and Analytics Linking Regional Competitiveness to Investment in a Knowledge-Based Economy. U.S. Economic Development Administration, 2009. Available at: <http://www.statsamerica.org/innovation> (accessed 06.03.2017).
3. The rating of innovative development of subjects of the Russian Federation. Issue 4 / Ed. by L.M. Gokhberg. Moscow: national research University «Higher school of Economics». 2016.
4. The rating of innovative regions of Russia: version 2016. Available at: http://www.i-regions.org/images/files/presentations/AIRR_26.12.pdf (accessed 13.03.2017).
5. The rating of innovative activity of regions for 2014. Available at: <http://www.nair-it.ru/news/31.07.2015/461> (accessed 13.03.2017).
6. Internet portal «News. Sputnik». Available at: <http://news.sputnik.ru/obschestvo/f8f6035f9ec57dac4f5c073ae582da6ba60b1c42> (accessed 13.03.2017).
7. Gudkova A.A., Olszewski D.V. Methodological approaches to assessment of innovative development of subjects of the Russian Federation / Innovatika and expert examination. The scientific works. Issue 2 (17). Moscow. 2016.

АНАЛИЗ УЧЕТА МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, СОЗДАННЫХ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

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

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

О.В. Фахурдинов, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, olegator@extech.ru

А.А. Тимохин, науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, timohinaa@extech.ru

В статье изложены результаты работ, связанные со статистикой учета уведомлений, формированием реестра учета уведомлений о создании малых инновационных предприятий, сопровождением интерактивной информационной системы ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы».

Ключевые слова: малое инновационное предприятие (МИП), хозяйственное общество, хозяйственное партнерство, результаты интеллектуальной деятельности (РИД), учет уведомлений о создании МИП, реестр учета уведомлений о создании МИП, интерактивная информационная система.

THE ANALYSIS FOR ACCOUNTING OF SMALL INNOVATIVE ENTERPRISES, CREATED IN THE SPHERE OF EDUCATION AND SCIENCE

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

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

O.V. Fahurdinov, Senior Researcher, SRI FRCEC, olegator@extech.ru

A.A. Timohin, Researcher, SRI FRCEC, timohinaa@extech.ru

The article presents the results associated with the statistics of address notifications, the formation of the register of notifications about the creation of small innovative enterprises (SIE), accompanied by interactive information system of SRI FRCEC «Accounting and monitoring of SIE of scientific-educational sphere».

Keywords: small innovative enterprise (SIE), a business entity, a business partnership, results of intellectual activity of (RIA), based on notifications about the creation of SIE, the register of notifications about the creation of SIE, the interactive information system.

В настоящее время в Минобрнауки России, в соответствии с законодательством [1, 2], ведется учет уведомлений о создании малых инновационных предприятий (далее — МИП: хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств) в научно-образовательной сфере для практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности (РИД), формируется Реестр учета уведомлений о создании МИП (список плательщиков), дающий право включенным в него МИП на применение пониженных тарифов страховых платежей (далее — Реестр) [3, 4], а также проводится ежегодный мониторинг деятельности МИП по специально разработанным анкетам.

Эти задачи Минобрнауки России возложены на ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ [5, 6], где для их выполнения создана и эффективно функционирует интерактивная информационная система «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы», размещенная на сайте mir.extech.ru.

Главной задачей сопровождения и развития интерактивной информационной системы было дальнейшее улучшение удобства пользования для администраторов системы и для ее

пользователей. Была улучшена производительность и общая защищенность системы путем перехода на более позднюю версию скриптового языка php. Для улучшения стабильности и для отслеживания возможных ошибок была улучшена система логов.

Система была переведена на версию скриптового языка общего назначения php 5.6.0, которая улучшает производительность и защищенность системы, содержит много исправлений ошибок предыдущей версии. Для удобства программирования в новой версии улучшена работа некоторых старых функций, а также добавлены новые. В связи с этими изменениями некоторые функции и логика работы системы были переписаны, чтобы соответствовать актуальной версии.

Основные нововведения версии скриптового языка php 5.6.0:

- скалярные выражения в константах;
- функции с переменным числом аргументов при помощи соответствующего оператора;
- оператор возведения в степень **;
- импорт функций и констант при помощи ключевого слова use;
- в ядро включен интерактивный отладчик phpdbg;
- разрешено повторное использование `php://input`, а `$http_raw_post_data` объявлена устаревшей;
- `gmp`-объекты теперь поддерживают перегрузку операторов;
- поддержка загрузки файлов больше 2 Гб.

Рассылка — один из самых удобных и быстрых способов связи с большим количеством ответственных от Учредителей за деятельностью МИП. В 2016 г. была проведена дальнейшая работа над этим функционалом.

Для более точного выбора адресатов и для удобства администратора системы были добавлены новые варианты рассылки:

бюджетные и автономные учредители МИП, которые не заполняли мониторинг деятельности МИП в 2016 г.;

- с неуказанной датой окончания лицензионного договора;
- с истекшим лицензионным договором.

Это позволяет администратору тратить меньше времени на связь с ответственными представителями от Учредителей за деятельностью МИП, у которых данные нуждаются в срочном обновлении.

Пункты «С истекшим лицензионным договором» и «С неуказанной датой окончания лицензионного договора» позволяют оперативно связаться с ответственными представителями от Учредителей за деятельностью МИП, которым срочно нужно обновить данные о лицензионном договоре.

Пункт «Бюджетные и автономные учредители МИП, которые не заполняли мониторинг 2016», был добавлен специально для мониторинга деятельности МИП 2016 г. по причине того, что не все ответственные представители Учредителей следят за сообщениями в системе и не заполняют анкеты мониторинга. Для лучшей посещаемости сайта в период проведения мониторинга были проведены несколько рассылок.

Для улучшения защиты данных была полностью переработана регистрация новых ответственных представителей от Учредителей за создание и деятельность МИП, не позволяющая больше «видеть» никакие данные ОГРН и e-mail других зарегистрированных ответственных представителей. Все запросы в новой регистрации реализованы посредством подхода к построению интерактивных пользовательских интерфейсов веб-приложений — `ajax`, что позволяет обрабатывать данные быстрее, передавая их на сервер для дальнейшей обработки, улучшая защиту и общее быстродействие системы. При просмотре кода страницы регистрации не присутствуют никакие лишние элементы и ее размер уменьшился с 1500 до 550 строк.

По поручению Минобрнауки России, в соответствии с приказом Федеральной налоговой службы от 16 марта 2016 г. № ММВ-7-6/145, был добавлен новый тип выдачи Реестра в

формате языка разметки представления данных — xml. В нем присутствуют только сведения: названия МИП и его ИНН, в отличие от старого вида Реестра, где указывался учредитель, адрес исполнительного органа, номер регистрации МИП в качестве страхователя в территориальных органах Пенсионного фонда Российской Федерации, номер регистрации МИП в Фонде социального страхования Российской Федерации, ОГРН МИП, дата добавления в Реестр и дата исключения из него. Новый Реестр формируется мгновенно и не требует для открытия никаких посторонних программ, кроме браузера, он занимает меньше места и его удобнее использовать.

Для удобства администратора системы и ускорения обработки сведений о МИП, была добавлена функция привязки МИП, позволяющая быстро перенести их с одного ответственного представителя Учредителя на другого. Ранее для данного действия требовалась связь со службой технической поддержки. Теперь же у администратора есть возможность редактировать закрепление МИП за ответственным представителем Учредителя напрямую.

В 2016 г. в очередной раз Минобрнауки России проводился мониторинг деятельности МИП, в ходе которого ответственные представители от Учредителя заполняли две анкеты:

- первая анкета «Оценка учреждениями образования и науки механизма практического применения результатов интеллектуальной деятельности (РИД) через создание МИП»;
- вторая анкета «Сведения о деятельности МИП».

Данные из этих анкет предоставлялись в формате xls.

Для лучшего отслеживания ошибок и более быстрого их исправления, а также для возможности восстановления случайно удаленной или измененной информации были добавлены дополнительные записи логов. Теперь дополнительно фиксируются действия пользователей, в которых потенциально могут быть ошибки. Данное изменение сильно повышает стабильность системы, позволяя не бояться потери информации при неправильной перезаписи.

Отдельно для Реестра система логов дополнительно была расширена, в настоящее время при каждом составлении Реестра фиксируется его состояние в базе данных, что позволяет получить данные Реестра за любой день, в который он составлялся.

Из нововведений по отчетному периоду можно отметить запрет повторной регистрации ответственных представителей от одного Учредителя с целью оптимизации работы с системой.

В связи с переходом на новую версию Общероссийского классификатора видов экономической деятельности (далее — ОКВЭД) была произведена конвертация старых значений в новые, путем использования таблицы соответствия значений ОКВЭД. В большинстве случаев соответствие значений было однозначное, если же старому значению соответствовало несколько новых, то были указаны они все. В дальнейшем ответственные представители от Учредителя сверяли указанные значения с официальными. В настоящее время система полностью работает с новыми кодами ОКВЭД.

В 2016 г. были поданы заявки в Роспатент от 03 августа 2016 г. № 2016618529 и № 2016621084 на государственную регистрацию программы для ЭВМ «Информационная система учета и мониторинга малых инновационных предприятий» и базы данных «База данных малых инновационных предприятий» соответственно. Получены Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 11 ноября 2016 г. № 2016662506 и Свидетельство о государственной регистрации базы данных от 18 ноября 2016 г. № 2016621539.

На сегодняшний день в базе данных учета уведомлений о создании МИП зарегистрировано лишь одно малое инновационное предприятие, имеющее организационно-правовую форму «хозяйственное партнерство» (ХП). Эта организационно-правовая форма пока не оценена в полной мере Учредителями, хотя в инновационной цепочке дает, в отдельных случаях, определенные преимущества.

Сложившаяся практика показывает, что создаваемые МИП, в целом соответствуют требованиям, предъявляемым инновационным бизнесом, но не свободны от недостатков, затрудняющих их использование в инновационных бизнес-проектах. Именно эти ограничения затрудняют возможность стадийного финансирования инновационного бизнеса, возможность гибкой защиты интересов инвесторов и правообладателей на различных стадиях коммерциализации продуктов. Организационно-правовая форма малых инновационных предприятий «хозяйственное партнерство» является наиболее гибкой и удобной для проведения процессов коммерциализации РИД, поскольку предусматривает:

- гибкое регулирование долей уставного капитала на различных стадиях развития инновационного бизнеса (на начальном этапе доля фондов может быть велика, а по мере развития может уменьшаться);
- независимость системы принятия управленческих решений хозяйствующего субъекта от долей в уставном капитале (принятие решения непосредственно не связано с долей участия);
- ограничение ответственности всех участников по сделкам, совершаемым ХП.

Фактически ХП дает возможность устанавливать удобные для конкретного инновационного бизнес-проекта правила, в том числе, допускает возможность заключения соглашения об управлении партнерством не только всеми участниками партнерства, но также работниками, в первую очередь – авторами коммерциализируемых РИД.

Указанные нововведения в интерактивной информационной системе «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы» позволили выполнять более качественно следующие работы:

- ежеквартально размещать утвержденные Минобрнауки России Реестры учета уведомлений о создании МИП;
- размещать информацию о порядке проведения мониторинга деятельности МИП, включая Методические указания по заполнению анкеты и письмо Минобрнауки России от 14.07.2016 № ЛО-937/14;
- в режиме реального времени постоянно актуализировать базу данных МИП, учтенных в системе;
- доводить требование о необходимости обязательного уведомления в случае ликвидации МИП;
- проводить постоянную техническую и информационную поддержку работы пользователей системы с использованием разных каналов связи: телефон, e-mail, интерактивная анкета на сайте.

По состоянию на 1 ноября 2016 г. в базу данных включено 2892 уведомлений о создании МИП, из них: в 305 высших учебных заведениях создано 2661 МИП, в 130 НИИ создано 251 МИП, совместно научными учреждениями и высшими учебными заведениями созданы 20 МИП.

В уставные капиталы МИП учредителями внесено право использования более 3337 РИД.

На диаграммах (рис. 1–4) показана статистика создания МИП в различных разрезах по состоянию на 01.11.2016 г.

На диаграмме (рис. 5) показана динамика создания малых инновационных предприятий по годам, с учетом публикации [7].

Модернизированная интерактивная информационная система «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы» также позволила более качественно ежеквартально формировать Реестр, который направлялся Минобрнауки России в Пенсионный фонд Российской Федерации и в Фонд социального страхования Российской Федерации, в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 04 марта 2011 г. № 146 [4].

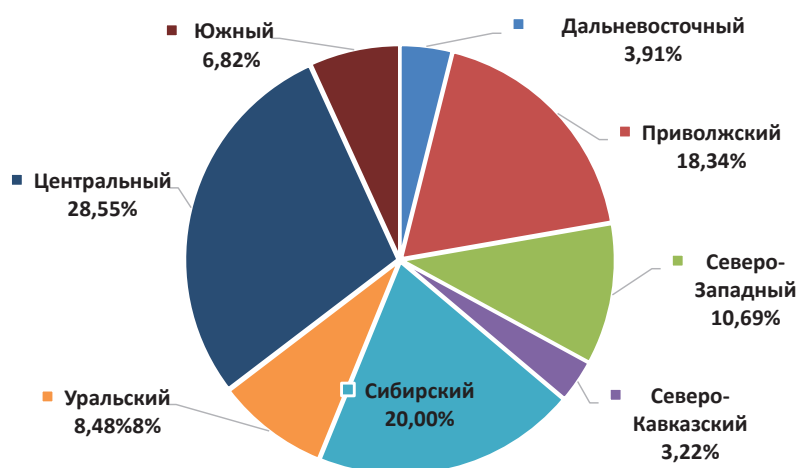


Рис. 1. Распределение малых инновационных предприятий по федеральным округам

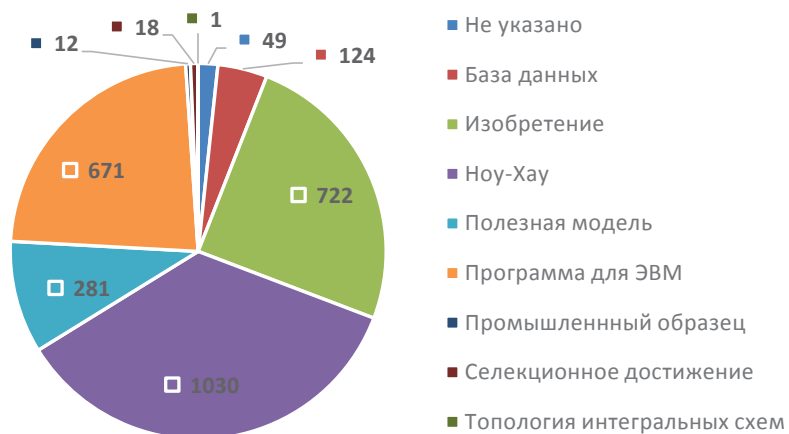


Рис. 2. Количество малых инновационных предприятий по типам РИД



Рис. 3. Количество малых инновационных предприятий по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники

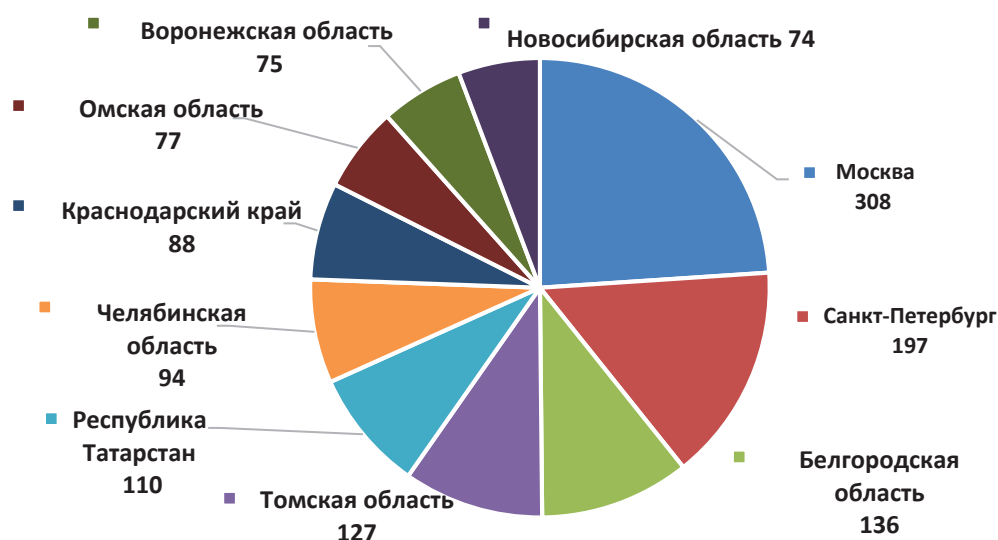


Рис. 4. Десять субъектов РФ, в которых создано наибольшее количество малых инновационных предприятий

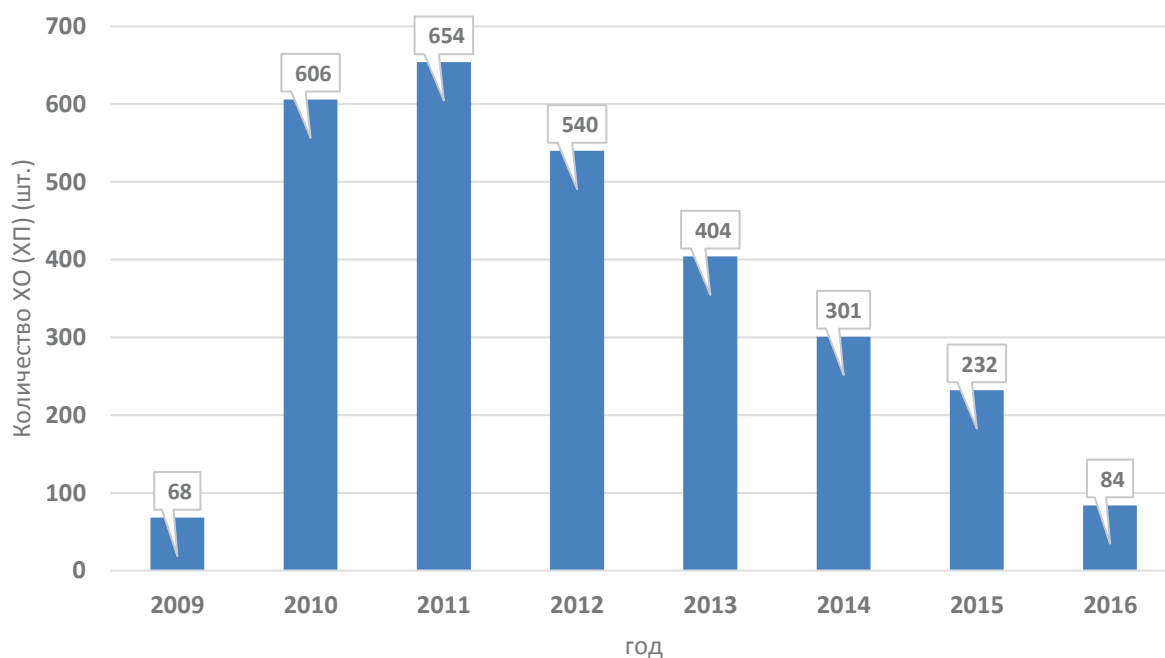


Рис. 5. Динамика создания малых инновационных предприятий по годам (на 1.11.2016 г.)

За I квартал 2016 г. Реестр содержал сведения о 2450 МИП, за II квартал – 2537 МИП, за III квартал – 2582 МИП и за IV квартал – 2614 МИП.

Для МИП, включенных в Реестр, применялись пониженные тарифы страховых платежей (14% вместо 34%), в соответствии с Федеральным законом от 24 июля 2009 г. № 212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования РФ, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования» [3].

С 1 января 2017 г. нормативная законодательная база по применению МИП, созданными бюджетными и автономными образовательными и научными учреждениями, пониженных тарифов страховых платежей претерпела значительные изменения.

Федеральный закон от 03 июля 2016 г. № 250-ФЗ (ст. 18) с 1 января 2017 г. признал утратившим силу в полном объеме Федеральный закон от 24 июля 2009 г. № 212-ФЗ.

С 1 квартала 2017 г. Реестр, в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 04 февраля 2017 г. № 136 направляется Минобрнауки России в налоговые органы (Федеральную налоговую службу, Реестр за 1 квартал 2017 г. содержал сведения о 2645 МИП).

Статьей 427 (подпункт 1) Налогового кодекса Российской Федерации (ч. 2, раздел VIII, глава 34) установлены пониженные тарифы страховых платежей для МИП, созданных в научно-образовательной сфере, в том числе на обязательное пенсионное страхование в 2017 г. — 8,0%, в 2018 г. — 13,0%, 2019 г. — 20,0%.

Кроме того, Федеральным законом от 29 декабря 2015 г. № 408-ФЗ (ст. 6), начиная с 2016 г., вводится единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства, куда включается и перечень МИП, деятельность которых заключается в практическом применении (внедрении) РИД, который вносится Минобрнауки России ежегодно в срок до 5 июля по состоянию на 1 июля текущего календарного года в определенном ФНС формате xml.

В соответствии с поручением Минобрнауки России, ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по состоянию на 1 июля 2016 г. был сформирован перечень МИП, созданных образовательными и научными учреждениями, деятельность которых заключается в практическом применении (внедрении) РИД, в формате xml. Перечень содержал сведения о 2429 МИП.

Файл xml передачи сведений в электронной форме в июне 2016 г. был представлен на тестирование в составе ведомственной информационной системы ФНС, доработан по замечаниям, и прошел повторное тестирование без замечаний.

Информационной системой «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы» в режиме онлайн формируется отчет о текущем состоянии статистики учета уведомлений в согласованном Минобрнауки России формате. Материалы отчета использовались в 2016 г. сотрудниками и руководством Минобрнауки России. В течение 2016 г. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ регулярно представлялись в Минобрнауки России также оперативные материалы по запросам Департаментов. Оперативные запросы были связаны, в основном, с предоставлением информации в региональном разрезе о количестве созданных МИП, составе персонала, заработной плате, арендуемым у Учредителя площадям, объеме произведенной инновационной продукции, объеме дивидендов, выплаченных бюджетному учредителю, и по ряду других вопросов.

За последние годы российские регионы, а также вузы (постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 219), заметно продвинулись в строительстве своих инновационных систем и создали инфраструктуру поддержки инновационного деятельности, где на первый взгляд есть все или почти все необходимые элементы. А успешных МИП все равно продолжает оставаться недостаточно. Почему? Существенных основных причин две: не хватает денег, не развита или плохо используется инфраструктура их поддержки.

В этой связи суммарный объем средств от льгот, недоплаченных в страховые фонды (выпадающие доходы фондов), оказывает существенное положительное влияние применения пониженных тарифов на стимулирование создания и эффективность деятельности МИП научно-образовательной сферы.

Статистика учета уведомлений показывает, что число создаваемых по годам МИП уменьшается (рис. 5). Это свидетельствует о том, что генерация новых МИП в научно-образовательной сфере достигла насыщения. Прирост количества МИП не более 10–15% в год, может быть достигнут при наличии новых преференций, определенных законодательно.

Нужны новые инструменты и новые стимулы инновационной деятельности вузов и научных организаций.

Механизмы стимулирования создания и поддержки деятельности МИП в научно-образовательной сфере для практического применения (внедрения) РИД, требуют дальнейшего совершенствования.

Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской работы по государственному заданию Минобрнауки России на 2017 год (шифр 26.4430.2017/НМ).

Список литературы

1. Федеральный закон от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» [Электронный ресурс]. Available at: <http://www.consultant.ru/online>.
2. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Available at: <http://www.consultant.ru/online>.
3. Федеральный закон от 24 июля 2009 г. № 212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования» [Электронный ресурс]. Available at: <http://www.consultant.ru/online>.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 4 марта 2011 г. № 146 «О ведении реестра учета уведомлений о создании хозяйственных обществ, созданных бюджетными научными и образовательными учреждениями высшего профессионального образования, и порядке его передачи в органы контроля за уплатой страховых взносов» [Электронный ресурс]. Available at: <http://www.consultant.ru/online>.
5. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 4 января 2014 г. № 43 «Об организации в Министерстве образования и науки Российской Федерации работы по учету уведомлений о создании хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств» [Электронный ресурс]. Available at: <http://минобрнауки.пф/>.
6. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 14 февраля 2014 г. № 117 «Об утверждении формы реестра учета уведомлений о создании хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств, созданных бюджетными научными и автономными научными учреждениями либо образовательными организациями высшего образования, являющимися бюджетными или автономными учреждениями», [Электронный ресурс]. Available at: <http://www.consultant.ru/online>.
7. Турко Т.И., Федорков В.Ф. и др. «Информационно-аналитическое обеспечение учета малых инновационных предприятий, созданных в сфере образования и науки». Инноватика и экспертиза. Научные труды. Вып. 2 (17). Стр. 51–57. Москва. 2016.

References

1. Federal law of 23 August 1996 No. 127-FZ «On science and state scientific and technical policy» [Electronic resource]. Available at: <http://www.consultant.ru/online>.
2. Federal law of 29 December 2012 No. 273-FZ «On education in Russian Federation» [Electronic resource]. Available at: <http://www.consultant.ru/online>.
3. Federal law of 24 July 2009 No. 212-FZ «On insurance contributions to the Pension Fund of the Russian Federation, Fund of social insurance of the Russian Federation, the Federal compulsory medical insurance Fund» [Electronic resource]. Available at: <http://www.consultant.ru/online>.
4. The decree of the Government of the Russian Federation from March 4, 2011 No. 146 «On keeping the register of account notification of creation of economic societies created by budgetary scientific and educational institutions of higher professional education, and the manner of its transfer to the bodies of control over payment of insurance contributions» [Electronic resource]. Available at: <http://www.consultant.ru/online>.
5. Order of the Ministry of education and science of the Russian Federation on January 4, 2014 No. 43 «On organization in the Ministry of education and science of the Russian Federation registration of notices on creation of economic societies and economic partnerships» [Electronic resource]. Available at: <http://минобрнауки.пф/>.

6. Order of the Ministry of education and science of the Russian Federation dated 14 February 2014 No. 117 «About approval of the form of register of notification on establishment of business companies and business partnerships created by budgetary scientific and Autonomous scientific institutions or educational institutions of higher education, as a budgetary or Autonomous institutions» [Electronic resource]. Available at: <http://www.consultant.ru/online>.

7. Turko T.I., Fedorkov V.F. and others (2016) «Information and analytical support for accounting of small innovative enterprises created in the sphere of education and science». Innovatics and Expert Examination. Vol. 2(17), pp. 51–57. Moscow.

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОГО ОБУСТРОЙСТВА ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И КОСМОСНИМКОВ

А.С. Рулев, зам. дир. ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН», академик РАН, д-р с.-х. наук, rulev54@rambler.ru
В.Г. Юферева, гл. науч. сотр. ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН», vyufereva1@rambler.ru
А.М. Пугачева, уч. секр. ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН», канд. с.-х. наук, nir-1@mail.ru

Представленная в работе инновационная разработка включает все направления адаптивно-ландшафтного обустройства территории: соотношение земельных угодий и севооборотов, противоэрозионную организацию территории, лесомелиоративное обустройство, агротехнические и лесохозяйственные уходы, гидротехнические приемы. На основе разработанной, наложением различных информационных слоев, агроландшафтной карты Волгоградской области, проводится выделение категорий земель с различными почвенно-экологическими условиями. При этом используются гипсометрические карты, карты экспозиции склонов и углов наклонов, карты сохранности ЗЛН и лесопригодности почв с определением плановых объемов полезащитных, стокорегулирующих, прибалочных, приовражных лесополос, учитывая при этом весь комплекс агротехнологических приемов. Для повышения мелиоративной эффективности существующих ЗЛН разрабатывается система лесоводственных уходов. Применение гис-технологий в адаптивном лесомелиоративном обустройстве земель сельскохозяйственного назначения позволяет автоматизировать отдельные технологические операции при составлении картографических материалов. Это повышает достоверность прогноза динамики экологической обстановки в агроландшафтах, эффективность планируемых мероприятий по регулированию и управлению хозяйственным использованием земель.

Ключевые слова: деградированные ландшафты, лесомелиоративное обустройство, защитные лесные насаждения (ЗЛН), гис-технологии, космоснимки, картографические материалы.

THE INNOVATIVE TECHNOLOGY OF FOREST AMELIORATIVE ARRANGEMENT OF DEGRADED LANDSCAPES ON THE BASIS OF GIS-TECHNOLOGIES AND SPACE IMAGING

A.S. Rulev, Deputy Director, Federal State Budget Scientific Institution «Federal scientific center for agro-ecology, integrated land reclamation and protective afforestation», RAS, Academician of RAS, Ph.D. of Agricultural Sciences, rulev54@rambler.ru
V.G. Yufereva, Chief Researcher, Federal State Budget Scientific Institution «Federal scientific center for agro-ecology, integrated land reclamation and protective afforestation», RAS, vyufereva1@rambler.ru
A.M. Pugacheva, Scientific Secretary, Federal State Budget Scientific Institution «Federal scientific center for agro-ecology, integrated land reclamation and protective afforestation», RAS, Doctor of Agricultural Sciences, nir-1@mail.ru

The paper considers the innovative research works in all the directions of adaptive landscape arrangement of the territory: correlation of lands and crop rotations, arrangement of the territory for effective erosion control, forest ameliorative arrangement of the territory, agrotechnical and

forestry management, hydrotechnical measures. The lands categories with different soil ecological conditions are identified on the basis of the agrolandscape map of the Volgograd region that had been developed by the superposition of different information layers. The land areas for growing of field windbreaks, flow-regulative, ravine and gully shelterbelts are organized with the consideration of the whole complex of agrotechnical measures, with the use of hypsographical maps, maps of slopes exposition and inclination, maps of safety of protective forestations (ZLN) and those of lands suitability for forest growing. The system of forest management is developed to increase the ameliorative efficiency of the existing ZLN. The use of the technologies of geographic information systems (GIS) for adaptive forest ameliorative arrangement of agricultural lands allows the automatization of definite technological operations when development of cartography materials. It results in increase of the reliability of the prognosis of the environmental dynamics in agrolandscapes and higher effectiveness of the measures for the regulation and management of lands.

Keywords: degraded landscapes, forest ameliorative arrangement, protective forestations, GIS-technologies, space images, cartography materials.

Под ландшафтным планированием понимается, прежде всего, совокупность методических инструментов, используемых для построения такой пространственной организации деятельности общества в конкретных ландшафтах, которое обеспечивало бы рациональное природопользование и сохранение основных функций этих ландшафтов [2, 10]. Однако планирование мероприятий по оптимизации земель агроландшафтов предполагает учет особенностей их пространственной структуры, которыми определяются латеральные связи между их морфологическими частями. Пространственную структуру агроландшафтов целесообразно рассматривать с точки зрения ландшафтно-географического подхода, в основе которого лежат два положения: во-первых, ландшафт и его структурно-геоморфологические составляющие в географическом пространстве имеют общие и четкие границы, поэтому в первую очередь необходимо учитывать геоморфологические особенности ландшафта и, во-вторых, природоохранное и мелиоративное обустройство территории должно учитывать катенарную дифференциацию ландшафтов, наиболее ярким выражением которой является ярусность рельефа [9, 11, 12, 17].

Для реализации вышеуказанных положений разработана инновационная технология лесомелиоративного обустройства сельскохозяйственных деградированных ландшафтов в лесостепной, степной и полупустынных зонах ЕЧ РФ на основе гис-технологий и аэрокосмического картографирования в рамках катенарно-бассейнового подхода. Объектами исследований являлись сельскохозяйственные земли в лесостепной, степной и полупустынных зонах ЕЧ РФ. Практическая реализация технологии осуществлена при картографировании и планировании агролесомелиоративных мероприятий в пригородных агроландшафтах г. Волгограда, на землях Клетского, Урюпинского, Нехаевского, Кумылженского районов Волгоградской области, Тимашевского района Краснодарского края и Харабалинского района Астраханской области [1, 13, 15, 16].

Новизна исследований заключается в том, что впервые в отечественной практике предложена технология геоинформационного ландшафтного картографирования и планирования лесомелиоративного обустройства ландшафтов, основанная на синтезе принципов катенарно-бассейнового подхода, методов пластики рельефа, морфодинамического анализа и картографо-аэрокосмического мониторинга. Новизна технологии подтверждена патентами: «Способ определения состояния защитных лесных насаждений» (патент РФ на изобретение № 2330242); «Способ определения состояния почв в агроландшафтах» (патент РФ на изобретение № 2265839); «Способ определения состояния пастбищ» (патент РФ на изобретение № 2327107) [6, 7].

Методика работ предполагает использование катенарно-бассейнового подхода и базируется на разработанных в ФНЦ агроэкологии РАН пятиэтапной методике ландшафтно-экологического картографирования в агролесомелиорации (1991), методике многопараметриче-

ского компьютерного анализа аэрокосмоснимков (2003), методике ландшафтно-экологического профилирования (2007), методике дистанционного эколого-экономического мониторинга аридных пастбищ (2009) и новой методике по адаптивно-агроландшафтному обустройству земель сельскохозяйственного назначения лесостепной, степной и полупустынной зон европейской части Российской Федерации [3, 4, 8, 14].

При разработке технологии применялись следующие программные комплексы:

- для дешифрирования космоснимков – цифровая фотограмметрическая станция (ЦФС) Талка 3.3 и программный комплекс ENVI 3.4;
- для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) и ландшафтных профилей – Global Mapper 12.0, OZExplorer, Талка 3.3;
- для геоинформационного картографирования – MapInfo 9.5;
- для полевых работ – GPS-приемники.

Технология ландшафтного планирования адаптивного лесомелиоративного обустройства земель на основе катенарно-бассейнового подхода предполагает последовательность выполнения нескольких этапов (рис. 1).



Рис. 1. Структурная модель картографо-геоинформационного обеспечения ландшафтного планирования в координатной агролесомелиорации

На первом этапе – инвентаризационном – проводится сбор всей имеющейся информации об объекте обустройства: картографические материалы, аэро- и космоснимки, литературные и статистические данные, материалы прошлой инвентаризации (планы лесонасаждений, планшеты), планы внутрихозяйственного землеустройства и т.д.

Осуществляется предварительное дешифрирование аэро- и космоснимков визуальными и автоматизированными методами. В первую очередь устанавливаются границы района проведения исследований, и проводится контурное дешифрирование природных и хозяйственных объектов (ЗЛН, естественной растительности, транспортной инфраструктуры и т.д.). На основе ГИС-информации по данным радарного обследования поверхности создается база высотных отметок для цифровой модели рельефа (ЦМР). Полевые исследования проводятся по заранее разработанной программе с четко установленными целями и задачами, при этом осуществляется ландшафтно-экологическое профилирование на ключевых участках.

Заложение системы меридиональных и широтных профилей на местности позволяет на втором этапе построить модельную сетку с уточненными отметками высот, соответствующим узлам сетки для создания ЦМР. На рис. 2 представлена комбинированная карта тестового полигона «Безымянка», Михайловского района Волгоградской области с нанесенной модельной сеткой. Такая модель используется для моделирования и прогнозирования деградационных процессов на водосборах и при ландшафтном планировании агролесомелиоративных мероприятий.

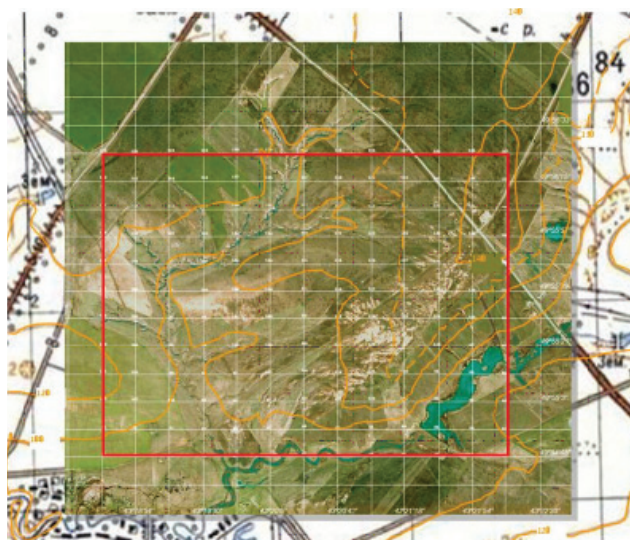


Рис. 2. Комбинированная карта тестового полигона «Безымянка», Михайловского района Волгоградской области

По ЦМР составляются ландшафтная и производные оценочные карты. ЦМР строится по данным базы высотных отметок и регулярной ячеисто-узловой модели отметок высот, нанесенной на космокарту. Построение трехмерной цифровой модели рельефа по координатам и отметкам высот производится в специализированном графическом редакторе, позволяющем преобразовать цифровые значения в трехмерное изображение (рис. 3).

Составление ландшафтной карты начинается с выявления принципиальных структур рельефа по созданной ранее ЦМР и космоснимкам, которые являются основой моделирования ландшафта в среде ГИС.

По морфодинамическому анализу на основе пластики рельефа, создается карта типов местоположений территории. Метод пластики рельефа заключается в установлении по ЦМР границ между выпуклыми и вогнутыми формами рельефа. На заключительном этапе составления карты пластики рельефа проводится геокодирование и корректировка границ конту-

ров с использованием основных ландшафтных профилей на ключевых участках. Для общей оценки рельефа выделенного для анализа тестового полигона и визуализации цифровой модели создается трехмерная модель пластики рельефа (рис. 4). Такая модель дает представление о топологии полигона, разделяя его на взаимосвязанные элементы и обеспечивая необходимую наглядность.

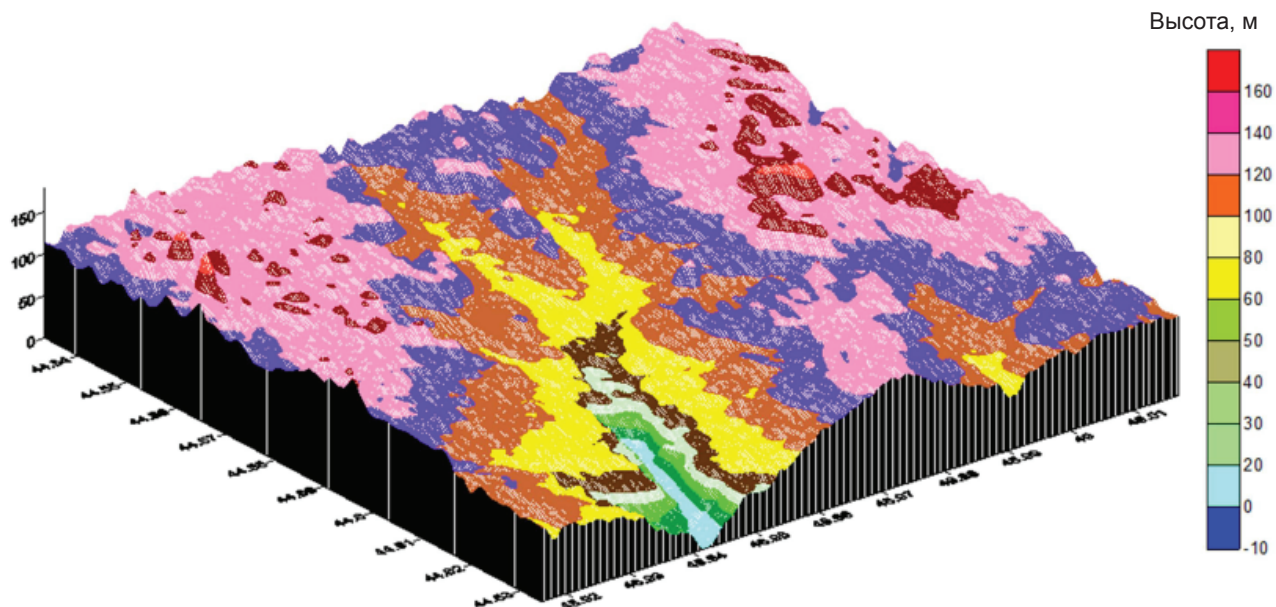


Рис. 3. Цифровая модель рельефа карта тестового полигона «Безымянка», Михайловского района Волгоградской области

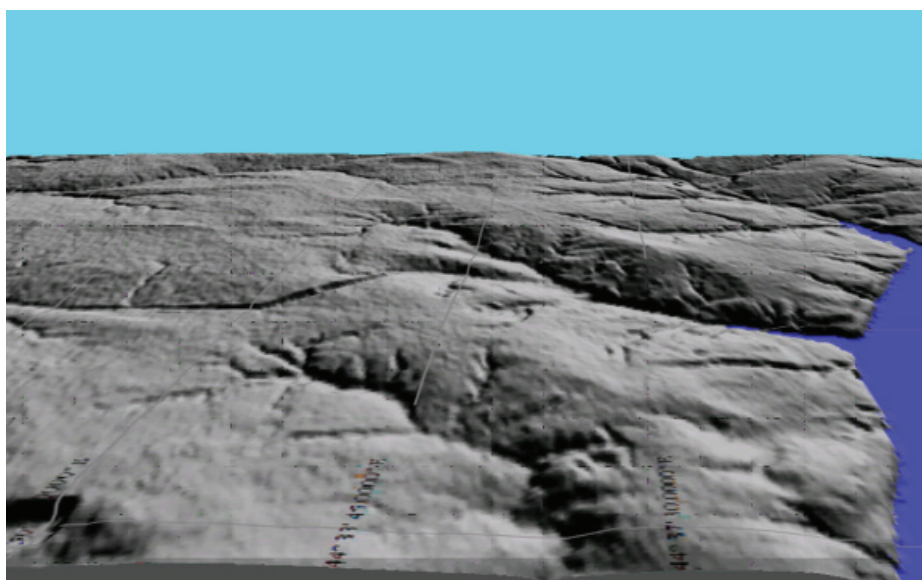


Рис. 4. Трехмерная карта пластики рельефа тестового полигона «Безымянка», Михайловского района Волгоградской области

Наложение ландшафтной карты на ЦМР позволяет получить цифровую модель ландшафта (ЦМЛ) и другие тематические карты: долевого участия склонов различной экспозиции, крутизны склонов, углов наклона и направлений линий тока талых и дождевых вод, лесопригодности почв, эрозионной расчлененности сельхозугодий и т.д. (рис. 5).

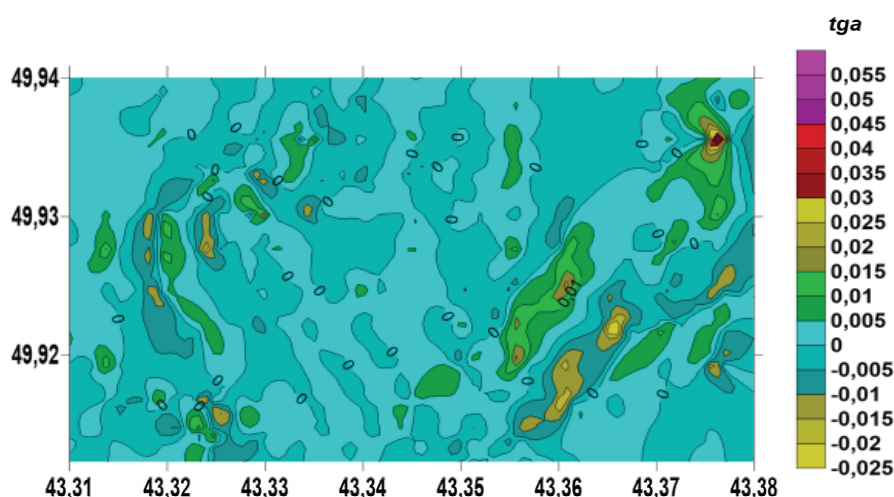


Рис. 5. Карта уклонов склонов тестового полигона «Безымянка», Михайловского района Волгоградской области

После создания карты пластики рельефа производится операция морфодинамического анализа, т.е. фиксация, классификация и определение закономерностей взаиморасположения элементарных поверхностей.

Важным для определения сельскохозяйственной пригодности земель и разработки агролесомелиоративных планов защиты полей от эрозии является моделирование крутизны склонов, которое осуществляется для оценки эрозионной опасности рельефа и используется при построении соответствующего картографического слоя синтезированной модели ландшафта.

В результате поконтурного определения сохранности лесонасаждений создаются оценочные карты с использованием геоинформационного программного комплекса MapInfo (рис. 6), которые отражают территориальное распределение и состояние защитных лесных насаждений в агроландшафтах, и позволяют определять первоочередность мероприятий по адаптивно-ландшафтному обустройству сельскохозяйственных земель.

Полученная карта типов элементарных поверхностей рельефа может рассматриваться как основа, которую необходимо дополнить географической информацией. Для этого используются материалы полевых исследований на ключевых участках, которые предусматривают построение ландшафтно-экологических профилей.

В результате комплекса геоинформационных исследований создается ландшафтная ГИС региона, включающая электронные ландшафтные карты с тематической картографической и атрибутивной информацией.

На рис. 7 показан общий вид цифровой агроландшафтной карты Волгоградской области с наложением различных информационных слоев.

Ландшафтный анализ состояния растительности осуществляется по созданным ЦМЛ.

Технология оценки ЗЛН основана на запатентованном способе определения состояния насаждений.

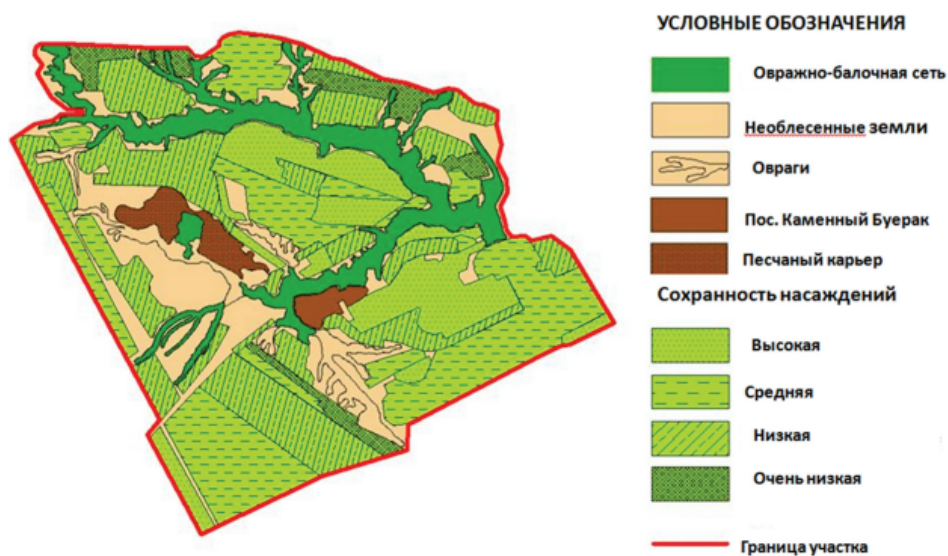


Рис. 6. Оценочная карта-схема лесных насаждений в пригородной зоне г. Волгограда

1 — Овражно-балочная сеть; 2 — необлесенные земли; 3 — овраги; 4 — пос. Каменный Буерак; 5 — Песчаный карьер. Сохранность насаждений: 6 — высокая; 7 — средняя; 8 — низкая; 9 — очень низкая; 10 — граница участка

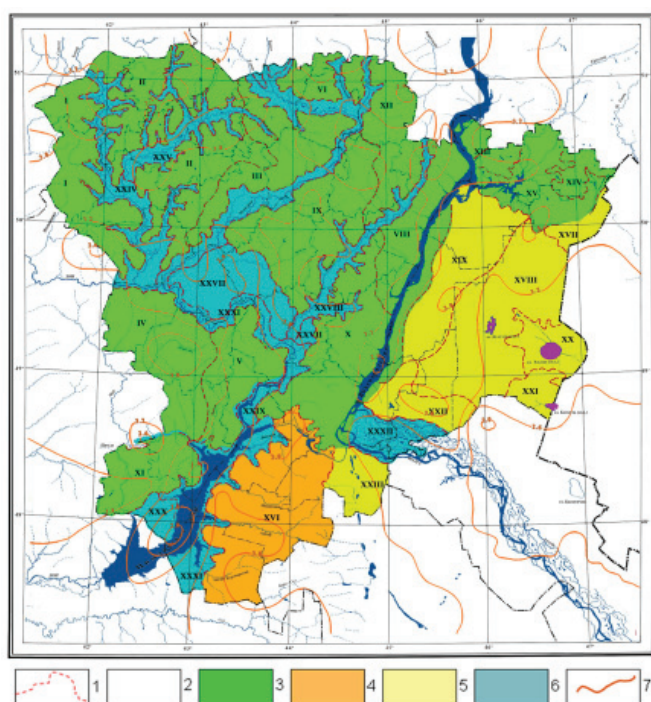


Рис. 7. Ландшафтная карта Волгоградской области

1 — границы ландшафтных районов; 2 — номера ландшафтных районов; 3 — степные ландшафтные районы (I-XV); 4 — пустынно-степной междуречный район (XVI); 5 — пустынно-степные древне-морские районы (XVII-XXIII); 6 — ландшафтные районы речных долин (XXIV-XXXII); 7 — антропогенная нагрузка на ландшафт

Способ включает выполнение аэрокосмической съемки агролесоландшафта в ранний летний период, преобразование полученного изображения в цифровой растровый формат, оконтуривание изображения ЗЛН.

Полученная карта типов элементарных поверхностей рельефа может рассматриваться как основа, которую необходимо дополнить географической информацией. Для этого используются материалы полевых исследований на ключевых участках, которые предусматривают построение ландшафтно-экологических профилей.

В результате комплекса геоинформационных исследований создается ландшафтная ГИС региона, включающая электронные ландшафтные карты с тематической картографической и атрибутивной информацией.

На рис. 7 показан общий вид цифровой агроландшафтной карты Волгоградской области с наложением различных информационных слоев.

Ландшафтный анализ состояния растительности осуществляется по созданным ЦМЛ.

Технология оценки ЗЛН основана на запатентованном способе определения состояния насаждений.

Способ включает выполнение аэрокосмической съемки агролесоландшафта в ранний летний период, преобразование полученного изображения в цифровой растровый формат, оконтуривание изображения ЗЛН.

Далее выделяются контурами ряды деревьев, и оценивается фототон изображения в контурах.

Вычисление площадей выделенных контуров, привязку обработанного изображения к топографической карте и его трансформацию производят по отношению суммарной площади горизонтальной проекции крон деревьев, находящихся в нормальном состоянии, к площади выделенного контура, с учетом формы горизонтальной проекции кроны.

Оконтуривание осуществляется прямоугольными контурами, где ширина прямоугольника равна максимальной суммарной ширине горизонтальной проекции крон деревьев в насаждении, а длина равна длине насаждения с учетом опушечной горизонтальной проекции крон деревьев. В этих контурах выделяются эталонные участки древостоя, соответствующие наилучшему состоянию древостоя и устанавливаются средняя величина фототона ($F_{\text{срм}}$) и стандартное отклонение (σ). Выявляется диапазон фототона (ΔFN), определяющий состояние деревьев, как нормальное, диапазон $\Delta FN = \Delta FN_2 - \Delta FN_1$ (где нижний уровень диапазона фототона $FN_1 = F_{\text{ср}}N - \sigma$, верхний $FN_2 = F_{\text{ср}}N + \sigma$). Вычисляется общее количество пикселей в контуре (n_k) и количество пикселей в контуре, отнесенное к диапазону ΔFN (nN). Состояние защитных лесных насаждений определяется по формуле:

$$D = nN / n_k,$$

при $D = 0,85 - 1,0$ состояние ЗЛН соответствует экологической норме, при $D = 0,65 - 0,85$ – экологическому риску, при $D = 0,5 - 0,65$, – экологическому кризису и при D менее 0,5 – экологическому бедствию.

Для определения состояния ЗЛН используется аэрокосмическая съемка открытых участков поверхности почвы в масштабе 1:5000 - 1:10000 в ранний весенний период до появления травянистых растений или в поздний осенний период после проведения полевых работ.

Осуществляется преобразование изображения в цифровой формат данных сканированием аэрокосмических фотоснимков или изображений, полученных в электронном виде. На полученных изображениях выделяют уровни серого цвета этих поверхностей по шкале от 0 до 255. Далее производят разделение общей площади на контуры, соответствующие выделенным уровням фототона, и вычисляют их площади. Производят сопряженный анализ фотоизображения с топографической и почвенной картами, и выполняют трансформацию, наносят атрибутивную информацию.

Картографирование агроландшафтов региона исследований, используемых в качестве пастбищ необходимо для изучения и анализа как уровня их деградации, так и пространственного расположения деградированных угодий. Технология прогнозно-динамического картографирования реализуется на основе дешифрирования информации космоснимков и применения системы компьютерной обработки, анализа изображений и динамического пространственно-временного картографирования с использованием специализированных программ.

Уровень деградации пастбищ определяется по среднестатистическим значениям фототона изображения на космоснимке. Основным интегральным показателем, позволяющим определить уровень деградации пастбищных фитоценозов, является плотность покрытия поверхности растительностью (проективное покрытие), рассматриваемое как проекции наземных частей растений на эту поверхность. Оценка деградации проводится по величине проективного покрытия почвы травянистыми растениями, вычисляемой по формуле:

$$S_{nn} = 100 / (1 + \exp(A + BF))$$

где S_{nn} – проективное покрытие, %; F – текущее значение уровня серого цвета по космическому снимку; A , B – коэффициенты, учитывающие влияния типа почвы на величину фототона

Картографирование пастбищ Астраханской области, проведенное по разработанной технологии, показало ее высокую эффективность. Выполненные исследования позволили уточнить дешифровочные признаки и установить эталонные значения состояния проективного покрытия деградированных пастбищ в соответствии с фототонами изображения, а также диапазоны фототона для преобладающих типов почв на оцениваемых площадях (табл. 1).

Таблица 1

Диапазоны значений фототона по уровням деградации

Уровни деградации	Площадь проективного покрытия, %	Диапазон фототона, ед.
Подвижные (открытые) пески	0–15	170–210
Солончаки	0–15	105–130
Сильносбитые пастбища	15–25	130–170
Умеренно и среднесбитые пастбища	25–35	90–130
Несбитые и слабосбитые пастбища	35–45	50–90

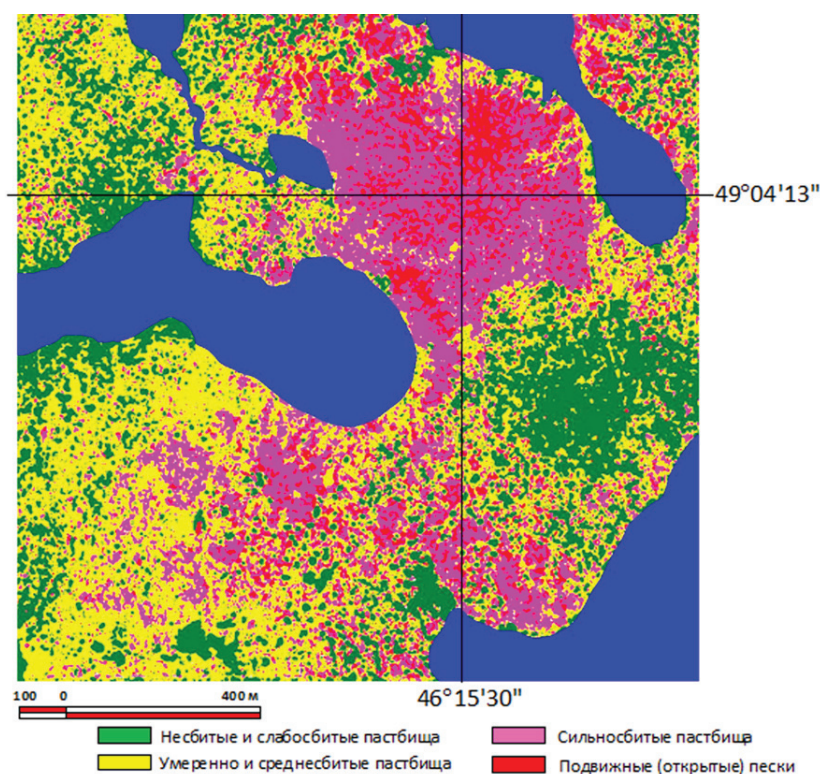
При оценке деградации в учет принимались только участки поверхности, непосредственно относящиеся к пастбищам.

Анализ деградации пастбищ на ключевом участке «Красная деревня» с координатами 49°04'13" СШ, 46°15'30" ВД, общей площадью 125,9 га, показал, что открытые, скальпированные поверхности (рис. 8) и сильносбитые пастбища занимают более 36 % площади, 35, 39% – умеренно и среднесбитые и только около 8 % – слабосбитые и несбитые. На космофотокарте четко видны контуры зон деградации различного уровня, что дает возможность осуществить ландшафтное планирование и разработать мероприятия по мелиоративному восстановлению пастбищ.

Таким образом, основным результатом оценочно-картографического этапа являются инвентаризационные и оценочные карты и перечень основных проблем на территории агроландшафтов. Состав и информационная насыщенность оценочных карт должна отражать современное состояние земель сельскохозяйственного назначения.

Проведенные исследования позволяют перейти к третьему этапу ландшафтного планирования — разработке комплекса мероприятий по адаптивному лесомелиоративному обустройству агроландшафтов, которые зависят от специфики ландшафтов и вида и степени их хозяйственного использования.

Приоритетные мероприятия по адаптивному лесомелиоративному обустройству сельскохозяйственных земель разрабатываются в ходе составления рамочного ландшафтного плана и крупномасштабного ландшафтного плана — двух основных документов процедуры ландшафтного планирования. Первый составляется для территорий ранга административных районов субъектов РФ, второй разрабатывается для конкретных землепользователей, хозяйств.



**Рис. 8. Космофотокарта деградации пастбищ Волгоградской области
ключевой участок «Красная деревня»**

Для сельскохозяйственных земель в данной разработке рассматриваются все направления адаптивно-ландшафтного обустройства: оптимизация соотношения земельных угодий и севооборотов, противоэрозионная организация территории, лесомелиоративное обустройство, агротехнические и лесохозяйственные уходы, гидротехнические приемы. На основе ландшафтной карты проводится выделение категорий земель с различными почвенно-экологическими условиями с использованием гипсометрической карты, карты экспозиции склонов и углов наклона, а также карты сохранности ЗЛН и лесопригодности почв планируется размещение полезащитных, стокорегулирующих, прибалочных и приовражных лесополос в комплексе агротехнических приемов. Для жизнеспособных ЗЛН разрабатывается система лесоводственных уходов, целью которых является повышение мелиоративной эффективности лесных полос.

Внедрение в практику адаптивного лесомелиоративного обустройства сельскохозяйственных земель современных картографо-аэрокосмических и геоинформационных технологий позволило автоматизировать отдельные технологические операции в работе с аэро- и космоснимками и составлении картографических материалов. Это, в свою очередь, повысило эффективность планируемых мероприятий и прогнозирования дальнейшей динамики экологической обстановки в агроландшафтах, способствовало принятию оптимальных решений по ее регулированию и управлению хозяйственным использованием земель.

Список литературы

1. Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г., Кошелев А.В., Березовикова О.Ю. Аэрокосмический мониторинг и прогнозно-динамическое картографирование агроландшафтов юга России // Инновационная модель мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. Материалы Всероссийского семинара-совещания. Воронеж: Изд-во «Истоки», 2009. С. 76–82.
2. Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г., Кретинин В.М., Павловский Е.С. Модели агролесоландшафтов (математико-картографические) для деградированных территорий сухостепной зоны Европейской части РФ // Достижения науки в Волгоградской области 2004–2009 гг.; Администрация Волгоградской области; Управление науки, промышленности и ресурсов аппарата Главы Администрации Волгоградской области. Волгоград: Панорама, 2010. С. 414–416.
3. Методические указания по ландшафтно-экологическому проектированию при агролесомелиоративном картографировании / Кулик К.Н., Павловский Е.С., Рулев А.С., Юферев В.Г., Бакурова К.Б., Дорохина З.П., Тубалов А.А., Кошелев А.В., Березовикова О.Ю., Дзугаев А.А. // М.: Россельхозакадемия, 2007, 42 с.
4. Методические указания по дистанционному эколого-экономическому мониторингу аридных пастбищ на основе ГИС-технологий / Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г., Бакурова К.Б., Дорохина З.П., Кошелев А.В., Березовикова О.Ю. // М.: Россельхозакадемия, 2009. 37 с.
5. Пат. RU № 2330242 27.07.2008 Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С., Кошелев А.В. Способ определения состояния защитных лесных насаждений // Патент России №2006144553/28. 2006. Бюл. № 21.
6. Пат. RU № 2327107 13.04.2008 Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С., Бакурова К.Б. Способ определения состояния пастбищ, подверженных деградации Патент России № 2006112379/28.2006. Бюл. № 17.
7. Рулев А.С., Юферев В.Г. Состояние и перспективы точной (координатной) агролесомелиорации // Сб. докл. всерос. науч.-практ. конф. ГНУ ВНИИЗиЗПЭ, 11–13 сентября 2007 г. Курск, 2007. С. 134–138.
8. Рулев А.С., Юферев В.Г. Аэрокосмическое картографирование эрозионных процессов на основе катенарно-логистического анализа // Стрежень: Научный ежегодник / под ред. М.М. Загоруйко. Вып. 6. Волгоград: Издатель, 2008. С. 36–40.
9. Рулев А.С., Юферев В.Г. Геоэкономический подход к оценке аграрного потенциала Юга России / А.С. Рулев, В.Г. Юферев / Экономика развития региона: проблемы, поиски перспективы. Ежегодник. Выпуск 11 / ВолГУ. Волгоград, 2010. С. 453–466.
10. Рулев А.С., Юферев В.Г. Картографо-геоинформационное моделирование в агролесомелиорации // Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) «Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы». 14–15 октября 2010 г. Санкт-Петербург: АФИ, 2010. С. 68–71.
11. Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С. и др. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации / К.Н. Кулик, А.С. Рулев, К.Б. Мушаева, А.В. Кошелев, З.П. Дорохина, О.Ю. Березовикова // Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010 г. 102 с.
12. Рулев А.С., Юферев В.Г., Юферев М.В. Картографо-аэрокосмический мониторинг аридных агроландшафтов // Элиста. Вестник института комплексных исследований аридных территорий. 2011. № 1 (22), С. 57–63.

13. Рулев А.С., Юферов В.Г., Юферов М.В. Методология геоинформационного моделирования // Москва. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2011. № 5. С. 5–6.
14. Рулев А.С., Юферов В.Г., Кошелев А.В. Защитные лесные насаждения как средство активного управления ландшафтами Восточного Причерноморья // Научный вестник СКНИИиСП ЮФУ: Южно-Российский форум: экономика, социология, политология, социально-экономическая география. Ростов-на Дону: ЗАО «Центр Универсальной Полиграфии», 2011. С. 112–117.
15. Kulik K., Rulev A., Yuferev V. Aerospace monitoring of pastures in conditions of dry steppe and semi-desert // Abstracts of reports International Scientific Conference (June 12–14, 2010). Ashgabat, 2010. pp. 406–407.
16. Rulev A.S., Yuferev V.G. The catena-logistical approach to the estimation and mapping of erosion processes on water catchment areas with the use of spaceaerophotos // Proceedings of the tenth international symposium on river sedimentation «Effects of river sediments and channel processes on social, economic and environmental safety». Moscow, 2007, pp. 348–355.

References

1. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G., Koshelev A.V., Berezovikova O.Y. (2009) Aerospace monitoring and forecasting dynamic mapping of agrolandscapes of the South of Russia. Innovative model of monitoring of agricultural lands. Materials of all-Russian seminar-meeting. Voronezh: Publishing house «Istoki», pp. 76–82.
2. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G., Kretinin V.M., Pavlovsky E.S. (2010) Models of agricultural and forest landscapes (mathematical-cartographic) for degraded areas of dry steppe zone of the European part of Russia. Science in the Volgograd Region, 2004–2009; Volgograd Region Administration; Management of science, industry and resources; Office of the Head of Administration of the Volgograd Region. Volgograd: Panorama, pp. 414–416.
3. Kulik K.N., Pavlovsky E.S., Rulev A.S., Yuferev V.G., Bakurova K.B., Dorokhina Z.P., Tubalov A.A., Koshelev A.V., Berezoviko-va O.Y., Dzugaev A.A. (2007) Guidelines for ecological landscape design in agro-forestry meliorative mapping. Moscow Rosselkhozacademy-MIA, p. 42.
4. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G., Bakurova K.B., Dorokhina Z.P., Koshelev A.V., Berezovikova O.Y. (2009) Guidelines for remote environmental-economic monitoring of arid pastures on the basis of GIS-technologies. Moscow. Russian Academy of agricultural Sciences, p. 37.
5. Pat. RU № 2330242 27.07.2008 Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., Koshelev A.V. Method of determining the condition of protective forest plantation. Patent of Russia №2006144553/28. 2006. Bull. No. 21.
6. Pat. RU № 2327107 13.04.2008 Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., Bakurova K.B. Method of determining the condition of pastures subject to degradation. Patent of Russia № 2006112379/28. 2006. Bull. No. 17.
7. Rulev A.S., Yuferev V.G. (2007) The Condition and prospects of the exact (coordinate) of agroforestry. Collection of Reports of All-Russian scientific-pract. Conf. SSI All-Russian Scientific Research Institute of Agriculture And Protection of Soils From Erosion (GNU VNIIZIZPE), 11–13 September 2007, Munich, pp. 134–138.
8. Rulev A.S., Yuferev V.G. Aerospace mapping of erosion processes on the basis of catenary-logistics analysis. Core: Scientific Yearbook. Ed. by M.M. Zagorulko. Vol. 6. Volgograd: Publisher, 2008, pp. 36–40.
9. Rulev A.S., Yuferev V.G. geo-economic approach to the assessment of the agricultural potential of the South of Russia. Ed. A.S. Rulev, G. Yuferev. Economy development of region: problems, searches, prospects. Yearbook. Issue 11. The Volga. Volgograd, 2010, pp. 453–466.
10. Rulev A.S., Yuferev V.G. Cartographic-geoinformation modelling in the agro-forestry. Materials of all-Russian conference (with international participation) «Mathematical models and information technologies in agricultural biology: results and prospects». 14–15 October, 2010 Saint Petersburg: API, 2010, pp. 68–71.
11. Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., etc. (2010) Geoinformation technologies in agroforestry. Ed. K.N. Kulik, A.S. Rulev, B.K. Mushaeva, A.V. Koshelev, Z.P. Dorokhina, O.Y. Berezovikova. Volgograd: Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (VNIALMI), p. 102.

12. Rulev A.S., Yuferev V.G., M.V. Yuferev. (2011) Cartographic and aerospace monitoring of arid agrolandscapes. Elista. Bulletin of the Institute of integrated research of arid territories. No. 1 (22), pp. 57–63.
13. Rulev A.S., Yuferev V.G., Yuferev M.V. (2011) Methodology of geoinformation modeling. Moscow. Herald of the Russian Academy of agricultural Sciences. No. 5, pp. 5–6.
14. Rulev A.S., Yuferev V.G., Koshelev A.V. Protective forest plantations as a means for active management of the landscapes of the Eastern black sea region. Scientific Bulletin of SNIIP SFU: South-Russian forum: Economics, sociology, political science, socio-economic geography. Rostov-on-don: ZAO «Center for Universal Printing», 2011, pp. 112–117.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Е.О. Лазарева, канд. геогр. наук, *milyutina.e.o@yandex.ru*

И.Н. Липовицкая, прорект. НАНОО ВПО Санкт-Петербургский институт гуманитарного образования, канд. геогр. наук, *lipovitskaya@mail.ru*

Е.С. Андреева, проф., Академии строительства ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону д-р. геогр. наук, *espmeteo@yandex.ru*

Описаны возможности инноваций в сфере прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха крупных городов. Авторами выявлен вклад метеорологических характеристик и характерных групп синоптических процессов в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург. По результатам исследования впервые разработана инновационная схема прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха на примере крупного города по методу «дерево принятия решения».

Ключевые слова: прогностическая модель, метод дерева принятия решения, прогноз загрязнения атмосферного воздуха, синоптический процесс.

INNOVATIVE APPROACHES FOR PREDICTING THE LEVEL OF POLLUTION OF ATMOSPHERIC AIR IN LARGE CITIES

E.O. Lazareva, Ph.D. of Geographic Sciences, *milyutina.e.o@yandex.ru*

I.N. Lipovitskaya, Vice-President. St. Petersburg Institute of Humanitarian Education, Ph.D. of Geographic Sciences, *lipovitskaya@mail.ru*

E.S. Andreyeva, Prof., Academy of Construction of the State Educational Establishment of the Don State Technical University, Rostov-on-Don. Ph.D. of Geographic Sciences, *espmeteo@yandex.ru*

The opportunities of innovations in the sphere of forecasting the level of atmospheric air pollution in large cities are considered. The authors reveal the contribution of meteorological characteristics and characteristic groups of synoptic processes to the level of pollution of atmospheric air in St. Petersburg. According to the results of the research, an innovative scheme for forecasting the level of atmospheric air pollution was first developed using the example of a large city using «the decision tree method».

Keywords: prognostic model, decision tree method, forecast of atmospheric air pollution, synoptic process.

Несмотря на очевидные успехи [1] в области построения математических моделей для прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха крупных городов и урбанизированных зон, нерешенными остаются достаточное число проблем [2–7]. Среди которых оценка не только вклада синоптических условий конкретной территории, в том числе высотных, в уровень загрязнения атмосферного воздуха, то есть своего рода локализация или приближение прогностической модели к конкретной точке в географическом пространстве. Но и использование методов математической статистики для анализа сформированных массивов числовой информации. Однако перечисленные выше технологии уже нашли свое применение в области прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха в XX веке. Наступивший XXI век требует внедрения новых, инновационных, подходов для решения

ряда актуальных вопросов, в числе которых, несомненно, проблема прогноза загрязнения атмосферного воздуха крупных городов и урбанизированных зон. В этой связи авторам статьи представляется интересным впервые применить известный экспертный метод «дерева принятия решения» для реализации проблемы прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха с помощью инновационного подхода.

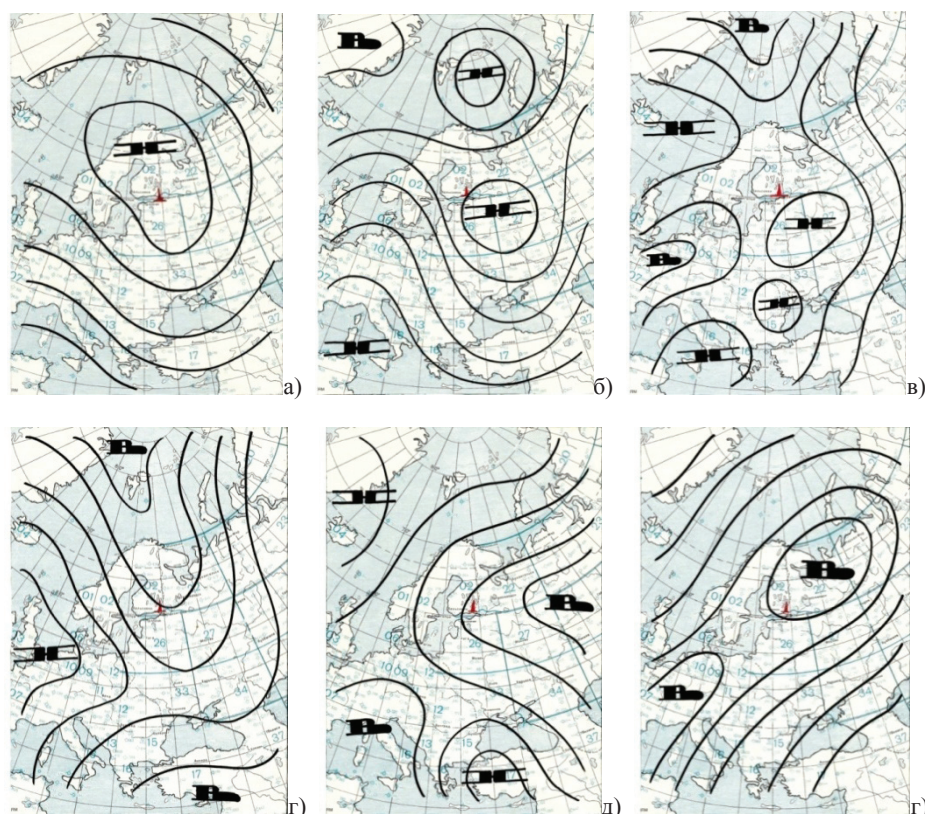
В рамках реализации указанной выше цели авторами статьи была использована база данных погодных условий по срочным данным (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00 18:00 и 21:00 московского времени) метеорологических наблюдений, выполненных на станции (26063), расположенной в г. Санкт-Петербург (период с 2006 по 2014 гг.) [2]. Данная база включала характеристики, оказывающие воздействие на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха: атмосферное давление, температура и относительная влажность воздуха, значение температуры точки росы, скорость и направление ветра у земли, высота нижней границы облаков, значение дальности видимости, атмосферные осадки и метеорологические явления. Кроме того, перечисленные составляющие определяют климатическую характеристику города для указанного периода времени.

В процессе исследования была сформирована база данных вертикального распределения метеорологических характеристик по данным радиозондирования атмосферы (за сроки 00:00 и 12:00 UTC (Всемирное Скоординированное Время)), выполняемого на станции Воейково (2006–2014 гг.). База включала следующие характеристики: давление, температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра.

Визуальный анализ архивного материала приземных карт погоды над Европой, из базы данных [3], позволил сформировать базу данных посуточных синоптических положений г. Санкт-Петербург, за период с 2006 по 2014 гг. В ходе анализа исследованы 3279 карт, ежедневно за срок 00:00 UTC (Всемирное Скоординированное Время), где посуточно охарактеризована синоптическая обстановка в исследуемом районе; указана периферия барической системы, которая определяет погодные условия в районе г. Санкт-Петербург. Для выделения характерных групп синоптических процессов последнего десятилетия, учтено географическое происхождение барических образований, а также прослежены и изучены траектории их движения. Таким образом, были выделены следующие синоптические процессы г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг.: атлантический циклон, «ныряющий» циклон, южный циклон, арктический антициклон, отрог Сибирского антициклона, отрог Азорского антициклона (рис.).

При этом, выполнен анализ для холодного и теплого периодов года, что позволило уточнить повторяемость синоптических процессов над исследуемым районом для полугодий. Повторяемость для осенне-зимнего периода составляет: атлантический циклон (48%), южный циклон (9%), «ныряющий» циклон (8%), арктический антициклон (21%), отрог Сибирского антициклона (15%). Для весенне-летнего периода: атлантический циклон (43%), южный циклон (18%), арктический антициклон (14%), отрог Азорского антициклона (25%).

Кроме того, в рамках данного исследования, изучены данные наблюдений за состоянием атмосферного воздуха ФГБУ «Северо-Западное УГМС» за период времени с 2006 по 2014 гг. Наблюдения осуществлялись на 10 стационарных постах службы, расположенных в 8 административных районах города, 4 раза в сутки (01:00, 07:00, 13:00, 19:00), где определены общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах (n) и количество наблюдений в течение этого же дня с концентрациями (q), которые превышают среднесезонное значение $q_{ср}$ более чем в 1.5 раза ($q > 1,5 q_{ср}$) (m) по двум примесям (оксид углерода, диоксид азота — продукты неполного сгорания топлива в двигателях автотранспортных средств, которые вносят наибольший вклад в выбросы загрязняющих веществ города — 86% в 2014 г. [4]). Приведенные данные позволили вычислить фактическое значение интегрального показателя загрязнения воздуха в городе совокупностью примесей — параметра P (формула 1) [5].



Схемы синоптических процессов

а) атлантический циклон, б) «ныряющий» циклон, в) южный циклон, г) арктический антициклон, д) отрог Сибирского антициклона, е) отрог Азорского антициклона

$$P = \frac{m}{n}, \quad (1)$$

где P — интегральный показатель — параметр P ; n — общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах; m — количество наблюдений в течение этого же дня с концентрациями (q), которые превышают среднесезонное значение $q_{ср}$ более чем в 1,5 раза ($q > 1.5 q_{ср}$).

При использовании параметра P , согласно РД 52.04.306-92 [5], рассматривались три группы загрязнения воздуха: $P > 0,35$ — относительно высокое (первая группа (I)), $0,20 < P \leq 0,35$ — повышенное (вторая группа (II)), $P \leq 0,20$ — пониженное (третья группа (III)).

Для оценки вклада характерных синоптических процессов, сопровождающихся комплексом метеорологических условий в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург сформированы массивы данных для холодного (с ноября по март месяцы (1050 дней)) и теплого (с апреля по октябрь месяцы (1587 дней)) периодов года (согласно годовому ходу температуры воздуха и радиационного баланса). При этом, отдельно анализировались дневные (09:00–21:00) и ночные (21:00–09:00) случаи и рассматривались три группы загрязнения по параметру P .

Массивы сформированных данных анализировались по следующей схеме: оценка суточного хода загрязнения; оценка вклада синоптического процесса в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха; оценка вероятности загрязнения при выделенных харак-

терных группах синоптических процессов; регрессионный анализ; расчет коэффициентов взаимной сопряженности и уровня загрязнения воздуха и синоптических процессов.

Для оценки связи синоптического процесса и уровня загрязнения воздуха использован коэффициент взаимной сопряженности Пирсона-Чупрова [6]. Проверка статистической гипотезы о виде распределения выполнена при помощи критерия согласия — χ^2 [6]. В результате расчета коэффициентов Пирсона и Чупрова для ночных, дневных часов и за суточный период времени выявлено, что для всех рассматриваемых случаев $\chi^2 > \chi^2_{кр}$, что позволяет отметить наличие существенной связи между синоптическими процессами и загрязнением атмосферного воздуха.

Пошаговый регрессионный анализ (методом включения) для ночных часов показал значимое влияние предикторов в 39 % (для холодного периода) и 38 % (для теплого периода); и почти вдвое больше для дневных часов — значимое влияние предикторов 64 % (для холодного периода) 67 % (для теплого периода), которые представляют инерционный фактор, что говорит о ведущей роли инерционного фактора при прогнозировании уровня загрязнения атмосферного воздуха [7].

Таким образом, в ходе исследования установлена зависимость формирования уровня загрязнения атмосферного воздуха от синоптического процесса и инерционного фактора, что позволило сформировать схемы прогноза уровня загрязнения воздуха в виде «дерево принятия решения» экспертным путем.

В исследовании предлагаемый метод отражает инерционную составляющую загрязнения атмосферного воздуха, а также синоптических процессов. Для определения ожидаемой группы (градации) загрязнения воздуха, по параметру P достаточно владеть следующим объемом информации: прогнозируемый синоптический процесс (с заблаговременностью в 1 сутки), который можно взять, например, из прогноза Гидрометцентра; текущее значение параметра P и текущий синоптический процесс (относительно определяемого значения это — предыдущий срок). Для определения ожидаемой группы загрязнения, при таком подходе, на первом шаге необходимо выбрать в «дерево» прогнозируемый синоптический процесс, на втором шаге — определить группу загрязнения воздуха на текущий момент, на третьем — текущий синоптический процесс (если это необходимо), что позволяет четвертым шагом определить прогнозируемую группу загрязнения воздуха.

Оправдываемость прогностического определения ожидаемой группы загрязнения атмосферного воздуха по Санкт-Петербургу была рассчитана на зависимом материале и составила для холодного периода года 90 % (ночные часы) и 91 % (дневные часы); для теплого периода года 84 % (ночные часы) и 87 % (дневные часы) [7], что говорит о более эффективном прогнозе уровня загрязнения атмосферного воздуха по предлагаемым схемам в холодный период года.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе исследования:

- сформированы архивы исходных данных стандартных метеорологических, данных радиозондирования атмосферы, синоптических положений и уровня загрязнения атмосферного воздуха за период с 2006 по 2014 гг., необходимых для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург;
- уточнены характерные группы синоптических процессов г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг.;
- разработаны схемы по методу «дерево принятия решения», что позволяет определить ожидаемый уровень загрязнения атмосферного воздуха, для теплого и холодного периодов года, дневных и ночных часов, с заблаговременностью в 12 часов, с оправдываемостью — 84–91%.

Таким образом, успешная реализация цели данного исследования обозначила в первом приближении возможности применения метода «дерева решения» для разработки схемы

прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха на примере крупных городов и урбанизированных зон, а также перспективы его дальнейшего использования.

Список литературы

1. Morrison J. Sustainable development, UK, Profile Books, 2002, 370 p.
2. Попова Е.С., Андреев С.С. Эколого-географическая оценка климатической комфортности городов Ростов-на-Дону и Сочи // *European Journal Of Natural History*, № 5, 2013, с. 32–34.
3. Лазарева Е.О., Попова Е.С. Особенности пространственно-временной динамики антропогенных примесей воздуха г. Санкт-Петербург за период времени с 1980 по 2012 гг. (на примере оксида углерода, диоксида азота, взвешенных веществ) // *Ученые записки РГГМУ*, № 37, 2014, с. 204–215.
4. Лазарева Е.О., Попова Е.С., Липовицкая И.Н. Анализ временной изменчивости основных антропогенных примесей атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург за период с 1980 по 2012 гг. // *Экологические проблемы постсоветского пространства / Международный сборник статей под ред. Горбенко А.В., Ивановская Е.А. Липецк, 2014, с. 76–85.*
5. Лазарева Е.О., Попова Е.С., Липовицкая И.Н. Динамика и синоптические условия распространения примесей атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург последнего десятилетия XXI в. // *Ученые записки РГГМУ*, № 41, 2015, с. 149–155.
6. Лазарева Е.О., Попова Е.С., Липовицкая И.Н. Межгодовая изменчивость и синоптические ситуации распространения примесей атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург последнего десятилетия XXI в. // *Материалы VII Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее», Ростов-на-Дону, 12–16 октября 2015 г.*
7. Лазарева Е.О. Загрязнение атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург при различных синоптических ситуациях: автореф. дис. канд. географических наук: 25.00.36 / Лазарева Елена Олеговна; [Место защиты: Рос. гос. гидрометеорол. ун-т (РГГМУ)]. Санкт-Петербург, 2016. 26 с.

References

1. Morrison J. Sustainable development, UK, Profile Books, 2002, 370 p.
2. Popova E.S., Andreev S.S. Ecological and geographical assessment of climatic comfort of the cities of Rostov-on-Don and Sochi. *European Journal Of Natural History*, No. 5, 2013, p. 32–34.
3. Lazareva E.O., Popova E.S. Features of the space-time dynamics of anthropogenic air impurities in St. Petersburg for the period from 1980 to 2012 (On the example of carbon monoxide, nitrogen dioxide, suspended solids). *Scientific Papers RSHU*, No. 37, 2014, p. 204–215.
4. Lazareva E.O., Popova E.S., Lipovitskaya I.N. Analysis of temporal variability of the main anthropogenic impurities of atmospheric air in St. Petersburg for the period from 1980 to 2012. Ecological problems of the post-Soviet space. International collection of articles, ed. Gorbenko A.V., Ivanovskaya E.A. Lipetsk, 2014, p. 76–85.
5. Lazareva E.O., Popova E.S., Lipovitskaya I.N. Dynamics and synoptic conditions for the distribution of atmospheric air impurities in St. Petersburg in the last decade of the 21st century. *Uchenye zapiski RSHU*, No. 41, 2015, p. 149–155.
6. Lazareva E.O., Popova E.S., Lipovitskaya I.N. Interannual variability and synoptic situations of the distribution of atmospheric air impurities. St. Petersburg, the last decade of the 21st century. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference «Environmental Problems. A Look into the Future», Rostov-on-Don, October 12–16, 2015.
7. Lazareva E.O. Pollution of the atmospheric air in St. Petersburg under different synoptic situations: Abstract of Thesis for Ph.D. of Geography: 25.00.36. Lazareva Elena Olegovna. Ros. State. Hydrometeorol. University (RSHU). St. Petersburg, 2016. 26 p.

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ТУНДРОВЫХ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ ООО «ГАЗПРОМ ДОБЫЧА ЯМБУРГ»

В.Н. Башкин, гл. науч. сотр. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и ИФХиБПП РАН, проф., д-р биол. наук, vladimir.bashkin@rambler.ru

Р.В. Галиулин, вед. науч. сотр. ИФПБ РАН, д-р геогр. наук, rauf-galiulin@rambler.ru

А.К. Арабский, зам. гл. инж. ООО «Газпром добыча Ямбург», д-р техн. наук, A.Arabskii@ygd.gazprom.ru

Представлена инновационная технология рекультивации нарушенных тундровых почв Тазовского полуострова (Ямало-Ненецкий автономный округ), реализуемая в настоящее время на территории функционирования ООО «Газпром добыча Ямбург». Высокая эффективность данной технологии, защищенной патентами Российской Федерации на изобретения, подтверждается результатами опытно-промышленного тестирования.

Ключевые слова: нарушенная почва, рекультивация, инновационная технология, торф, гумат калия, многолетние злаковые травы, опытно-промышленное тестирование.

INNOVATIVE TECHNOLOGY OF DISTURBED TUNDRA SOILS RECULTIVATION ON «GAZPROM DOBYCHA YAMBURG» LLC TERRITORY

V.N. Bashkin, Chief Researcher of «Gazprom VNIIGAZ» LLC and IPBPSS RAS, Professor, Ph. D. of Biology, vladimir.bashkin@rambler.ru

R.V. Galiulin, Leading Researcher of IBBP RAS, Ph. D. of Geography, rauf-galiulin@rambler.ru

A.K. Arabskiy, Deputy of Chief Engineer, «Gazprom Dobycha Yamburg» LLC, Ph. D. of Engineering, A.Arabskii@ygd.gazprom.ru

The innovative technology of recultivation of disturbed tundra soils of the Taz peninsula (Yamalo-Nenets autonomous okrug) realized at present on territory of functioning of the «Gazprom Dobycha Yamburg» LLC is shown. High efficiency of the given technology protected by patents of the Russian Federation for inventions is confirmed by results of the in vitro testing.

Keywords: disturbed soil, recultivation, innovative technology, peat, potassium humate, perennial cereal grasses, in vitro testing.

Тазовский полуостров находится на севере Западно-Сибирской равнины в Ямало-Ненецком автономном округе (67°15' с.ш., 74°40' в.д.) между Обской губой (морским заливом) на западе и Тазовской губой на востоке, которые имеют выход к Карскому морю (рис. 1).

Поверхность полуострова равнинная, покрыта болотами, слабо наклонена на востоке к Тазовской губе и падает крупными обрывами на западе к Обской губе. Тазовский полуостров с характерными для тундры мохово-лишайниковыми, луговыми, болотными и кустарниковыми растительными ассоциациями представляет собой идеальные условия для пастбищного оленеводства.

Вместе с тем Тазовский полуостров располагает уникальными месторождениями природного газа, на которых дочерняя компания ПАО «Газпром» – ООО «Газпром добыча Ямбург» проводит геологоразведочные работы, обустройство и разработку новых месторождений, осуществляет добычу газа и газового конденсата и их подготовку к транспорту. В процессе подобного рода производственной деятельности не исключаются, в частности, механиче-

ские воздействия на почвенно-растительный покров при проезде техники, связанной с осуществлением разведки, бурением скважин и обустройством промыслов. В результате тундровые почвы частично или полностью лишаются растительного покрова и органогенного слоя, а минеральные нижележащие горизонты выходят на дневную поверхность.



Рис. 1. Карта-схема исследуемой территории (68°09' с.ш., 76°02' в.д.)

- 1 – полуостров Ямал; 2 – Тазовский полуостров; 3 – Гыданский полуостров;
4 – междуречье рек Пур и Таз; а – реки; б – озера; в – болота;
г – условный район рекультивации нарушенных тундровых почв

Примером техногенно нарушенных почв могут служить результаты авиамаршрутных наблюдений, проведенных на Енисейском Севере [1]. Так, было установлено, что после укладки труб и проезда техники по трассе газопроводов отмечаются непрерывные полосы с полностью нарушенной дерниной шириной 25–50 м, а с частичным нарушением моховой дернины и повреждением кустарниковой растительности – 30–70 м и, наконец, со слабым повреждением моховой дернины и сохранением кустарниковой растительности – 40–100 м. В результате нарушения дернины на склоновых участках повсеместно прослеживалось развитие эрозийных процессов, а в отдельных местах обнаружено даже провисание опор газопровода.

Оценка состояния почв, выполненных в Ямало-Ненецком, Ненецком (68°50' с.ш., 54°50' в.д.) и Ханты-Мансийском автономных округах (62°15' с. ш., 70°10' в. д.) показала, что, в частности, устраиваемые переходы для оленей на трассах трубопроводов недостаточны в количественном отношении и часто не учитывают месторасположение многолетних маршрутов передвижения оленьих стад [2]. Вследствие недостаточности переходов по количеству и ширине в местах переходов на локальных участках формируются выбитые и лишённые растительности участки. При этом восстановление растительного покрова на указанных участках осложняется вследствие ежегодного вытаптывания оленями возрождающейся флоры.

Для кардинального решения проблемы нарушенных тундровых почв, нами по результатам многолетних исследований была разработана инновационная технология рекультивации почв, защищенная патентами России, и которая в настоящее время успешно реализуется на Тазовском полуострове на территории функционирования ООО «Газпром добыча Ямбург».

Цель настоящей работы состояла в представлении схемы инновационной технологии рекультивации нарушенных тундровых почв и результатов ее реализации на Тазовском полуострове, разработанной в рамках проекта «Биогеохимические технологии для управления загрязнениями и нарушениями полярных экосистем Ямало-Ненецкого автономного округа».

Инновационная технология рекультивации нарушенных тундровых почв Тазовского полуострова.

Инновационная технология рекультивации нарушенных тундровых почв Тазовского полуострова состоит из 3-х стадий, включающих перечень последовательно выполняемых операций.

Так, на первой стадии:

— составляют крупномасштабную картосхему территории функционирования ООО «Газпром добыча Ямбург» (масштаб 1:200000 и крупнее) с выделением на ней отдельных участков с нарушенными почвами и измерением их площадей, а также с выделением мест расположения торфяных залежей [3];

— в случае местности с равнинным или слаборасчлененным рельефом и однообразным почвенным покровом с указанных участков и залежей отбирают, соответственно, репрезентативные образцы почвы и торфа из слоя 0–5–6 см для определения их полной влагоемкости с целью последующей идентификации соотношения торф:почва, необходимого для рекультивации конкретного участка, табл. 1 [4, 5]; здесь под полной влагоемкостью понимается то наибольшее количество влаги, которое содержится в почве при полном насыщении всех ее пор;

— в случае местности с волнистым рельефом и неоднородным почвенным покровом с указанных участков и залежей отбирают, соответственно, репрезентативные образцы почвы и торфа из слоя 0–5–6 см для определения их гранулометрического состава с целью последующей идентификации соотношения торф:почва, необходимого для рекультивации конкретного участка, табл. 2 [4, 6]; здесь под гранулометрическим составом понимается содержание в почве частиц различного размера (от 1 мм до <0,001 мм), т. е. от песка до ила.

Таблица 1

**Соотношение торф:почва для рекультивации нарушенной почвы
в зависимости от уровня ее полной влагоемкости**

Классификация почвы по уровню ее полной влагоемкости	Полная влагоемкость, %	Соотношение торф:почва
Низкий	40–50	1:4
	50–60	1:5
Средний	60–70	1:6
	70–80	1:7
Высокий	80–90	1:8
	90–100	1:9

Таблица 2

**Соотношение торф:почва для рекультивации нарушенной почвы
в зависимости от ее гранулометрического состава**

Классификация почв по гранулометрическому составу	Содержание физической глины (частицы <0,01 мм), %	Соотношение торф:почва
Песок рыхлый	0–5	1:4
Песок связный	5–10	1:4
Супесь	10–20	1:4–1:5
Суглинок легкий	20–30	1:5–1:6
Суглинок средний	30–40	1:6–1:7
Суглинок тяжелый	40–50	1:7–1:8
Глина легкая	50–65	1:8–1:11
Глина средняя	65–80	1:11–1:20
Глина тяжелая	>80	1:20

На второй стадии:

- исходя из идентифицированного соотношения торф:почва рассчитывают массу торфа, заделываемую в 0–5–6 см слой нарушенной почвы, а массу самой нарушенной почвы в слое 0–5–6 см рассчитывают, исходя из площади рекультивируемого участка;

- массу торфа предварительно доводят до рассыпчатого состояния путем воздушной сушки, что необходимо для удобства его равномерного распределения по всей площади рекультивируемого участка и дальнейшей заделки в слой нарушенной почвы;

- заделку торфа в 0–5–6 см слой нарушенной почвы и посев семян смеси многолетних злаковых трав осуществляют по принципу устройства газонов на больших площадях или методом «залужения», используя соответствующие технологии и технику [7–9];

- в составе травосмеси, формируемой из многолетних злаковых растений могут быть кострец безостый (*Bromus inermis*), пырейник сибирский (*Elymus sibiricus*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*), овсяница красная (*Festuca rubra*), мятлик луговой (*Poa pratensis*) и тимopheевка луговая (*Phleum pratense*), которые позволяют получить густой травостой и плотный дерн на рекультивируемом участке; эффективным приемом повышения устойчивости фитоценозов при рекультивации нарушенных почв является также посев указанной травосмеси с включением видов местной флоры [1, 2, 9];

На третьей стадии:

- для улучшения посевных свойств семян, регулирования состояния растений на различных стадиях их роста и развития, в процессе формирования их продуктивности, а также повышения устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям внешней среды применяют препарат гумата калия (соль гуминовых кислот), используемый в определенных дозах для замачивания семян перед посевом, корневой подкормки и некорневой подкормки (опрыскивания) в период вегетации, с использованием соответствующей технологии и техники;

- препарат гумата калия получают оригинальным способом из местных торфов Ямало-Ненецкого автономного округа, когда извлечение, прежде всего, гуминовых кислот из торфа и их очистка производится по всем правилам продуцирования химически чистых веществ, практически не затрагивающего молекулярные структуры этих кислот, что, в конечном счете, гарантирует синтез стабильного препарата гумата калия [10].

Данный способ включает следующие этапы:

- 1) декальцинирование торфа 0,1 н раствором серной кислоты (H_2SO_4) при соотношении 1:20; затем полученную суспензию оставляют на 1 сутки, а после ее отстаивания, раствор от твердой фазы отделяют декантацией, т.е. путем сливания раствора с осадка;

- 2) проведение 4–5 кратной экстракции (продолжительностью до 20 часов) гуминовых кислот из полученного осадка 0,1 н раствором гидроксида натрия ($NaOH$) при соотношении 1:15; затем твердую фазу от щелочного раствора отделяют центрифугированием;

- 3) осаждение (в течение 1 суток) гуминовых кислот из полученного щелочного раствора 10% раствором соляной кислоты (HCl) при соотношении 50:1 с последующим отделением осадка центрифугированием;

- 4) очищение полученного осадка гуминовых кислот путем растворения в 0,5–1,0 л 0,1 н раствора гидроксида натрия ($NaOH$), а также добавления сульфата натрия (Na_2SO_4) для коагуляции минеральных частиц и последующего центрифугирования щелочного раствора; затем гуминовые кислоты осаждают прибавлением 0,1 н раствора соляной кислоты (HCl) до установления pH 1–2; полученный осадок гуминовых кислот многократно промывают дистиллированной водой до установления pH 6 и высушивают в термостате при 50 °C;

- 5) приготовление из полученного порошка гуминовых кислот маточного раствора гумата калия необходимой концентрации, посредством добавления в соответствующую навеску 0,1 н раствора гидроксида калия (KOH) и дистиллированной воды с последующим доведением pH искомого раствора до значения, равного 7 единицам; затем из маточного раствора гото-

вят водные растворы гумата калия различной концентрации, предназначенные для замачивания семян перед посевом, корневой подкормки и некорневой подкормки (опрыскивания) в период вегетации;

– дальнейший уход за растительностью на рекультивируемом участке осуществляют, также используя соответствующие технологии и технику; при изреживании травостоя по тем или причинам, проводят дополнительный посев семян многолетних злаковых трав [8].

Реализация инновационной технологии рекультивации нарушенных тундровых почв на Тазовском полуострове

На первом этапе для подтверждения факта реализации инновационной технологии рекультивации нарушенных тундровых почв на Тазовском полуострове было проведено тестирование *in vitro*, путем сравнительного биохимического анализа различных образцов, оперативно доставленных – с фоновой территории (глеезем криогенно-ожелезненный тундровый [11]), из участка, планируемого для рекультивации (нарушенная почва), торфяной залежи (торф), а также из района непосредственной рекультивации (рекультивированная почва).

Суть биохимического анализа состояла в определении одного из ключевых показателей восстановления плодородия почвы, а именно, активности фермента дегидрогеназы в динамике (5, 10 и 15 суток) [5, 6]. Это не случайно, так как биохимический анализ отличается высокой чувствительностью и экспрессностью, достаточной точностью и стабильностью показателей по сравнению с существующими методами микробиологического анализа. Что касается самой дегидрогеназы, то этот фермент катализирует реакции дегидрирования (отщепления водорода) органических веществ, в частности, углеводов, спиртов и органических кислот, поступающих с растительными остатками в почву и положительно коррелирует с численностью микроорганизмов, четко отражая их функциональную активность.

Было установлено, что исследуемые почвы резко различаются по содержанию органического углерода, как другого ключевого показателя восстановления плодородия почвы [4] (табл. 3).

Таблица 3

Динамика активности фермента дегидрогеназы (мкг 2,3,5-трифенилформазана / (г·сут) различных почв Тазовского полуострова

Почва	Содержание органического углерода, %	Сутки		
		5	10	15
Глеезем криогенно-ожелезненный тундровый	1,7	50,7	66,4	51,2
Нарушенная почва	0,2	5,6	12,7	8,5
Торф	49,2	156,3	196,4	170,0
Рекультивированная почва	16,1	320,4	341,9	437,0

При этом максимальным содержанием органического углерода характеризовался торф, а минимальным содержанием данного вещества характеризовалась нарушенная почва. Биохимический анализ показал, что самая низкая активность дегидрогеназы наблюдается у нарушенной почвы, т. е. она была в 5,2–9,1 раза меньше, чем у глеезема криогенно-ожелезненного тундрового, используемого в наших исследованиях как эталон [11]. Внесение торфа в нарушенную почву и использование препарата гумата калия при выращивании многолетних злаковых трав должны были привести к повышению активности фермента. И действительно, активность дегидрогеназы рекультивированной почвы оказалась больше активности нарушенной почвы в 26,9–57,2 раза.

О стимулирующем эффекте торфа свидетельствует тот факт, что его активность была выше активности глеезема криогенно-ожелезненного тундрового в 3,0–3,3 раза. Симптоматично, что активность дегидрогеназы положительно коррелировала с содержанием органического углерода, что является убедительным подтверждением корректности результатов исследований.

На втором этапе была проведена сравнительная оценка потенциала рекультивации нарушенной почвы, посредством постановки вегетационного опыта с выращиванием травосмеси, включающей овсяницу красную, овсяницу луговую, мятлик луговой, райграсс пастбищный (*Lolium perenne*) и тимopheевку луговую [12]. Данную травосмесь выращивали в нарушенной почве (контроль), нарушенной почве с добавлением торфа в соотношении торф: почва – 1:6, определенного в зависимости от ее полной влагоемкости, а также в нарушенной почве с совместным добавлением торфа (в соотношении торф:почва – 1:6) и 0,125% водного раствора гумата калия. Влажность образцов в вегетационных сосудах была больше 70% от полной влагоемкости, что является характерной для условий гидроморфизма сезоннооттаивающего слоя тундровых почв. Посев семян травосмеси осуществляли из расчета 30 г/м².

Результаты вегетационного опыта продолжительностью 2 недели показали, что биомасса растений имеет четко выраженную тенденцию к возрастанию от нарушенной почвы далее через нарушенную почву с добавлением торфа и до нарушенной почвы с совместным добавлением торфа и гумата калия (рис. 2).

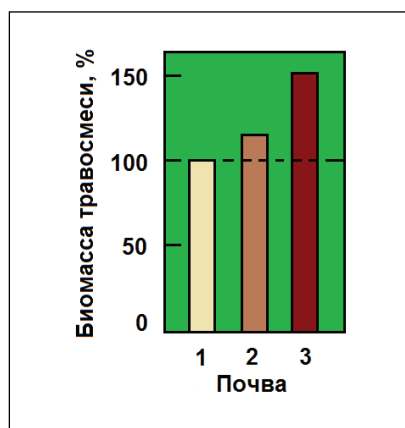


Рис. 2. Биомасса травосмеси

1 – (%) на нарушенной почве (1); 2 – нарушенной почве с добавлением торфа в соотношении торф: почва – 1:6 и нарушенной почве с совместным добавлением торфа (в соотношении торф:почва – 1:6); 3 – 0,125% водного раствора гумата калия (3)

Так, если биомасса травосмеси при добавлении в почву торфа увеличивается на 15%, то с совместным добавлением торфа и гумата калия – на 52% относительно контроля, что свидетельствуют о большом потенциале рекультивации нарушенной почвы с помощью торфа и гумата калия.

Заключение

Таким образом, данные по тестированию *in vitro*, т.е. по результатам биохимического анализа исследуемых почв и вегетационного опыта полностью подтверждают факт успешной реализации инновационной технологии рекультивации нарушенных тундровых почв на Тазовском полуострове, что позволяет прийти к заключению о дальнейшем применении

данной технологии на территориях, где ООО «Газпром добыча Ямбург» проводит геолого-разведочные работы, обустройство и разработку новых месторождений, осуществляет добычу газа и газового конденсата и их подготовку к транспорту.

Список литературы

1. Сариев А.Х., Зеленский В.М. Изучение многолетних злаковых трав для биологической рекультивации нарушенных земель на Енисейском Севере // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 11. С. 27–30.
2. Капелькина Л.П., Попов А.И. Оценка состояния и рекультивация нарушенных земель на нефтепромыслах Севера России // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. Том 5. № 37–1. С. 211–214.
3. Салишев К.А. Картоведение. М.: Издательство МГУ, 1976. 438 с.
4. Кауричев И.С., Панов Н.П., Стратонович М.В., Гречин И.П., Савич В.И., Ганжара Н.Ф., Мершин А.П. Практикум по почвоведению. М.: Колос, 1980. 272 с.
5. Патент РФ на изобретение № 2611159. Способ оценки эффективности рекультивации посредством торфа нарушенных тундровых почв с различной полной влагоемкостью. Арно О.Б., Арабский А.К., Башкин В.Н., Галиулин Р.В., Галиулина Р.А., Алексеев А.О., Салбиев Т.Х.-М., Серебряков Е.П. Опубликовано 21.02.2017. Бюл. № 6.
6. Патент РФ на изобретение № 2491137. Способ контроля эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв различного гранулометрического состава посредством анализа активности дегидрогеназы. Арно О.Б., Арабский А.К., Башкин В.Н., Галиулин Р.В., Галиулина Р.А., Маклюк О.В., Припутина И.В. Опубликовано 27.08.2013. Бюл. № 24.
7. Патент РФ на изобретение № 2611165. Способ оценки эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв посредством внесения местного торфа и гумата калия. Арно О.Б., Арабский А.К., Башкин В.Н., Галиулин Р.В., Галиулина Р.А., Алексеев А.О., Ямников С.А., Николаев Д.С., Мурзагулов В.Р. Опубликовано 21.02.2017. Бюл. № 6.
8. Стефанович Г.С. Устройство и содержание сеяных газонов из низовых злаков в Уральском регионе // Аграрный вестник Урала. 2010. № 11–1 (77). С. 22–24.
9. Галямов А.А., Гаевая Е.В., Захарова Е.В. Биологическая рекультивация сельскохозяйственных земель (оленьих пастбищ) на полуострове Ямал // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 10. С. 17–22.
10. Патент РФ на изобретение № 2610956. Способ получения гумата калия из местных торфов Ямало-Ненецкого автономного округа. Арно О.Б., Арабский А.К., Башкин В.Н., Галиулин Р.В., Алексеев А.О., Галиулина Р.А., Мальцева А.Н., Ямников С.А., Николаев Д.С., Мурзагулов В.Р. Опубликовано 17.02.2017. Бюл. № 5.
11. Хренов В.Я. Почвы криолитозоны Западной Сибири: морфология, физико-химические свойства, геохимия. Новосибирск: Наука, 2011. 211 с.
12. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. М.: Наука, 1968. 266 с.

References

1. Sariev A.Kh., Zelensky V.M. (2013) *Izuchenie mnogoletnikh zlakovykh trav dlya biologicheskoy rekultivatsii narushennykh zemel' na Eniseiskom Severe* [Studying of perennial cereal grasses for biological recultivation of disturbed lands on the Yenisei North] *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of Agrarian and Industrial Complex]. No. 11, pp. 27–30.
2. Kapel'kina L.P., Popov A.I. (2012) *Otsenka sostoyaniya i rekultivatsiya narushennykh zemel' na neftepromyslakh Severa Rosii* [Assessment of a state and recultivation of disturbed lands on oil fields of the North of Russia] *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Orenburg state agricultural university]. Orenburg. Vol. 5, no. 37–1, pp. 211–214.
3. Salishchev K.A. (1976) *Kartovedenie* [Map science]. Moscow, MGU Publishing House, p. 438.
4. Kaurichev I.S., Panov N.P., Stratonovich M.V., Grechin I.P., Savich V.I., Ganzhara N.F., Mershin A.P. (1980) *Praktikum po pochvovedeniu* [Workshop on soil science]. Moscow, Kolos Publishing House, p. 272.

5. *Patent RF na izobretenie No. 2611159* [Russian Federation patent on the invention No. 2611159] *Sposob otsenki effektivnosti rekultivatsii posredstvom torfa narushennykh tundrovyykh pochv s razlichnoy polnoy vlagoeimkosti* [Method of evaluation of efficiency of reclamation by peat of disturbed tundra soils with different full moisture capacity] Arno O.B., Arabskiy A.K., Bashkin V.N., Galiulin R.V., Galiulina R.A., Alekseev A.O., Salbiev T.Kh-M., Serebryakov E.P. It is published 21.02.2017. Bull. No. 6.
6. *Patent RF na izobretenie No. 2491137* [Russian Federation patent on the invention No. 2491137] *Sposob kontrolya effektivnosti rekultivatsii narushennykh tundrovyykh pochv razlichnogo granulometricheskogo sostava posredstvom analiza aktivnosti dehidrogenazy* [Method of control of efficiency of reclamation of disturbed tundra soils of different particle-size distribution by analyzing activity of dehydrogenase] Arno O.B., Arabskiy A.K., Bashkin V.N., Galiulin R.V., Galiulina R.A., Makljuk O.V., Pripulina I.V. It is published 27.08.2013. Bull. No. 24.
7. *Patent RF na izobretenie No. 2611165* [Russian Federation patent on the invention No. 2611165] *Sposob otsenki effektivnosti rekultivatsii narushennykh tundrovyykh pochv posredstvom vneseniya mestnogo torfa i gumata kaliya* [Method of evaluation of efficiency assessment of reclamation of disturbed tundra soils by application of local peat and potassium humate]. Arno O.B., Arabskiy A.K., Bashkin V.N., Galiulin R.V., Galiulina R.A., Alekseev A.O., Yamnikov S.A., Nikolaev D.S., Murzagulov V.R. It is published 21.02.2017. Bull. No. 6.
8. Stefanovich G.S (2010) *Ustroystvo i sodержание seyannykh gazonov iz nizovykh zlakov v Ural'skom regione* [The device and maintenance of artificial lawns from local cereals in the Ural region] *Agrarny vestnik Urala* [Agrarian bulletin of the Urals]. No. 11–1 (77), pp. 22–24.
9. Galyamov A.A., Gaevaya E.V., Zakharova E.V. (2015) *Biologicheskaya rekultivatsiya sel'skokhozyaystvennykh zemel' (olen'ikh pastbishch) na poluostrove Yamal* [Biological recultivation of farmlands (cervine pastures) on the Yamal peninsula] *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk state agricultural university]. No. 10, pp. 17–22.
10. *Patent RF na izobretenie No. 2610956* [Russian Federation patent on the invention No. 2610956] *Sposob polucheniya gumata kaliya iz mestnykh torfov Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Method for production of potassium humate from local peats of Yamalo-Nenets autonomous okrug]. Arno O.B., Arabskiy A.K., Bashkin V.N., Galiulin R.V., Alekseev A.O., Galiulina R.A., Mal'tseva A.N., Yamnikov S.A., Nikolaev D.S., Murzagulov V.R. It is published 17.02.2017. Bull. No. 5.
11. Khrenov V.Ya. (2011) *Pochvy kriolitozony Zapadnoy Sibiri: morfologiya, fiziko-khimicheskie svoystva, geokhimiya* [West Siberian soils of cryolithozon: morphology, physical and chemical characteristics, geochemistry] *Nauka* [Nauka Publishing House], Novosibirsk, p. 211.
12. Zhurbitskiy Z.I. (1968) *Teoriya i praktika vegetatsionnogo metoda* [Theory and practice of a vegetative method] *Nauka* [Nauka Publishing House], Moscow, p. 266.

ЭКСПЕРТИЗА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО РЕЕСТРА ЭКСПЕРТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЫ ДЛЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

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

В статье проведен анализ методических подходов к привлечению экспертов научно-технической сферы для научно-технологического и социально-экономического прогнозирования. Обобщен практический опыт методического обеспечения разработки предложений по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в интересах решения социально-экономических задач и обеспечения обороны страны и безопасности государства. Рассмотрены основные методические особенности организации экспертно-аналитических исследований и формирования прогнозных материалов.

Ключевые слова: прогнозирование, методические подходы, экспертное сообщество научно-технической сферы, приоритетные направления развития науки, технологий и техники, экспертно-аналитические исследования.

METHODOLOGICAL ISSUES OF PRACTICAL APPLICATION OF FEDERAL ROSTER OF EXPERTS OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL SPHERE FOR SCIENTIFIC, TECHNOLOGICAL AND SOCIAL AND ECONOMIC FORECASTING

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

In article the analysis of methodical approaches to involvement of experts of the scientific and technical sphere for scientific and technological and social and economic forecasting. The practical experience of a methodological support of development of offers on the priority directions of development of science, technologies and the equipment is generalized for the benefit of the solution of social and economic tasks and ensuring defense of the country and safety of the state. The main methodical features of the organization of expert and analytical researches and formation of expected materials are considered.

Keywords: forecasting, methodological issues, expert community of the scientific and technical sphere, priority directions of development of science, expert and analytical researches.

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» [1] одним из элементов стратегического планирования является прогнозирование. Прогнозирование представляет собой деятельность участников стратегического планирования по разработке научно обоснованных представлений о рисках социально-экономического развития, об угрозах национальной безопасности Российской Федерации, о направлениях, результатах и показа-

телях социально-экономического развития Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований. В законе выделяются три вида прогнозов:

- стратегический прогноз Российской Федерации – документ стратегического планирования, содержащий систему научно обоснованных представлений о стратегических рисках социально-экономического развития и об угрозах национальной безопасности Российской Федерации;

- прогноз научно-технологического развития Российской Федерации – документ стратегического планирования, содержащий систему научно обоснованных представлений о направлениях и об ожидаемых результатах научно-технологического развития Российской Федерации и субъектов Российской Федерации на долгосрочный период;

- прогноз социально-экономического развития Российской Федерации – документ стратегического планирования, содержащий систему научно обоснованных представлений о внешних и внутренних условиях, направлениях и об ожидаемых результатах социально-экономического развития Российской Федерации на среднесрочный или долгосрочный период.

Активное участие в прогнозировании принимает Минобрнауки России в рамках выполнения функций по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере научной, научно-технической и инновационной деятельности и развитию сектора исследований и разработок научно-технологического комплекса Российской Федерации [1].

К научно-технологическому и социально-экономическому прогнозированию по заданиям Минобрнауки России активно привлекаются аккредитованные эксперты Федерального реестра экспертов научно-технической сферы (ФРЭ). Только за последние три года в рамках отмеченных выше содержательных направлений прогнозов был выполнен целый ряд экспертно-аналитических исследований, в том числе разработаны информационно-аналитические материалы с анализом и прогнозом:

- научно-технологических угроз в области государственной, общественной, информационной, экологической, экономической, транспортной и энергетической безопасности;

- развития научно-технического потенциала ведущих иностранных государств;

- развития науки, техники и технологий в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства;

- направлений научных исследований и разработок в интересах решения социально-экономических задач и предложениями в стратегию социально-экономического развития;

- ведущих тенденций развития сферы исследований и разработок и приоритетных направлений исследований и разработок в рамках Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 гг.;

- в рамках «дорожных карт» Национальной технологической инициативы, а также по запросам Фонда развития промышленности и Региональных фондов [2].

Таким образом, одной из предпосылок повышения актуальности исследования и разработки предложений по организационно-методическому обеспечению и развитию интерактивной информационной системы ФРЭ является возрастание роли экспертно-аналитического обеспечения участия Минобрнауки России в стратегическом планировании научно-технической сферы и развития научно-технологического комплекса Российской Федерации. Взаимодействие с экспертным сообществом научно-технической сферы, основанное на использовании современных информационно-коммуникационных технологий, позволяет в оперативном режиме осуществлять профессиональный подбор экспертов для проведения экспертно-аналитических исследований по анализу и прогнозированию всех приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации.

Особенно остро потребность в знании методов прогнозирования и их рациональном применении проявляется в сложившихся экономических условиях.

При формулировании задач, организации и проведении экспертно-аналитических исследований с привлечением экспертного сообщества научно-технической сферы используются различные понятия, входящие в область прогноза, а именно: предсказание, предвидение, прогноз и форсайт. В рамках данной статьи вышеназванные понятия интерпретируются следующим образом:

— предсказание — это выведение описания нового, еще не существующего или еще неизвестного явления из установленного общего положения и начальных условий, вывод о существовании неизвестных ранее фактов, объектов или их свойств, связей между явлениями, сделанный на основе теоретических представлений [3,4]. Формально предсказание представляет собой экстраполяцию прошлого, основанную на фундаментальном предположении о сохранении в будущем всех основных факторов действительности;

— предвидение — это широкое, обоснованное, носящее достоверный характер суждение о будущем, выполненное на базе интуиции, включая разработку возможных вариантов стратегий развития объекта или процесса в будущем. При этом интуиция основана на накопленных знаниях в тематической области и практическом опыте эксперта;

— прогноз — это суждение о возможном состоянии объекта в будущем, путях и сроках его осуществления. При этом прогнозирование — не просто высказывание о завтрашнем дне, а исследование, изучение будущего какого-либо определенного направления развития объекта или явления, интересующего заказчика;

— форсайт — это система предвидения, взгляд в будущее, нацеленный на выявление стратегически и социально важных зон развития. Форсайт представляет собой определенную методологию, суть которой состоит не только в прогнозировании будущего, но и в согласованной выработке решений по поводу будущего. Фактически форсайт решает задачу достижения консенсуса по поводу будущего через согласование интересов различных социальных слоев гражданского общества, в нашем случае экспертного сообщества [5].

Рассмотренные понятия определяют методические подходы к формированию экспертных пулов в сети экспертов научно-технической сферы, выбору инструментов их взаимодействия, процедурам оценки результатов экспертно-аналитических исследований, и в конечном итоге культуру прогнозирования.

С точки зрения методологии формирования качественного состава экспертных пулов для проведения экспертно-аналитических исследований в рамках приведенных выше трех видов прогнозов представляют интерес разновидности прогнозирования, как видов деятельности по формированию прогнозов, которые можно представить в следующем виде:

— экономическое прогнозирование, носящее преимущественно общий характер и предназначенное для описания состояния и развития экономики страны или региона, по конкретным социально-экономическим направлениям и задачам;

— прогнозирование научно-технологического развития, направленное на оценку перспектив развития технологий и создаваемых на их основе инновационных продуктов;

— прогнозирование состояния рынка, используемое для анализа изменения спроса на инновационную продукцию и услуги в различных сегментах рынка;

— социально-гуманитарное прогнозирование, отражающее мотивацию и отношение людей к различным общественным и социально-экономическим явлениям.

Рассмотренные разновидности прогнозов и прогнозирования, как вида деятельности по их формированию, реализуются при активном участии экспертов ФРЭ в форме предложений по приоритетным направлениям научных исследований и разработок (ПНР) в интересах решения социально-экономических задач и других задач, включающих:

— приоритетные научные и организационные направления;

— темы исследований и разработок;

— технологические возможности, ожидаемые в результате реализации приоритетных научных задач;

– технический облик важнейших инновационных продуктов с прогнозируемыми сроками их появления на рынке [2].

Остановимся на методической стороне функционирования ФРЭ, позволяющей реализовать его принципы и достигать результатов экспертно-аналитических исследований и, при этом, не являющейся строго структурированной и формализованной. Методический инструментарий прогнозирования в ФРЭ включает в себя существующие в разных науках и прикладных сферах методы выработки знаний, как традиционные методы прогнозирования, анализа и выработки идей, так и разработанные в ходе проведения экспертно-аналитических исследований новые креативные подходы. Основные методические подходы к прогнозированию, которые используются в ФРЭ, отражают его разные функции – аналитическую (анализ существующей ситуации), экспертную (оценку состояния и направлений развития), прогнозную (прогнозирование тенденций), креативную (выработку новых идей). Отдельно выделяется ряд методов, обеспечивающих взаимодействие экспертов с информационной системой ФРЭ в режиме удаленного доступа.

В целом, методология прогнозирования в ФРЭ базируется на двух подходах: нормативном и эксплоративном (поисковом) [6]. Нормативный подход определяет пути и сроки достижения возможного состояния прогнозируемого направления, принимаемого в качестве цели, и использует методы, основанные на качественной информации. В частности, в ФРЭ применяется метод экспертных панелей, ориентированный в основном на работу с качественной информацией, получаемой непосредственно от экспертов. При этом качественная информация, как правило, представляется в виде вербальных описаний и сравнительных оценок альтернативных вариантов, в которых эксперты пробуют установить общедоступное видение будущего и идентифицировать пути, которыми оно могло бы быть достигнуто. В эксплоративном подходе определяется возможное или ожидаемое состояние прогнозируемого направления в будущем на основе тенденций его развития в прошлом и настоящем, абстрагируясь от возможных решений или действий, которые способны радикально изменить тенденции. При этом используются методы, базирующиеся на анализе эмпирических данных, в которых предпочтение отдается количественной информации.

Подбор методов для конкретных экспертно-аналитических исследований индивидуален в зависимости от целей, а также финансовых условий. Как правило, используется сочетание рассмотренных подходов. Примером является использование интуитивных методов (сценариев или экспертных кривых), позволяющих определять наметившиеся тенденции изменения ситуации, базируясь не только на эмпирических данных, но и на опыте высококвалифицированных экспертов.

Группа методов экспертных оценок предполагает учет субъективного мнения экспертов о будущем состоянии направления научно-технологического развития. При этом экспертные оценки разделяются на индивидуальные и коллективные. К индивидуальным экспертным оценкам, наиболее часто используемым в ФРЭ, относятся экспресс-опросы экспертов и аналитические документы. Коллективные экспертные оценки формируются методом проведения форумов.

Опросы общественного мнения в большинстве случаев требуют больших выборок для того, чтобы избежать смещения оценок. Поэтому в экспресс-опросах, организуемых в ФРЭ, принимают участие от 100 до 500 экспертов научно-технической сферы. При этом респонденты опираются в своих суждениях на собственные знания в прогнозируемой области. Характер результатов такого рода опросов приближается к тому, что экономисты называют рациональным ожиданием. Разновидностью экспресс-опросов являются интервью в режиме удаленного доступа, в качестве инструмента формальных консультаций и аккумуляции знаний, которыми обладают эксперты. При этом под интервью подразумевается сбор структурированных данных в рамках заданной темы, позволяющих извлечь ранее не документированные или не облеченные в письменную форму, но «подразумеваемые экспертом» зна-

ния. Такие данные можно оперативно получить от экспертов, и, только в ряде отдельных случаев, анализируя огромные объемы специальной литературы.

Такого рода экспресс-опросы в виде форумов включают обратную связь в форме обмена мнениями в режиме удаленного доступа, что можно считать, в определенной мере, экспертными панелями, используемыми в опросах по методу Дельфи. Метод Дельфи применяется не только в экспертных исследованиях приоритетных направлений развития, но и в широко используемых в последнее время Форсайтах.

Метод экспертных панелей в режиме удаленного доступа предполагает систематическое или периодическое получение информации от экспертов о состоянии дел и тенденциях развития научных и технологических направлений с учетом сложившейся и прогнозируемой ситуации на рынке. Эффективное исследование обеспечивается количественным и позиционным разнообразием экспертной панели. Группам экспертов предлагается в течение нескольких месяцев обдумать возможные варианты научно-технологического развития в заданной тематической области, используя аналитические и информационные материалы и разработки, в том числе, содержащиеся в библиотеке документов ФРЭ. Метод экспертных панелей в режиме удаленного доступа в виде форума обеспечивает открытость процесса прогнозирования для десятков и даже сотен экспертов научно-технической сферы. Его основным преимуществом является возможность взаимодействия между экспертами – представителями различных научных дисциплин и областей деятельности в режиме практически реального времени, трудно организуемом в иных условиях. В ряде случаев панели формируются для выработки исходной информации для прогнозирования или интерпретации полученных аналитических документов. Метод может с успехом дополнять подходы, применяемые в Форсайте, в частности, сбор и анализ информации, построение сценариев, формулирование будущих приоритетов и выработка рекомендаций.

Определенный интерес для организации экспертно-аналитических исследований в рамках ФРЭ представляет модифицированный метод «прогноза гения», который предполагает формирование образа будущего, основанного на опыте и знаниях высококвалифицированного эксперта в предметной области, его интуиции и творческом потенциале. Применение данного метода для разработки информационно-аналитических материалов по приоритетным направлениям научных исследований и разработок в интересах решения социально-экономических и других задач позволяет выявить нетривиальные тенденции, отличные от простой экстраполяции трендов. В результате применения данного метода формируются варианты развития научно-технологических направлений, основанные на представлениях одного специалиста в данной тематической области. При этом в рамках ФРЭ выделяются три этапа реализации «прогноза гения» при формировании аналитических документов:

- подбор экспертов на основе персональных данных, содержащихся в информационной системе ФРЭ, которые, по мнению организатора исследований, обладают соответствующими компетенциями для прогноза;
- разработка аналитического документа, содержащего взгляды отобранного эксперта на возможные направления развития;
- обобщенные предложения по приоритетным направлениям научных исследований и разработок, содержащие несколько возможных, по мнению экспертов, сценариев.

Как показал опыт применения метода «прогноза гения», он требует относительно невысоких денежных и временных затрат, что делает его доступным в рамках ФРЭ. Кроме того, данный метод позволяет выявить необычные, связанные с индивидуальным взглядом эксперта, решения, что приносит дополнительные преимущества при всестороннем рассмотрении и формировании приоритетных направлений научных исследований и разработок.

Модифицированный «прогноза гения» предполагает использование метода профилирования, который включает исследование, анализ, мониторинг и систематизированное описание экспертами технологического, экономического, социального, политического и экологи-

ческого аспектов рассматриваемого тематического направления. Используемые в рамках ФРЭ методики профилирования в форме шаблонов аналитических документов содержат систематизированные формализованные приемы поиска и каталогизации информации, в том числе: анализ литературы, поиск информации в Интернете, библиометрический и патентный анализ. Метод профилирования широко используется при анализе состояния и прогнозировании развития научно-технического потенциала ведущих иностранных государств и разработке предложений по приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации в интересах обороны и обеспечения безопасности государства. Разработка аналитических документов заказывается ученым и специалистам, компетентным в тематической области, имеющим опыт и возможности мониторинга научной информации и средств массовой информации.

Привлечение экспертного сообщества научно-технической сферы к формированию приоритетных направлений научных исследований и разработок опирается на использование методических инструментов «сканирования горизонтов». Использование методологии сканирования горизонтов при проведении экспертно-аналитических исследований в рамках ФРЭ позволяет: учесть как можно больше экспертных мнений на возможное развитие направления, выявить свежие взгляды на ситуацию, не упустить изменения, новые тренды и ранние сигналы возможных перемен. В случае ФРЭ эксперты из научных и образовательных организаций и центров компетенции имеют более полное представление о значимых технологических трендах, влияющих на будущее, а значит, и на научно-исследовательские программы в области их компетенции. При этом временной горизонт и уровень детализации сканирования определяются конкретными задачами исследований и составляет, как правило, 10–15 лет. Использование результатов сканирования горизонтов экспертами ФРЭ позволяет заказчику выявить возможные пробелы и повысить эффективность тематического планирования исследования и разработок в рамках целевых программ.

Развитие Интернета и новых программных средств работы с большими данными предъявляет дополнительные требования к функциям экспертов, привлекаемых для проведения экспертно-аналитических исследований. В некоторых областях, например при анализе состояния и прогнозе развития научно-технического потенциала ведущих иностранных государств в сфере обеспечения обороны и безопасности, особенно важна способность эксперта улавливать слабые сигналы. Поэтому экспертам необходимы навыки эффективного глубокого анализа текстов и работы с вики-ресурсами и блогами с использованием, как автоматизированных инструментов, так и ручного сканирования, хотя большинство экспертов считают обе категории компетенций взаимодополняющими.

В рамках реализации инструментов сканирования в ФРЭ осуществляются следующие мероприятия:

- обсуждение сотрудниками ФРЭ с экспертами направлений исследований, где могут использоваться итоги сканирования;
- анализ общедоступных баз данных и средств доступа в целях сбора информации о сканируемом тематическом направлении;
- сбор сведений, полученных в ходе экспертного анализа приоритетных направлений развития.

На повестке дня стоят вопросы создания базы данных результатов сканирования горизонтов и повышения информированности заинтересованных федеральных органов исполнительной власти и научной общественности о результатах сканирования горизонтов.

Таким образом, «ниша» ФРЭ состоит в проработке видения тех сфер, которые наиболее важны для государства, отрасли или региона и выбраны для прогнозирования на первой стадии его проведения. Результаты экспертного анализа приоритетных направлений исследований и разработок (ПНР) могут с успехом использоваться для формирования различных видов прогнозов. Сформированные ПНР могут детализировать вопросы развития социаль-

но-экономической сферы, а также сферы науки, технологий и техники, как в гражданской области, так и в области обеспечения обороны и безопасности государства. Кроме того, сформированные ПНР оказывают положительное влияние на расширения круга участников (стейкхолдеров), вовлеченных в разработку прогнозов, совершенствуют методологию и технологию разработки прогнозов, включая систему методов активного привлечения экспертного сообщества научно-технической сферы.

Работа выполнена в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания по проекту № 2.4259.2017/НМ.

Список литературы

1. О стратегическом планировании в Российской Федерации: федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ (ред. от 03.07.2016). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 31.03.2017).
2. Аналитические материалы ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ [Электронный ресурс] / Федеральный реестр экспертов научно-технической сферы. Available at: <https://reestr.extech.ru/docs/analytic> (дата обращения: 15.04.2017).
4. Словарь по логике [Электронный ресурс] / Национальная философская энциклопедия. Available at: <http://terme.ru/slovari/slovar-po-logike.html>, свободный (дата обращения: 15.04.2017).
5. Калюжнова Н.Я. Сущность, содержание и методология форсайта // Форсайт как инновационный инструмент формирования перспективной конкурентоспособности страны и региона в условиях глобализации: Матер. Первой Всероссийской Интернет-конференции. Октябрь, 2006. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2007.
6. Константиновская Л.В. Прогнозирование [Электронный ресурс]. Available at: <http://www.astro-nom2000.info/прогнозирование> (дата обращения: 19.04.2017).

References

1. On strategic planning in the Russian Federation: the Federal Law dated June 28, 2014 No. 172-FZ (as amended on 03.07.2016). Access from the legal system «Consultant Plus» (the date of circulation: 31.03.2017).
2. Analytical materials of the SRI FRCEC [Electronic resource]. Federal Roster of Experts in the scientific and technological sphere. Available at: <https://reestr.extech.ru/docs/analytic> (reference date: April 15, 2017).
4. Dictionary of logic [Electronic resource]. National Philosophical Encyclopedia. Available at: <http://terme.ru/slovari/slovar-po-logike.html>, free (date of circulation: 15/04/2017).
5. Kalyuzhnova N.Y. (2007) Essence, content and methodology of foresight. Foresight as an innovative tool for the formation of the perspective competitiveness of the Country and the Region under the conditions of globalization: Papers of The First All-Russian Internet Conference. October, 2006. Irkutsk: Publishing house of the ISU.
6. Konstantinovskaya L.V. (2017) Forecasting [Electronic resource]. Available at: <http://www.astro-nom2000.info/prognosis> (date of circulation: 19/04/2017).

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗА ПОДСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

А.И. Кобрунов, проф. каф. ГМИС ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», д-р физ.-мат. наук, aikobrunov@gmail.com

Создана математическая модель экспертной оценки достоверности прогноза параметров месторождений на основе принципов формирования нечеткой петрофизической модели месторождения и правила нечеткого логического вывода. Дано описание способов построения компонент нечеткой петрофизической модели, и, прежде всего, функций принадлежности для отношений между геофизическими и фильтрационно – емкостными (промысловыми) параметрами. Теоретические результаты нашли отражение в методе прогноза достоверности параметров тестируемой модели.

Ключевые слова: математическая модель, достоверность прогноза, экспертная оценка, функция принадлежности, нечеткая петрофизическая модель, нечеткий логический вывод, распределение достоверности.

MATHEMATICAL MODELS OF EXPERT EVALUATION OF THE RELIABILITY OF THE FORECAST OF ESTIMATED PARAMETERS AND RESERVES OF HYDROCARBON DEPOSITS

A.I. Kobrunov, Professor, Federal State Budget Educational Institution «Ukhta State Technical University», Ph.D. of Physics and Mathematics, aikobrunov@gmail.com

A mathematical model of expert evaluation of reliability of the forecast of parameters of deposits is created on the basis of principles of formation of fuzzy petrophysical model of a deposit and a rule of fuzzy logic conclusion. A description is given of methods for constructing components of a fuzzy petrophysical model and, first of all, membership functions for relations between geophysical and filtration – capacitive (fishing) parameters. Theoretical results are reflected in the method of predicting the reliability of the parameters of the model being tested.

Keywords: mathematical model, forecast reliability, expert evaluation, membership function, fuzzy petrophysical model, fuzzy inference, reliability distribution.

Основными подсчетными параметрами для оценки запасов месторождений углеводородов служат структурно-тектоническая, фациальная модель месторождения и модель его фильтрационно – емкостных параметров. Структурно-тектоническая и фациальная модели, определяют объекты и геометрию компонентов модели, требующих независимого расчета. В настоящей работе рассматриваются прогноз и оценка фильтрационно емкостных параметров, распределение которых вносит основной вклад в изменчивость подсчетных параметров в пределах выделенных объектов. Основным источником информации о фильтрационно – емкостных параметрах месторождения, включающих в себя коллекторские свойства (включая характер порового пространства) и характер флюидонасыщения, служат данные геофизических исследований скважин (ГИС), обеспеченных должной петрофизической основой [1, 2].

Как известно, геофизическими параметрами, служащими основой для прогноза фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) служат: удельное электрическое сопротивление, скорость распространения упругих волн, плотность, интенсивность радиоактивного излучения и другие. Сам прогноз осуществляется с помощью установленных в лабораториях петрофизических зависимостей между геофизическими и фильтрационно-емкостными параметрами (пористость, проницаемость, характер флюидонасыщения и т.д.), входящими в петрофизическую модель коллектора. Система петрофизических моделей коллекторов, характерных для рассматриваемого месторождения образует петрофизическую модель месторождения.

Петрофизическая модель коллектора — это установленная зависимость между геофизическими параметрами, петрофизическими свойствами коллектора, определяемыми по данным ГИС, и литологическими, фильтрационно-емкостными свойствами.

Физико-аналитическая петрофизическая модель чаще всего представляет собой интегродифференциальное уравнение относительно параметров упаковки элементов (зерен) коллектора, его физических свойств. Типичным примером такой модели служит модель Дахнова — Арчи [3], связывающая водонасыщенность, пористость, удельное электрическое сопротивление пластовой воды и пласта и включающая в себя подлежащие определению из экспериментальных данных параметры. Физико-аналитическая модель отражает усредненные уравнения, обеспечивающие нахождение свойств коллектора по данным ГИС. Она содержит большое число параметров, не поддающихся строгому вычислению на основе экспериментальных данных, таких как извилистость порового канала, толщина слоя связанной воды, параметр электрической извилистости или коэффициент формы сечения поровых каналов. По сути, эти модели включают в себя параметры и аналитические выражения, допускающие высокую степень вариабельности зависимостей. Эти параметры должны быть подобраны из экспериментальных данных. В таком виде зависимости, лежащие в основе петрофизической модели, представляют собой параметрически заданное выражение для уравнения регрессии. Найденные параметры зачастую имеют весьма отдаленное отношение к заявляемому физическому смыслу, которым нагружен параметр регрессии. Причиной этому служит возможная компенсация невязок между экспериментальными данными и теоретическими моделями, описываемыми комплексом параметров. Роль каждого из параметров в суммарной невязке определена выбранным алгоритмом минимизации, лежащим в основе метода регрессии. В условиях, когда число параметров более двух, возникает взаимное влияние компенсируемых эффектов и возможное отнесение компонент невязок одного параметра к невязкам другого. Разделить эту невязку на взаимонезависимые компоненты чаще всего не удастся.

Корреляционно-регрессионные модели представляют собой регрессионные зависимости, сопровождаемые оценкой их тесноты. Они строятся на основании имеющихся представительных выборок экспериментальных данных, обеспечивающих корректный поиск параметров корреляционных связей по данным: керн — керн ($k - k$); геофизика — керн ($g - k$); геофизика — гидродинамика ($g - g_d$); геофизика — геофизика ($g - g$). Корреляционно-регрессионные модели служат основой подбора параметров физико-аналитических петрофизических моделей.

При построении регрессионных уравнений априори принимается их параметрическое представление в форме аналитической модели с подлежащими определению параметрами. Эта модель формируется на основе физико-аналитической петрофизической модели или на визуальном анализе данных, и им соответствующего *полигона рассеяния* — графического изображения поля точек, соответствующих измеренным величинам в фазовом пространстве изучаемых параметров. Построенная модель обязательно сопровождается оценкой меры тесноты и достоверности связи между найденной регрессионной зависимостью и исходным полигоном. Этот этап требует отдельных и самых тщательных рассмотрений.

Найденные регрессионные зависимости используются для прогнозирования одних параметров по измеренным другим. Другие, в свою очередь, также служат для прогнозирования следующего этажа параметров. Так, определенные на основе регрессионного анализа пара-

метры уравнения Дахнова—Арчи определяют параметр водонасыщенности, который далее используется как данные регрессионного уравнения с компонентами фильтрационно-емкостной модели. Погрешности в используемых связях, как и собственно разброс самих измеренных данных, передаются в форме неопределенностей к итоговому прогнозируемому параметру и накапливаются по мере удлинения цепочки прогноза. Важно знать — какова неопределенность итогового прогноза, связанная со всей цепочкой участвующих в прогнозе преобразований. Эта информация необходима для снижения технико — экономических рисков, связанных с принятием ошибочных управленческих решений при формировании проекта разработки и доразведки месторождения. Следует иметь возможность пересчитывать неопределенности в данных и зависимостях в итоговую неопределенность прогнозных параметров. Корреляционно-регрессионные же модели не обеспечивают такой возможности.

Петрофизические модели на основе экспертных правил представляют собой систематизированные и оформленные в виде решающих правил заключения экспертов о физико-геологических параметрах, на основе совокупности количественных оценок и качественных сопоставлений измерений разнородной геофизической и гидродинамической информации, а также особенностей строения региона. Экспертные правила носят локальный характер и относятся только к тому объекту или группе объектов, на который распространяется квалификация экспертов. В определенных условиях экспертные заключения даже высоко квалифицированных экспертов могут носить противоречивый характер. Это происходит в частности потому, что эксперты придерживаются альтернативных геологических гипотез о генезисе изучаемого объекта. В этой ситуации «осреднение» заключений экспертов недопустимо. К экспертным правилам относится формирование заключений о характере флюидонасыщения по сопоставлению комплекса разнородных параметров. Например таково заключение о кондиционных, граничных значениях насыщения по данным электрических методов.

Нечеткие петрофизические модели основаны на представлении полигонов рассеяния экспериментальных данных в фазовом пространстве параметров, как реализации нечетких величин, описываемой функцией принадлежности и нечеткого отношения между системой физико-геологических параметров. Причина, по которой параметры и связи между ними следует рассматривать как нечеткие величины, состоит в эффекте рассеяния значений параметров, необъясняемом погрешностями и ошибками. Нечеткость параметров оказывается в «природе вещей», и связана с неоднородностью изучаемых объектов относительно рассматриваемых параметров, выражая их в форме количественных оценок достоверности. Неоднородность и рассеяние данных приводит к отказу в установлении связи между параметрами в форме корреляционных зависимостей и введения как альтернативы им нечетких отношений $\mu(x,y)$ между параметрами $\{x,y\}$. Функция принадлежности $\mu(x,y)$ для параметров $\{x,y\}$ имеет смысл возможности, достоверности их совместного появления. Таким образом, связь между параметрами в нечеткой петрофизической модели устанавливается указанием достоверности значений параметров, для которых эта связь устанавливается. Это позволяет в конечном итоге прогнозировать достоверность итоговых построений на основе распределений достоверности исходных данных и связей между параметрами. Сам прогноз реализуется в форме нечеткой модели для распределения параметра, в котором для каждой пространственной точки описывается распределение возможных значений с оценкой их достоверности. Отрицательной стороной такого подхода является необходимость хранения и оперирования большим объемом информации, а также его нетрадиционностью. Однако, этот объем данных и вычислений даже для «канцелярских» ПК не является существенным. Нетрадиционность компенсируется высокой степенью наглядности и возможностью получать для каждого прогнозного параметра распределение его достоверности по возможным значениям. Следствием этого служит то обстоятельство, которое имеет исключительно большое самостоятельное значение, что построенные нечеткие модели позволяют проверить на обеспеченность исходной информацией выполненных построений и, тем самым, выполнять

экспертизу на уровень доверия независимо построенных геологических моделей. Эта экспертиза, основанная на отражении реальной нечеткости всех компонент петрофизической модели, является объективной информационной экспертизой компонент анализируемой физико-геологической модели по степени их информационной обеспеченности данными и взаимосвязями между участвующими в прогнозе параметрами. Она является объективной и независимой, поскольку опирается только на исходные данные и взаимосвязи, исключая субъективные, даже, возможно, убедительные, но внешние относительно реальной информации суждения. Дополнительно такая экспертиза позволяет обеспечить анализ многовариантности построенных геологических моделей с дифференцированной оценкой достоверности вариантов прогноза и обеспечить управление рисками в принятии технологических и управленческих решений. Создание математической модели экспертной оценки достоверности прогноза подсчетных параметров и запасов месторождений углеводородов на основе нечетких петрофизических моделей составляет один из предметов настоящей работы.

Экспертная оценка достоверности прогноза подсчетных параметров состоит в сравнительной оценке достоверности, отражающей реальный объем и качество объективной информации, лежащей в основе построения значения прогнозируемого параметра в каждой точке v пространства V , в котором сконструирована модель. Экспертируемых моделей может быть несколько, и технология экспертных оценок позволяет установить между компонентами иерархию по мере достоверности.

Математическая модель экспертной оценки результатов прогноза подсчетных параметров основана на трех принципах:

1. Создание нечеткой петрофизической модели как системы нечетких связей (отношений) между нечеткими же параметрами, по которым выполняется прогноз (геофизические параметры) и прогнозируемыми параметрами (литологические, фильтрационно-емкостные).

2. Прогнозирование параметров, выполняемого на основании правил нечеткого логического вывода о подсчетных параметрах, как нечетких величинах на основе нечеткой петрофизической модели и измеренных геофизических параметров.

3. Создание на основе 1 и 2 информационного оператора $\mu[\xi(v)]$, отображающего каждую распределенную в пространстве экспертируемую модель $\xi(v)$, $v = \{x, y, z\}$ подсчетных параметров в пространственно распределенное в области V поле достоверности $\mu[\xi(v)]$; $0 \leq \mu[\xi(v)] \leq 1$ компонент экспертируемой модели в каждой точке пространства. Величина $\mu[\xi(v)]$, характеризует уровень доверия значению параметра ξ в каждой точке $v \in V$, и является итогом построения математической модели экспертной оценки для $\xi(v)$.

Нечеткая петрофизическая модель конструируется на основе синтеза нечетких отношений, реализующих данные, выраженные в полигонах рассеяния между геофизическими и прогнозными параметрами. Это традиционные для прогнозных задач данные. Синтез реализуется на основе алгебры нечетких величин, заданных своими функциями принадлежности. Будем далее обозначать нечеткую переменная именем s . Она имеет свою область определения D_s из некоторого более широкого множества X , полностью характеризуется своей функцией принадлежности $\mu_{\mathcal{A}}(s), \mu_{\mathcal{M}}(s), \dots, \mu_{\mathcal{N}}(s)$; $\mu(s): 0 \leq \mu(s) \leq 1$. На одном и том же множестве, может быть определено две либо более нечеткие переменные, с маркированными должным образом функциями принадлежности индексом ($\mathcal{A}, \mathcal{M}, \dots$) уточняющим к каким данным она относится. На множестве функций принадлежности определены алгебраические операции (max – min алгебра):

– Пересечение (логическое «И») $\mu_{\mathcal{A}}(s) \wedge \mu_{\mathcal{M}}(s) = \min [\mu_{\mathcal{A}}(s), \mu_{\mathcal{M}}(s)]$;

– Объединение (логическое «ИЛИ») $\mu_{\mathcal{A}}(s) \vee \mu_{\mathcal{M}}(s) = \max [\mu_{\mathcal{A}}(s), \mu_{\mathcal{M}}(s)]$;

– Разность $\mu_{\mathcal{A}}(s) = \{\mu_{\mathcal{A}}(s) - \mu_{\mathcal{M}}(s)\}$, $\mu_{\mathcal{A}}(s) \geq \mu_{\mathcal{M}}(s)$;

– α сечение нечеткой переменной – это подмножество. Величина α лежит в интервале $[0, 1]$ $\Omega_{\alpha > 1}(\mu(s)) = \emptyset$, s – многомерная переменная, произвольной размерности, но чаще всего одномерная s_2 .

Импликация двух или более нечетких переменных s_1, s_2 , характеризующихся функциями принадлежности $\mu(s_1), \mu(s_2)$, в функцию нескольких переменных рассчитываемую по правилу $\mu(s_1, s_2) = \min [\mu(s_1), \mu(s_2)] = \mu(s_1) \wedge \mu(s_2)$.

Конструкция нечеткого отношения между параметрами s_1, s_2 формируется на основе полигона данных $\mathfrak{A}$, образованного значениями $s^i = \{s_1^i, s_2^i\}$, $i = 1 \div M$.

Поле рассеяния для данных $s^i \in S$, $i = 1 \div M$ называется функция $\mathfrak{A}^\varepsilon(s)$ в фазовом пространстве переменных s_1, s_2 , такая, что для каждой подобласти $\Delta_j S$ из разбиения S :

$$\begin{aligned} \max_{\Delta_j S \in S} |\mathfrak{A}^\varepsilon(s) \Delta_j S - \mathfrak{A}(\Delta_j S)| &\leq \varepsilon \\ s \in \Delta_j S; \bigcup_{j=1 \div J} \Delta_j S &= S. \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathfrak{A}(\Delta_j S)$ — число значений из $\mathfrak{A} \subset S$, целиком лежащее в $\Delta_j S$.

Функция принадлежности для измеренных значений параметров $s \in S$, как нечетких величин есть нормированное к единице поле рассеяния $\mathfrak{A}^\varepsilon(s)$:

$$\mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s) = \frac{\mathfrak{A}^\varepsilon(s)}{\max_s [\mathfrak{A}^\varepsilon(s)]}. \quad (2)$$

Число разбиений J , зависит от выбранной точности аппроксимации ε , и увеличивается с уменьшением значения этого параметра.

На рис. 1Б и Г приведен пример представления данных $\mathfrak{A}$ — «пористость по ГИС — пористость по керну» (см. рис. 1А), и $\mathfrak{M}$ — «пористость по керну — нефтенасыщенность» (см. рис. 1В) в форме функций принадлежности для отношения между параметрами, полученными по формуле (2).

В приведенном примере для прогнозирования нефтенасыщенности по пористости, определяемой по ГИС, следует исключить промежуточный параметр, в данном случае — пористость по керну. Традиционно это делается путем подстановки уравнений регрессии (красная линия на рисунках слева) и исключения за счет такой подстановки промежуточного параметра. Но уже здесь видно, насколько некорректна такая операция, поскольку реальное рассеяние, связанное с неоднородностью коллектора при такой подстановке заменяется некоторым вымышленным уравнением. Оперирование нечеткими переменными, позволяет сконструировать корректную подстановку на основе правила композиции нечетких отношений:

$$\mu_{\mathfrak{A} * \mathfrak{M}}^\varepsilon(s_1, s_3) = \max_{s_2} \left[\min \left\{ \mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s_1, s_2), \mu_{\mathfrak{M}}^\varepsilon(s_2, s_3) \right\} \right] \quad (3)$$

Это общее правило подстановки для нечетких переменных — аналогичное подстановке уравнений в обычных четких величинах.

После выполнения операции композиции функция принадлежности между параметрами «пористость по ГИС — нефтенасыщенность», примет вид, представленный на рис. 1Д.

Приведенное отношение как функция принадлежности для пар переменных (s_1, s_3) — «пористость по ГИС — нефтенасыщенность» в большей степени отражает реальное положение дел и одновременно дает оценку достоверности для каждой пары одновременного появления возможных значений этих переменных.

Нечеткие отношения $\mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s_i, s_j)$ — это дискретно определенные модели поля рассеяния данных, выраженные в форме значений функций принадлежности. В реальных условиях число элементов может быть достаточно велико. Снизить размерность можно за счет перехода от поля рассеяния к его источникам за счет введения аппроксимаций для функций принадлежности.

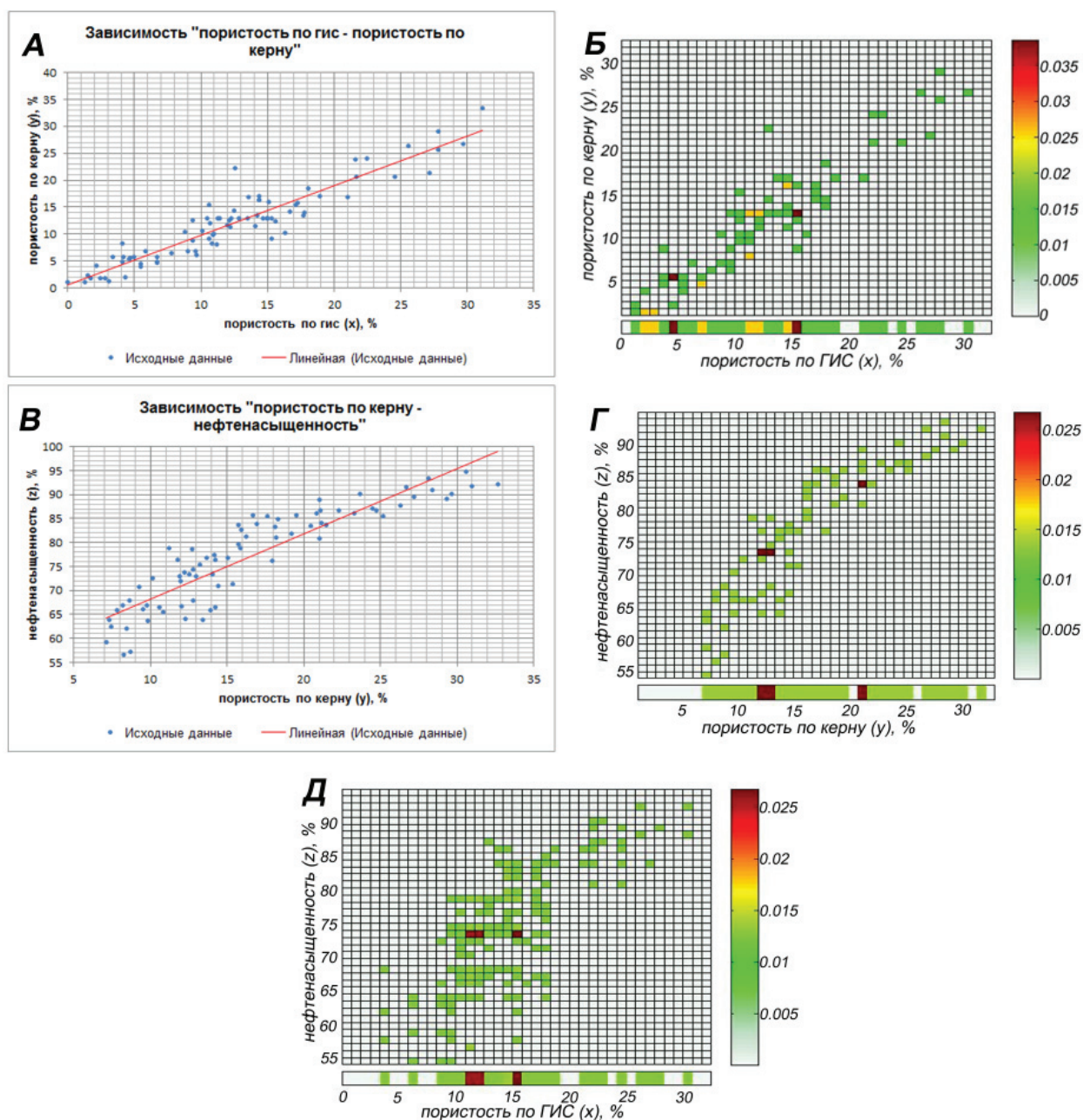


Рис. 1. Сопоставление полигона данных $\mathcal{A}$, $\mathcal{M}$ (А, В) связи между параметрами и их представлениями в форме функций принадлежности $\mu_{\mathcal{A}}^{\varepsilon}(s_1, s_2)$ и $\mu_{\mathcal{M}}^{\varepsilon}(s_1, s_2)$ (Б, Г); нечеткое отношение $\mu_{\mathcal{A} \cdot \mathcal{M}}^{\varepsilon}(s_1, s_3)$ – «пористость по ГИС – нефтенасыщенность» (Д), на Б, Г, Д – справа изображена шкала достоверности, снизу – легенда по максимальным значениям по оси Y на выбранном интервале по X

Будем считать, что функция принадлежности $\mu_{\mathcal{A}}^{\varepsilon}(s_i, s_j) = \mu_{\mathcal{A}}^{\varepsilon}(s)$ может быть аппроксимирована рядом:

$$\mu^{\varepsilon}(s) = \sum_{k=1}^K \varphi(s_k) K(s_k, s) \quad (4)$$

Здесь: s_k координата центра элемента $\Delta_k S$ из $\Delta_j S$, $j = 1 \div J$ разбиения; $0 \leq \varphi(s_k) \leq 1$ вес этого элемента. Значения $\varphi(s_k)$, имеют смысл плотности источника для поля рассеяния $\mathfrak{A}^\varepsilon(s)$, сконцентрированного в ячейке $\Delta_k S$ при использовании аналитической аппроксимации $K(s_k, s)$; $K(s_k, s)$ – вклад в поле рассеяния в точке s источника с плотностью $\varphi(s_k)$ в точке s_k . Пользуясь (4), сформулируем задачу нахождения наименьшего числа K и соответствующих s_k , $\varphi(s_k)$, при которых погрешность аппроксимации не превосходит ε :

$$\left\| \mu^\varepsilon(s) - \sum_{k=1}^K \varphi(s_k) K(s_k, s) \right\|_X \leq \varepsilon; \quad (5)$$

$$K \rightarrow \min.$$

Найденная $\varphi(s_k)$ называется плотностью источников поля рассеяния, а восстановленная по правилу (4) функция принадлежности служит основным расчетным элементом для последующих операций с функциями принадлежности при прогнозе параметров. Для примера, плотность источников для $\mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s_1, s_2)$; $\mu_{\mathfrak{M}}^\varepsilon(s_2, s_3)$, приведенных на рис. 1Б, Г и Д таковы:

$$K(s_k, s) = \frac{1}{\xi \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{|s_k - s|^2}{2\xi^2} \right].$$

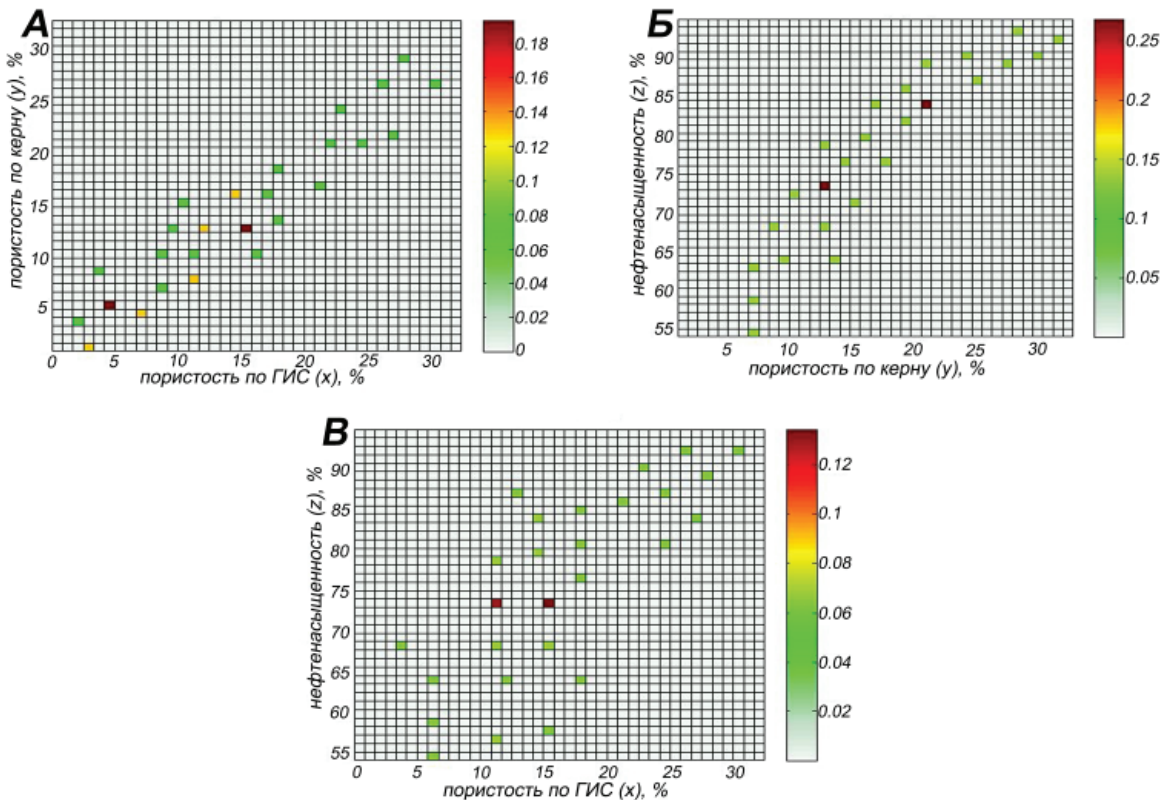


Рис. 2. Сопоставление плотности источников $\mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s_1, s_2)$; $\mu_{\mathfrak{M}}^\varepsilon(s_2, s_3)$; $\mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s_1, s_2)$ (справа – шкала значений в источниках)

Важно отметить еще следующее обстоятельство. Выбор аппроксимационных элементов, если они близки по характеру убывания и форме кривой в окрестности максимума, не сильно влияют на найденную плотность. Так, например, для исходных данных — полигон рассеяния, изображенный на рис. 3А и ему соответствующего поля рассеяния (см. рис. 3Б) в зависимости от выбранной аналитической аппроксимации $K(s_k, s)$, получаются графически неотличимые результаты (см. рис. 3В и Г).

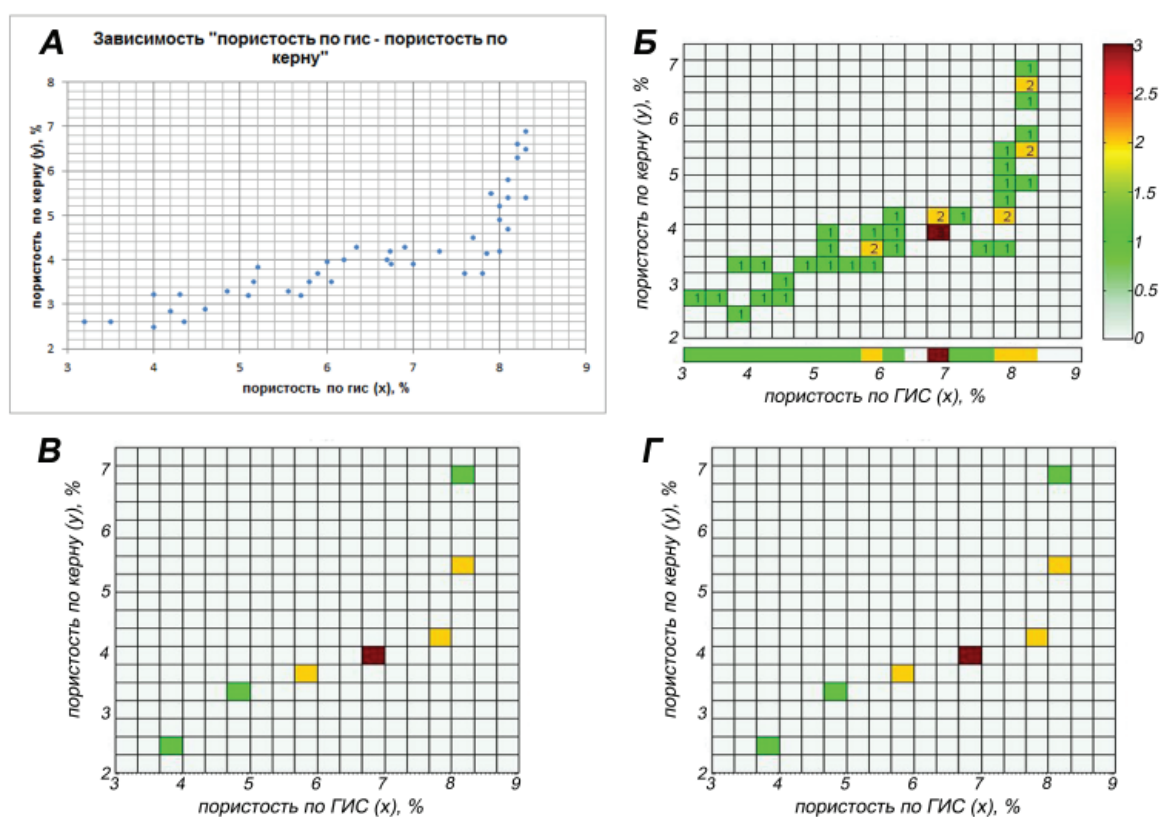


Рис. 3. Полигон исходных данных (А) и поле рассеяния (Б), плотность источников для аналитических аппроксимаций $K_1(s_k, s)$ (В) и $K_2(s_k, s)$ (Г); на Б справа изображена шкала достоверности, снизу — легенда по максимальным значениям по оси Y на выбранном интервале по X

$$K_1(s_k, s) = \frac{\xi}{|s - s^j|^2 + \zeta^2}; \quad K_2(s_k, s) = \frac{1}{\xi\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{|s_k - s|^2}{2\zeta^2}\right].$$

Здесь ζ — подбираемый параметр, ответственный за локализацию $K_k(s_k, s)$. Такая близость результатов связана с тем, что при определенных параметрах локализации кривые $K_i(0, s)$ с высокой точностью совпадают между собой, различаясь в производных. Отсюда, делается вывод о возможности использования $K_2(s_k, s, \zeta)$ в практических вычислениях функции принадлежности по формуле:

$$\mu_{\text{эл}}(s, \zeta) = \sum_{k=1}^K \varphi(s_k) K(s_k, s, \zeta). \quad (6)$$

Индекс $\mathfrak{A}$ указывает на то, что функция принадлежности построена для данных с именем $\mathfrak{A}$. Переменную — параметр локализации для краткости будем опускать. Он появится вновь в процедурах интерполяции.

Зависимость функции принадлежности от параметра локализации изображена на рис. 4.

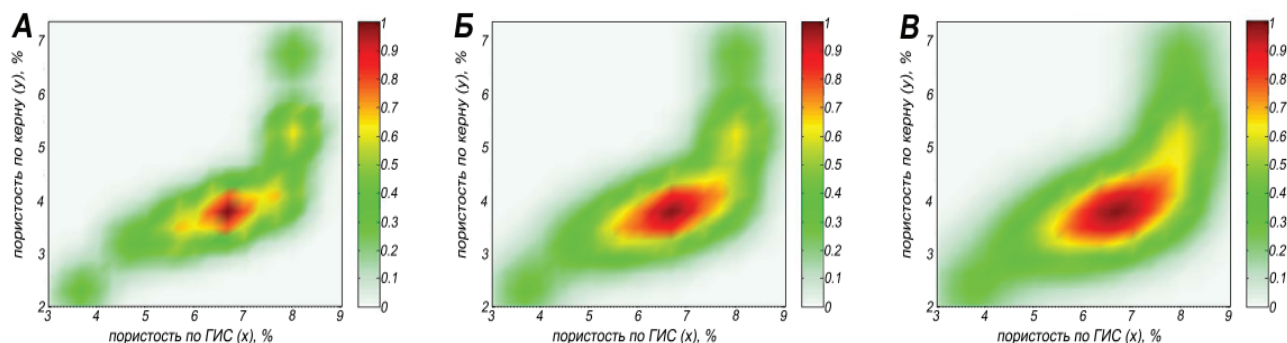


Рис. 4. Сопоставление функций принадлежности при различном выборе параметра локализации $\zeta_1=0,4$; $\zeta_2=0,5$; $\zeta_3=0,6$; (А, Б, В соответственно) (справа изображена шкала достоверности)

Правило нечеткого логического вывода используется для расчета функции принадлежности $\mu_{\mathfrak{A}}(\xi)$ прогнозного параметра (фильтрационно — емкостного) по функции принадлежности $\mu(g)$ (возможно значению), измеряемого геофизического параметра g , и элемента нечеткой петрофизической модели $\mu_{\mathfrak{A}}(g, \xi)$, которое состоит в следующем:

$$\mu_{\mathfrak{A}}(\xi) = \max_g \min[\mu(g), \mu_{\mathfrak{A}}(g, \xi)] \quad (7)$$

Это правило является частным случаем уже использованной композиции (3), и отличается тем, что техника нечеткого логического вывода применяется к прогнозу функции принадлежности одного параметра.

Нечеткая петрофизическая модель для параметра ξ , может быть образована системой нечетких отношений, реализующих различные наборы петрофизических данных $\mathfrak{A}_i$ между измеряемыми (геофизическими) параметрами g_i и прогнозируемым параметром ξ . Например, пористость может быть оценена через параметр интервального времени, измеряемого в акустических методах исследований (данные $\mathfrak{A}_1$ интервальное время — пористость), но может быть оценена и через плотность, определяемую по радиоактивным методам (ГГК(П)) (данные $\mathfrak{A}_2$). В итоге, прогнозный параметр имеет несколько реализаций, полученных использованием функций принадлежности $\mu_{\mathfrak{A}_i}(g_i, \xi)$. Итоговое распределение достоверности для параметра находится как логическое пересечение (при необходимости используется логическое объединение и алгебраические операций над $\mu_{\mathfrak{A}_i}(\xi)$) $\mu(\xi) = \bigwedge_i \mu_{\mathfrak{A}_i}(\xi) = \min_i \mu_{\mathfrak{A}_i}(\xi)$.

Создание информационного оператора $\mu[\xi(v)]$, отображающего каждую распределенную в пространстве экспертируемую модель $\xi(v)$, $v = \{x, y, z\}$ подсчетных параметров в пространственно распределенное в области V поле достоверности $\mu[\xi(v)]$; $0 \leq \mu[\xi(v)] \leq 1$, основано на процедурах интерполяции вычисленных функций принадлежности $\mu[\xi(v)]$ в точках $v_i \in V$ во всю область V . Эта процедура является традиционной для методов вычислительной математики, и в реализации для нечетких отношений определена законом изменения параметра локализации ζ в (6) по мере удаления точки v , в которую выполняется интерполяция от

точки v_i из которой выполняется интерполяция. Этот закон состоит в выборе функции $\zeta = \zeta(|v_i - v|)$, расчете и сопряжения значений $\mu[\xi(v), \zeta = \zeta(|v_i - v|)]$, полученных в результате интерполяции из различных точек по правилу логического объединения:

$$\mu[\xi(v)] = \max_i \mu[\xi(v), \zeta = \zeta(|v_i - v|)].$$

Вид интерполирующей зависимости $\zeta = \zeta(|v_i - v|)$ подбирается, и предпочтительно линейный.

На рис. 5 представлен типовой результат экспертизы на достоверность модели нефтенасыщенности по тестовому месторождению в пределах Тимано-Печорской нефтегазовой провинции, полученный на основе приведенной технологии.

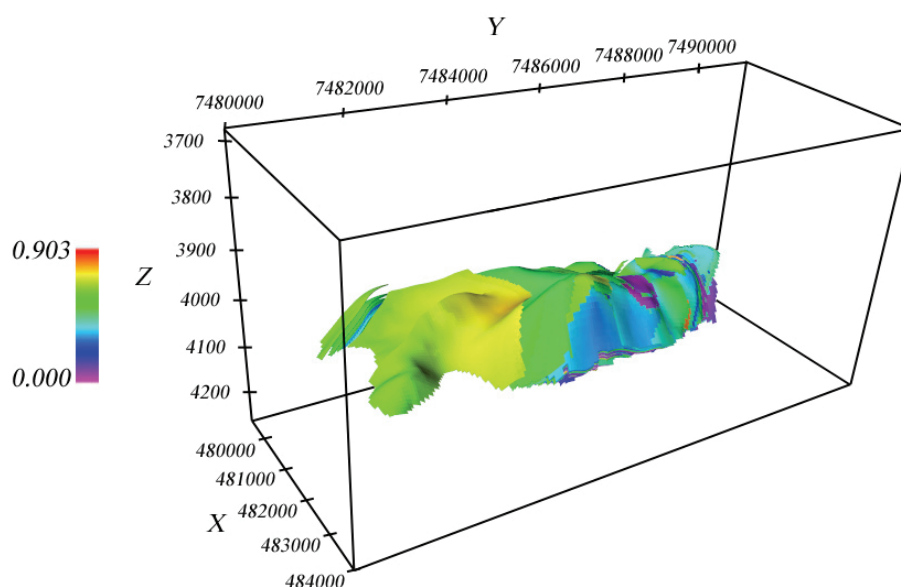


Рис. 5. Пространственная модель распределения достоверности параметра нефтенасыщенности (слева изображена шкала достоверности)

Автор приносит искреннюю признательность своим сотрудникам Дорогобед А.Н. и Кожевниковой П.В. за неоценимый вклад в развитие технологии и, прежде всего, ее вычислительной основы. Все эксперименты были выполнены ими.

Заключение

Математическая модель экспертной оценки достоверности прогноза подсчетных параметров и запасов месторождений углеводородов основана на представлении данных и связей между ними в виде нечетких отношений, которые группируются в нечеткую петрофизическую модель, характерную для рассматриваемого месторождения. Принципы нечеткого логического вывода позволяют оснастить экспертируемую модель величинами достоверности, заложенными в исходных данных, исключая субъективные суждения и внешние результаты. Это делает экспертизу модели более объективной и отражающей информационную обеспеченность компонент модели. Проверка на достоверность компонент и соответствия исходным данным, отраженным в нечеткой петрофизической модели, может быть выполнена для любого из вариантов модели рассматриваемого месторождения.

Список литературы

1. Вендельштейн Б.Ю., Резванов Р.А. Геофизические методы определения параметров нефтегазовых коллекторов: при подсчете запасов и проектировании разработки месторождений. М.: Недра, 1978. 318 с.
2. Дахнов В.Н. Петрофизика-основа геологической интерпретации результатов геофизических исследований скважин, ее состояние и ближайшие задачи // Петрофизика коллекторов нефти и газа (Труды МИНХ и ГП им. И.М. Губкина, вып. 115). М.: Недра, 1975. С. 15.
3. Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических исследований скважин. М.: Недра, 1991. 220 с.

References

1. Wendelstein B.Y., Rezvanov R.A. Geophysical methods for determining the parameters of oil and gas reservoirs: when calculating reserves and designing field development. Moscow. Nedra, 1978. 318 p.
2. Dakhnov V.N. Petrophysics – the basis for the geological interpretation of the results of geophysical studies of wells, its state and immediate objectives. Petrophysics of Oil and Gas Collectors (Papers of the Plekhanov Russian University of Economics and Gubkin Russian State University of Oil and Gas Institute, Issue 115). Moscow. Nedra, 1975. p. 15.
3. Latyshova M.G. Practical guidance on the interpretation of geophysical research of wells. Moscow. Nedra, 1991. 220 p.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

И.Ю. Колесников, вед. научн. сотр., Геофизический центр РАН, д-р физ.-мат. наук, kol@wdcb.ru

В.Н. Морозов, гл. научн. сотр., Геофизический центр РАН, проф., д-р техн. наук, morozov@wdcb.ru

В.Н. Татаринов, зав. лаб., Геофизический центр РАН, д-р техн. наук, victat@wdcb.ru

Т.А. Татарина, уч. секр., Геофизический центр РАН, tata@wdcb.ru

Представлен инновационный метод проведения комплексной экспертной оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) в структурных блоках земной коры с целью выбора наиболее пригодных участков с точки зрения обеспечения прочностной безопасности при строительстве экологических инфраструктурных объектов, включая пункты захоронения радиоактивных отходов. Метод основан на введении нового энергетического критерия степени опасности НДС и склонности к разрушению для структурных блоков. При наличии активных разломов предложено учитывать концентрации полной потенциальной энергии деформации, потенциальной энергии формоизменения и скорости наибольшего убывания энергии при деформировании.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние пород, механико-математическое моделирование, метод конечных элементов.

STRESS-STRAIN ENERGETIC ZONING OF GEOLOGICAL MEDIUM FOR DISPOSITION OF ECOLOGICAL INFRASTRUCTURE OBJECTS

I.Yu. Kolesnikov, Leading Researcher, Geophysical Center, RAS, Ph.D. of Physics and Mathematics, kol@wdcb.ru

V.N. Morozov, Chief Researcher, Geophysical Center of RAS, Professor, Ph.D. of Engineering, morozov@wdcb.ru

V.N. Tatarinov, Head of Laboratory, Geophysical Center of RAS, Ph.D. of Engineering, victat@wdcb.ru

V.N. Tatarinova, Scientific Secretary, Geophysical Center of RAS, tata@wdcb.ru

It is presented an innovative method of examination of the stress-strain state of structural crustal blocks in the construction of environmentally hazardous facilities, including radioactive waste disposal. The method detects the degree of danger of reducing the strength and destruction of structural blocks. For active faults, it is proposed to perform an estimate of the concentrations of the potential deformation energy and the rate of the largest energy decrease.

Keywords: stress-strane deformed state of rocks, mechanics-mathematical modeling, finite element method.

При выборе мест размещения и строительстве экологически безопасных подземных объектов необходимо учитывать напряженно-деформированное состояние (НДС) вмещающих их породных массивов. В соответствии с методологическим принципом системного подхода — поиска «слабого звена» при экспертизе мест размещения таких объектов мы должны учитывать характеристики, которые оказывают решающее влияние на устойчивость исследуемого

объекта в условиях соответствующих типов природных и техногенных воздействий [1]. Для поверхностных и приповерхностных объектов такими параметрами обычно являются смещения и деформации земной поверхности, а для подземных — напряжения в земных недрах.

Предметом данной работы является развитие нового инновационного метода оценки НДС геологической среды на основе энергетического анализа концентраций напряжений в структурно-тектонических блоках (СТБ) земной коры, вмещающих экологически безопасные объекты. Таким объектом может быть, например, пункт глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО), строительство которого планируется начать в 2018 г. в пределах Нижнеканского массива (НКМ) в Красноярском крае [2–6].

Для того чтобы разрушение зародилось в СТБ и стало распространяться, требуется израсходовать определенную энергию, которая является накопленной в нем потенциальной энергией деформации. При этом на основании закона сохранения энергии должно происходить ее перераспределение, обусловленное неоднородностью структуры породного массива. В результате образование новых поверхностей (при развитии тектонического разлома) сопровождается неравномерным уменьшением потенциальной энергии деформации, которая превращается в работу внутренних сил пород массива. Очевидно, что для описания НДС в этом случае следует привлекать энергетические параметры, которые связаны с сопротивлением материала СТБ его возможному разрушению: накопленную потенциальную энергию деформации (за счет которой и могут происходить нарушения сплошности среды); величину модуля градиента энергии (являющегося мерой наибольшего убывания энергии по направлению, противоположному направлению градиента энергии). Принимая во внимание принципиальное различие в сопротивлении объема материала его сдвигу и всестороннему растяжению-сжатию, следует еще добавить и девиаторную составляющую энергии — потенциальную энергию формоизменения. Тем самым, формируется определенная совокупность из трех дополняющих друг друга энергетических характеристик экспертной оценки состояния СТБ.

Таким образом, степень опасности, обусловленную концентрацией напряжений, мы оцениваем с помощью совокупности концентраций 3-х энергетических характеристик: потенциальной энергии деформации, модуля ее градиента и потенциальной энергии формоизменения.

Следует подчеркнуть, что из-за неполноты исходных данных при экспертизе мы не можем здесь дать ответа на вопрос: произойдут ли на самом деле какие-либо разрушения в массиве или нет, а даем лишь ответ на другой вопрос: во сколько раз степень опасности для одних СТБ больше или меньше, чем для других.

К особенностям строения массивов горных пород относится наличие многочисленных поверхностей ослабления механических характеристик и материальных неоднородностей различного типа. Неоднородности массива в значительной степени определяют особенности разрушения пород и условия устойчивости геологической среды. Основной тип неоднородностей обусловлен наличием [7] различных по составу, структуре и текстуре пород геологических нарушений и тектонических разрывов. Жесткостная структура пород определяется их механическими параметрами, которые в модели выражены следующими типами участков: 1) регулярными подобластями, не содержащими нарушений сплошности геологической среды, и 2) разломными зонами [5].

Разломы характеризуются механическими свойствами материала с существенно меньшей прочностью и большей деформативностью по сравнению с основными породами массива. Способность материала сопротивляться деформированию характеризуется его модулем упругости: чем больше его величина, тем материал будет больше сопротивляться деформированию. Вследствие этого, развитие нарушений сплошности при деформировании среды существенно зависит от модуля упругости, что является механическим обоснованием выбора гетерогенной материальной модели массива. Для описания НДС используется упругая модель обобщенного плоского напряженного состояния [8]. Расчетная схема решения задачи прочностного анализа представлена на рис. 1 [6].

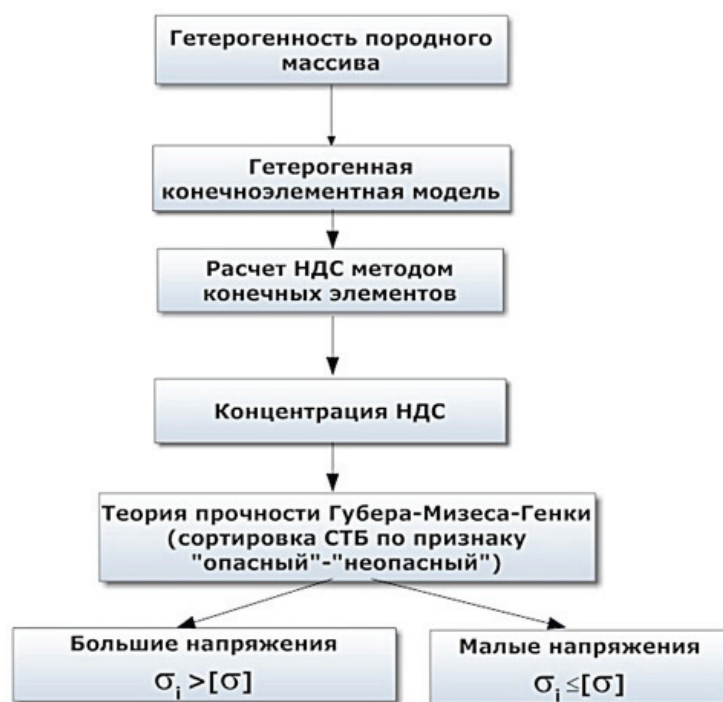


Рис. 1. Структура прочностного анализа

Разработанный метод был практически опробован на примере Нижнеканского массива. Массив простирается с северо-запада на юго-восток примерно на 60 км, при средней его ширине около 30 км. По данным геолого-геофизических и структурно-геоморфологических исследований, проведенных в западной части массива и частично во вмещающих породах, предварительно было выбрано 3 участка для захоронения РАО: «Каменный», «Итатский» и «Енисейский», но по ряду ифраструктурных причин был оставлен Енисейский участок. Причем, тектоническая мотивация выбора этого участка до конца не обоснована, т.к. разломы на данной территории являются в настоящее время активными [9]. Так, например, в зоне Муратовского разлома зарегистрирован подъем восточного крыла со скоростью 0,2–3,0 мм/год и опускание западного 2,8–3,6 мм/год, в районе ГХК за период 1972–1998 гг. скорости вертикальных движений составили $+2,0 \pm 0,08$ мм/год [10–12].

Анализ особенностей геологического строения НКМ с привлечением новых алгоритмов искусственного интеллекта для анализа геолого-геофизической информации [10] позволили нам построить структурно-тектоническую карту Нижнеканского массива [5].

Следующим этапом исследований стало моделирование напряженно-деформированного состояния НКМ, надежность которого зависит от соблюдения условий подобия. Одно из важнейших условий это геометрическое подобие исходной структурно-тектонической модели реальному массиву. Для реализации этого условия была построена упрощенная структурно-тектоническая модель НКМ. Ее особенностью является то, что контакты массива и границы разновозрастных толщ, а также линии наиболее крупных разломов (часть мелких разломов исключена) аппроксимированы в виде совокупности прямолинейных отрезков, что несколько упрощает реальную геологическую ситуацию.

Вторым важным фактором соблюдения подобия является ориентировка главных усилий, соответствующая выявленной при расшифровке геодинамической эволюции территории [13]. По геологическим данным был сделан вывод, что напряженное состояние района опре-

деляется, главным образом, тангенциальными сжимающими усилиями, ориентированными в юго-западном и северо-восточном направлениях, поперек общего простирания жесткой глыбы Южно-Енисейского кряжа. Тектонические сжимающие усилия и ось σ_3 ориентирована по азимуту на $230-240^\circ$. Расчет напряженно-деформированного состояния в массиве производился методом конечных элементов в форме перемещений на основе четырехугольных изопараметрических конечных элементов. Выбор метода обусловлен как физическими соображениями (обеспечением условия минимальности полной потенциальной энергии деформации для всего массива), так и эффективностью его компьютерной реализации.

В качестве обобщенного критерия при анализе НДС рассматривалась интенсивность напряжений σ_i , представленная в виде карты изолиний напряжений (рис. 2). При анализе результатов использовалось также распределение сдвиговой компоненты тензора напряжений τ_{xy} . С учетом свойств горных пород средняя интенсивность напряжений, на ненарушенных участках составляет 26 МПа. На локальных участках массива расчетные значения σ_i превышают 80 МПа.

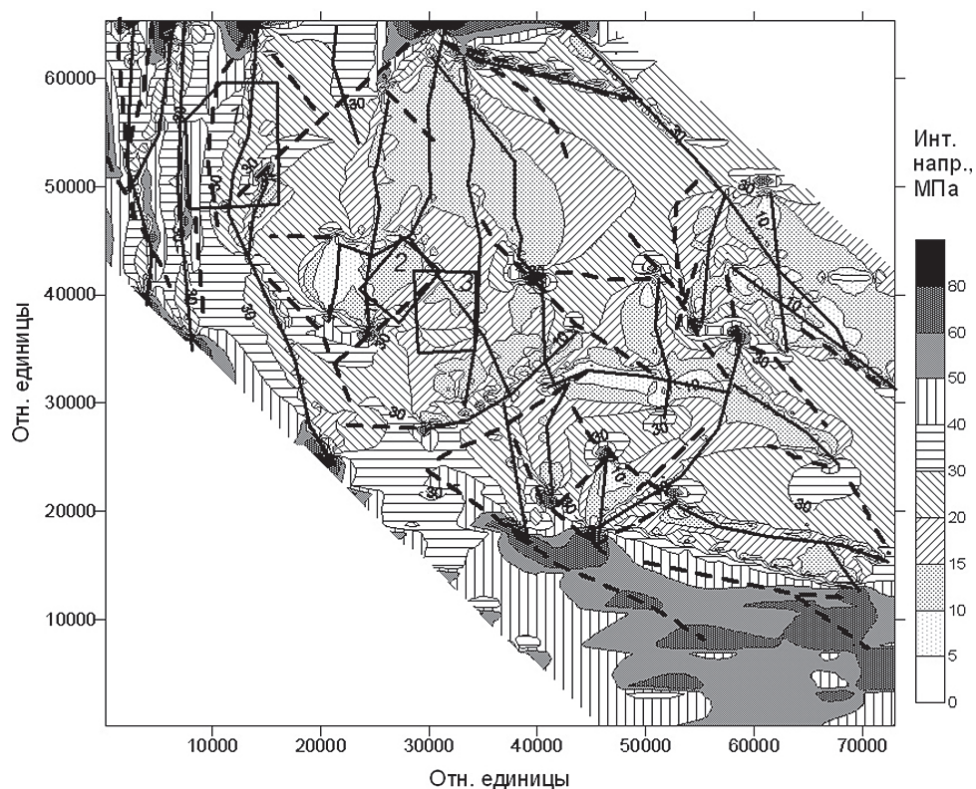


Рис. 2. Распределение интенсивности напряжений σ_i в районе НКМ по данным моделирования методом конечных элементов. Линиями показаны разломы, которые были учтены при моделировании, пунктиром прогнозируемые геодинамические зоны

Прямоугольниками выделены участки детальных исследований:

1 – Енисейский, 2 – Итатский, 3 – Каменный

Карты полей напряжений стали основой для геодинамического районирования территории с целью выбора мест подземной изоляции РАО в геологических формациях, а также участков для закладки подземной исследовательской лаборатории. Совершенно очевидно,

что зоны повышенной концентрации σ_i являются потенциально опасными с позиций дальнейшего развития процесса тектонической деструкции СТБ. На схеме (рис. 1) распределения σ_i сплошными линиями показано положение разломов, которые учитывались при моделировании, а пунктиром – новые возможные геодинамические зоны. В строгом смысле это не новые разломы, а наиболее вероятные направления развития геодинамических зон, которые могут быть реализованы в процессе тектонической эволюции района, и, которые необходимо учитывать при экспертизе места захоронения РАО.

Выполненные расчеты показали, что прогноз деструкции СТБ только по результатам моделирования НДС носит качественный характер, не позволяющий проводить ранжирование породных массивов по уровню опасности. Поэтому был сделан вывод о необходимости многокритериального анализа полей напряжений на основе энергетического анализа концентрации напряжений с целью дополнения исследований практическими рекомендациями по выбору надежных участков захоронения РАО. Для этого необходимо было ввести адекватные критериальные характеристики степени опасности НДС и определить соответствующие им уровни опасности, и, затем, путем сопоставления значений вычисленных уровней опасности, произвести ранжирование СТБ по убыванию соответствующего им уровня опасности.

Трудность решения поставленной задачи состояла в том, что непосредственное использование известных результатов механики разрушения, применимых для образцов горных пород, для исследуемого объекта с линейными размерами порядка десятков километров было бы очень грубым приближением. В данной ситуации существенным оказался вопрос о том, а какие же параметры могут быть приняты в качестве обобщенных характеристик НДС, «сигнализирующих» об опасности разрушения СТБ.

Для выбора стратегии решения поставленной задачи при условиях неполноты и неточности имеющихся исходных данных, а также в условиях неопределенности, связанной с масштабируемым масштабным эффектом, мы руководствовались следующими статистическими положениями, используемыми в механике деформируемого твердого тела при решении задач прочности и разрушения:

1) с ростом сложности системы возможность точного представления решения уменьшается и более детальная механическая постановка задачи увеличивает неопределенность степени достоверности ее решения;

2) объект состоит из множества элементов (статистического массива), каждый из которых имеет свою локальную прочность, оцениваемую прочностной критериальной характеристикой;

3) задача статистической выборки – сортировка статистического массива, результатом которой целесообразно считать упорядоченный список его элементов, в котором они расположены по признаку убывания выбранной критериальной характеристики;

4) для нарушения целостности объекта необходимо, чтобы вышла из строя некоторая группа его наиболее слабых звеньев, определяемых из упорядоченного (по убыванию степени опасности) списка элементов.

Исходя из приведенных физико-механических и статистических положений, была сформирована приближенная инженерная методика решения задачи.

Прежде всего, на основе теории удельной потенциальной энергии формоизменения были выделены «безопасные» и «опасные» участки массива, напряжения в которых условимся называть, соответственно, малыми и большими напряжениями. Условие обеспечения прочности согласно этой теории записывается для обобщенного плоского напряженного состояния в виде [14]:

$$\sigma_i(x, y)_j = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\sigma_{xy}^2} \leq [\sigma]_j, (x, y)_j \in \Omega_j^{(1)}, \quad (1)$$

где σ_i – интенсивность напряжений; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$ – компоненты тензора напряжений для обобщенного плоского напряженного состояния; $[\sigma]_j$ – величина допускаемого напряжения для материала

j -й горной породы (здесь эта величина соответствует «безопасному» напряженному состоянию в породе); $(x, y)_i$ – координаты центральной точки СТБ породы; $\Omega_j^{(1)}$ – множество «безопасных» СТБ j -й породы.

Объединение СТБ даст две совокупности блоков всего массива:

$$\Omega^{(1)} = \bigcup_{j=1}^L \Omega_j^{(1)} \Rightarrow \Omega^{(2)} = \Omega - \Omega^{(1)} \quad (2)$$

где L – число литологических типов пород; $\Omega^{(1)}$ – множество всех «безопасных» блоков; Ω – множество всех блоков массива; $\Omega^{(2)}$ – множество всех «опасных» блоков (получаемое как разность множества всех блоков и множества «безопасных» блоков).

Из теории упругости следует важная зависимость между максимальным касательным напряжением и интенсивностью напряжений (с использованием связи между максимальным и октаэдрическим напряжениями):

$$\left\{ \sigma_i = \frac{3}{\sqrt{2}} \sigma_{\text{хуст}}, \sqrt{\frac{2}{3}} \leq \frac{\sigma_{\text{хуст}}}{\sigma_{\text{ху max}}} \leq \frac{2\sqrt{2}}{3} \right\} \Rightarrow \sigma_{\text{ху max}} \approx \sigma_i / 2 \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{ху max}}$ – максимальное касательное напряжение; $\sigma_{\text{хуст}}$ – октаэдрическое касательное напряжение.

Для наглядной оценки концентрации напряжений введем вектора, которые в дальнейшем будем называть векторами концентрации энергии СТБ – с вершинами в центрах КЭ, и направлениями, противоположными градиенту потенциальной энергии (с механической точки зрения, это направления наискорейшего убывания потенциальной энергии деформации). Длины этих векторов положим равными значениям (вводимых ниже) энергетических концентрационных характеристик НДС.

Учитывая физико-механическую мотивацию, связанную с явлением предразрушения, параметры векторов концентрации энергии интерпретируются следующим образом: вершины – очаги зарождения нарушений сплошности; углы наклона к оси абсцисс – определяют направления возможного развития разрушения; длины – характеристики склонности к разрушению $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – значения энергетических концентрационных параметров.

Из соображений обеспечения полноты и адекватности оценки концентрации напряжений введем концентрации по трем энергетическим характеристикам: потенциальной энергии формоизменения U_{dev} , потенциальной энергии деформации U (в которую входит и шаровая составляющая) и наибольшей изменяемости энергии – равной модулю ее градиента $\text{grad } U$.

В результате были введены следующие концентрационные характеристики.

1. Концентрация потенциальной энергии формоизменения, определяемая как отношение локального значения энергии формоизменения в структурном блоке к ее вычисленному среднему значению:

$$\alpha(x, y) = \frac{U_{\text{dev}}}{\langle U_{\text{dev}} \rangle_{\Omega^{(k)}}} \quad (4)$$

где U_{dev} – девиаторная компонента энергии; $\langle U_{\text{dev}} \rangle_{\Omega^{(k)}}$ – среднее арифметическое этих компонент энергии по множеству блоков $\Omega^{(k)}$ ($k=1, 2$).

Введенная функция отражает концентрацию девиаторной компоненты энергии, обусловленную неоднородностью механических свойств гетерогенной модели массива. Для гомогенной модели, получаемой осреднением всех механических неоднородностей, получаем: $\alpha^{\text{hom}} = 1$.

2. Концентрация потенциальной энергии деформации – как отношение локального ее значения к среднему:

$$\beta(x, y) = \frac{U}{\langle U \rangle^{\Omega^{(k)}}}, \quad (5)$$

где U – потенциальная энергия в центре СТБ; $\langle U \rangle^{\Omega^{(k)}}$ – среднее арифметическое значений энергии в центрах структурных блоков $\Omega^{(k)}$ ($k = 1, 2$). В случае гомогенной модели имеем: $\beta^{hom} = 1$.

3. **Концентрация наибольшего убывания энергии**, определяемая как отношение локальной величины модуля градиента к вычисленному ее среднему значению:

$$\gamma(x, y) = \frac{|\text{grad} U|}{\langle |\text{grad} U| \rangle^{\Omega^{(k)}}}, \quad (6)$$

где $|\text{grad} U|$ – модуль градиента энергии.

4. Для того, чтобы учесть все составляющие концентрации энергии по суммарному энергетическому вектору $\vec{E}$, введем параметр, который назовем **концентрацией интенсивности энергии**:

$$\delta(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}. \quad (7)$$

НДС мы проводили на основе следующего энергетического концентрационного критерия: более опасным считается тот локальный уровень напряжений, которому соответствует большее значение введенного параметра энергетической концентрационной характеристики. Такой критерий степени опасности НДС вытекает из приведенных выше физико-механических положений, связанных с прочностью и предразрушением деформируемых твердых тел.

В результате сравнения численных значений параметров энергетических концентраций в СТБ мы получаем цепочку неравенств:

$$\varepsilon \in \{\varepsilon_j\}_{j=1}^R : \varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \dots > \varepsilon_R. \quad (8)$$

Последовательность нижних индексов в этих неравенствах (возрастание индекса соответствует убыванию степени опасности НДС) определяет множество значений уровней опасности:

$$\{w_j(\varepsilon)\} = \{1, 2, \dots, R\}.$$

Основная оценка степени опасности НДС производится по «суммарному» параметру концентрации интенсивности энергии δ , поскольку он учитывает влияние концентраций по всем компонентам энергетического вектора. Таким образом, предложенные в данной статье энергетические оценки концентрации напряжений дополняют картину напряженного состояния [6], позволяя в итоге решить практическую задачу о выборе надежных участков массива для захоронения РАО [7].

Примеры моделирования в форме векторов отражены на рис. 3, для больших напряжений $\sigma_i > [\sigma]$ и на рис. 4 – для малых напряжений $\sigma_i < [\sigma]$.

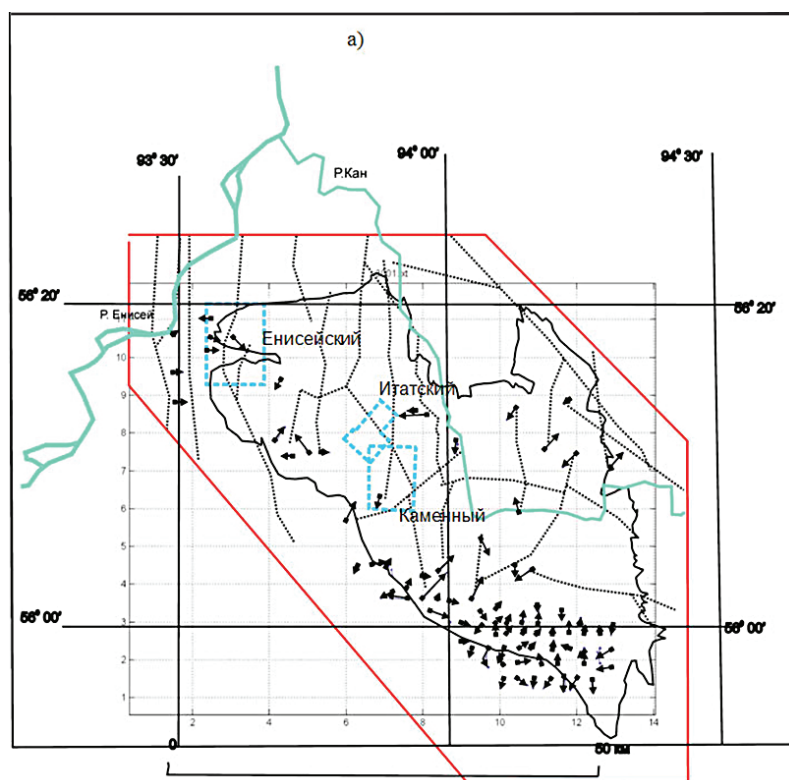


Рис. 3. Концентрация интенсивности энергии δ для $\sigma_i > [\sigma]$

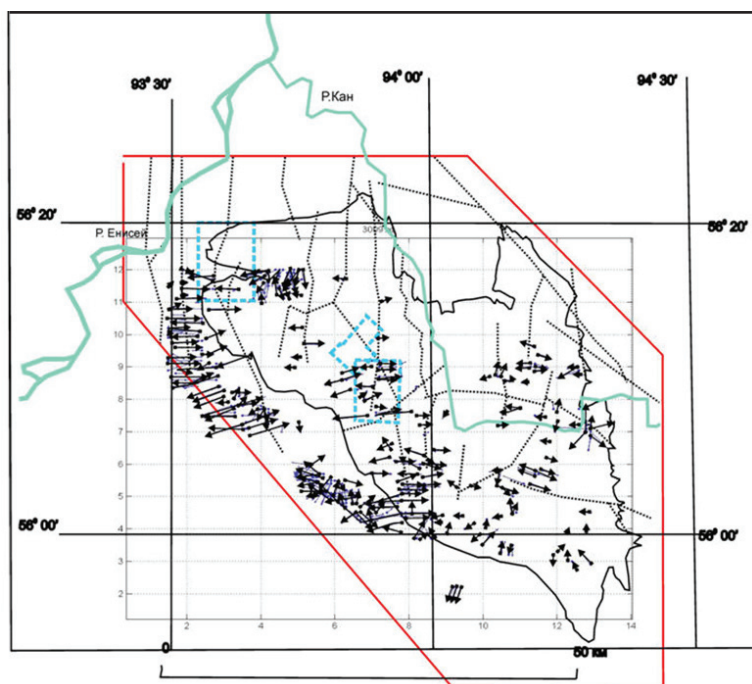


Рис. 4. Концентрация интенсивности энергии δ для $\sigma_i < [\sigma]$

Для ответа на вопрос экспертизы: подходит ли тот или иной участок для размещения РАО надо учитывать следующее. Участки считаются максимально пригодными, если на них не попали очаги разрушения (вершины векторов – жирные точки на рис. 2 и рис. 3).

Наиболее опасным из участков считается тот участок, на котором плотность распределения очагов больше, а концентрационные вектора «длиннее». Если известно, что на участке нет активных разломов, то наиболее важна для определения пригодности этого участка оценка по концентрации потенциальной энергии формоизменения. Если же имеется дополнительная информация об активности разломов, следует также дополнительно учитывать оценку концентраций напряжений по потенциальной энергии деформации и скорости ее изменения. Основной вывод о пригодности участка производится из диаграмм суммарной оценки концентрации интенсивности энергии (рис. 2, 3). Если имеются внешние воздействия (например, сейсмического характера), то следует наложить их энергетические характеристики (выраженные в терминах введенных энергетических концентраций) на стационарные диаграммы концентрации интенсивности энергии.

Дифференцированные движения внутри и по границам СТБ в результате действия эндогенных геодинамических факторов (местных и удаленных землетрясений, тектонических подвижек по разломам, длиннопериодных деформационных процессов и т.д.) приводят к перераспределению полей напряжений. Блоковые движения отличаются большой энергетической масштабностью и влияют на НДС породного массива на контактах крупных неоднородностей природного и техногенного характера (тектонические разломы, зоны дробления, системы горных выработок и т.п.), образуя зоны концентрации напряжений, а также изменяют фильтрационные свойства пород и режим подземных вод. Следовательно, при проведении экспертизы на предмет безопасности размещения экологически опасных объектов, помимо моделирования НДС обязательным должно быть геодинамическое районирование территории [15–17], основанное на результатах натурных инструментальных наблюдений за смещениями и деформациями земной поверхности. Эти данные, на основе обратной связи, позволяют корректировать модели расчета НДС. Для задания граничных условий при геодинамическом районировании целесообразно использовать результаты наблюдений за современными движениями земной коры с применением глобальных навигационных спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС [18]. Эта технология находит все большее применение при выборе мест расположения экологически опасных объектов, включая выбор мест захоронения РАО в геологических формациях [19].

Выводы

1. Разработанный метод позволяет определять положение зон высокой концентрации интенсивности напряжений, которые являются участками неустойчивого состояния геологической среды, в пределах которых наиболее вероятно развитие тектонической деструкции СТБ.

2. Кинематические принципы тектонической деструкции геологической среды в сочетании с полученными значениями напряжений дают возможность построить прогнозную схему разрушения СТБ через последовательные итерации продвижения активных разломов с перераспределением полей напряжений и изменением характера НДС.

3. Полагая, что НДС определяется унаследованной тенденцией в развитии тектонического процесса и деформации среды до настоящего времени, и то, что эта тенденция сохраняется на период времени $> 10^4$ лет, появляется возможность оценки скорости роста интенсивности напряжений, а следовательно, оценки времени возможной деструкции геологической среды в районах расположения ПГЗРО.

4. Детальное изучение конкурирующих участков, построение адекватных структурно-тектонических моделей, использование граничных условий процессов деформирования каждого из них, повысит достоверность оценок при практическом использовании полученных результатов. В этой связи геодинамические наблюдения, начатые в 2005 г. в пределах НКМ с использованием GPS-технологий, дают новые возможности не только для оценки текто-

нической активности района на современном этапе его развития, но и для проверки адекватности разработанной модели НДС с реальными условиями *in situ*.

5. Дальнейшее развитие методологии связано как с привлечением усложненных механических моделей и аппарата механики разрушения, так и с совершенствованием методики конечноэлементного моделирования. Проверка прочности сводится к оценке величины интенсивности напряжений, связанной с удельной потенциальной энергией пропорциональной квадрату интенсивности напряжений. Получение надежного ответа требует привлечения аппарата физики твердого тела и теории механики разрушения, а также данных наблюдений за кинематикой структурных блоков земной коры на основе применения спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС.

Список литературы

1. Tatarinov V.N., Morozov V.N., Kolesnikov I.Y., Pyatigin V.A., Tatarinova T.A. Systematic approach to the evolution of geodynamic stability of placements of the nuclear fuel cycle. Book of Abstracts of the International Conference «Data Intensive System Analysis for Geohazard Studies». Geoinf. Res. Papers Ser., 4. DOI: 10.2205/2016BS08Sochi. P. 117.
2. Morozov V.N., Tatarinov V.N. Tectonic processes development with time in the areas of HLW disposal from expert assessment to prognosis // Int. Nuclear Energy science and Technology, Vol. 2. No, 1/2. 2006. Pp. 65–74. DOI: 10.1504/IJNEST.2006.010648.
3. Morozov V.N., Kolesnikov I.Yu., and Tatarinov V.N. Modeling the Hazard Levels of Stress-Strain State in Structural Blocks in Nizhnekanskii Granitoid Massif for Selecting Nuclear Waste Disposal Sites // Water Resources, 2012, Vol. 39, Issue 7, pp. 756–769. Available at: <http://link.springer.com/journal/11268#page-1>. DOI:10.1134/S009780781207007X.
4. Морозов В.Н., Гупало Т.А., Татаринов В.Н. Прогноз изоляционных свойств породного массива при размещении радиоактивных материалов в горных выработках // Горный вестник. № 6. М. 1999. С. 99–105.
5. Белов С.В., Морозов В.Н., Татаринов В.Н., Камнев Е.Н., Хаммер Й. Изучение строения и геодинамической эволюции Нижнеканского массива в связи с захоронением высокоактивных радиоактивных отходов // Геоэкология. 2007. № 3. С. 227–238.
6. Морозов В.Н., Колесников И.Ю., Белов С.В., Татаринов В.Н. Напряженно-деформированное состояние Нижнеканского гранитоидного массива – района возможного захоронения радиоактивных отходов // Геоэкология. 2008. № 3. С. 232–243.
7. Морозов В.Н., Колесников И.Ю., Татаринов В.Н. Моделирование уровней опасности напряженно-деформированного состояния в структурных блоках Нижнеканского гранитоидного массива (к выбору участков захоронения радиоактивных отходов) // Геоэкология. № 6. 2011. С. 524–542.
8. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 576 с.
9. Андерсон Е.Б., Белов С.В., Камнев Е.Н., Колесников И.Ю., Лобанов Н.Ф., Морозов В.Н., Татаринов В.Н. Подземная изоляция радиоактивных отходов. М.: Изд-во «Горная книга», 2011. 592 с. (Атомная энергетика).
10. Гвишиани А.Д., Белов С.В., Агаян С.М., Родкин М.В., Морозов В.Н., Татаринов В.Н., Богоутдинов Ш.Р. Геоинформационные технологии: методы искусственного интеллекта при оценке тектонической стабильности Нижнеканского массива // Инженерная экология. 2008. № 2. С. 3–14.
11. Морозов В.Н., Колесников И.Ю., Татаринов В.Н., Татаринова Т.А. Прогнозирование напряженно-деформированного состояния Нижнеканского массива как возможного места подземной изоляции радиоактивных отходов // Вестник КРАУНЦ, Науки о Земле. 2009. № 2. Вып. 14. С. 58–67.
12. Татаринов В.Н. Кафтан В.И., Сеелев И.Н. Геодинамическая безопасность подземной изоляции высокоактивных радиоактивных отходов в Нижнеканском массиве. Атомная энергия. Т. 121. № 3. С. 157–160.
13. Татаринов В.Н. Геодинамическая безопасность на объектах ядерного топливного цикла // Использование и охрана природных ресурсов в России. Бюллетень № 1 (85). 2006. С. 46–51.

14. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наукова Думка, 1988. 736 с.
15. Татаринов В.Н., Морозов В.Н. Прогнозирование динамического разрушения горных выработок месторождений вулканотектонических депрессий // Цветная металлургия. 1992. № 2. С. 5–8.
16. Tatarinov V.N., Kaftan, V.I., Seelev, I.N. Study of the Present-Day Geodynamics of the Nizhnekansk Massif for Safe Disposal of Radioactive Wastes. Atomic Energy. Springer. 2017. Volume 121, Issue 3, pp 203–207. DOI:10.1007/s10512-017-0184-5. IF 0,043.
17. Татаринов В.Н., Бугаев Е.Г., Татарина Т.А. К оценке деформаций земной поверхности по данным спутниковых наблюдений. Горный журнал. № 10. 2015. С. 27–32. DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.10.05.
18. Татаринов В.Н., Морозов В.Н., Колесников И.Ю., Каган А.И. Кинематический метод геодинамического районирования при проектировании отработки месторождений подземным способом // Безопасность жизнедеятельности. № 7. 2014. С. 8–11.
19. Tatarinov V., Morozov V., Kolesnikov I., Kagan A., Tatarinova T. Geodynamic zoning for isolation of radioactive waste. 24 International Mining Congress and Exhibition of Turkey IMCET. 14–17 апреля. 2015. Antalya. 2015, pp. 508–513.

References

1. Tatarinov V.N., Morozov V.N., Kolesnikov I.Y., Pyatigin V.A., Tatarinova T.A. Systematic approach to the evolution of geodynamic stability of placements of the nuclear fuel cycle. Book of Abstracts of the International Conference «Data Intensive System Analysis for Geohazard Studies». Geoinf. Res. Papers Ser., 4. DOI: 10.2205/2016BS08Sochi. P. 117.
2. Morozov V.N., Tatarinov V.N. Tectonic processes development with time in the areas of HLW disposal from expert assessment to prognosis. Int. Nuclear Energy science and Technology, Vol. 2. No 1/2. 2006. Pp. 65–74. DOI: 10.1504/IJNEST.2006.010648.
3. Morozov V.N., Kolesnikov I.Yu., Tatarinov V.N. Modeling the Hazard Levels of Stress-Strain State in Structural Blocks in Nizhnekanskii Granitoid Massif for Selecting Nuclear Waste Disposal Sites. Water Resources, 2012, Vol. 39, Issue 7, pp. 756–769. Available at: <http://link.springer.com/journal/11268#page-1>. DOI:10.1134/S009780781207007X.
4. Morozov V.N., Gupalo T.A., Tatarinov V.N. *Prognoz izolationnih svoistv porodnogo massiva pri razmethenii radioaktivnih materialov v gornih virabotkah* [Prognosis of the insulation properties of the rock massif in the location of radioactive materials in mine workings] *Gorni vestnik* [Mountain Herald]. 6. M. 1999. Pp. 99–105.
5. Belov S.V., Morozov V.N., Tatarinov V.N., Kamnev E.N., Hammer J. *Izuthenie stroenija I geodinamitheskoi evolutii Niznekanskogo massiva v svazi s zahoroneniem visokoaktivnih radioaktivnih othodov* [Study of the structure and geodynamic evolution of the Nizhnekansky Massif in connection with the disposal of highly radioactive waste] *Geoecologia* [Geoecology]. 2007. 3. Pp. 227–238.
6. Morozov V.N., Kolesnikov I.Y., Belov S.V., Tatarinov V.N. *Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie Niznekanskogo granitoidnogo massiva – raiona vozmozhnogo zahoronenia radioaktivnih othodov* [Stress-strain state of the Nizhnekansky granitoid massif – the area of possible burial of radioactive waste] *Geoecologia* [Geoecology]. 2008. 3. Pp. 232–243.
7. Morozov V.N., Kolesnikov I.Y., Tatarinov V.N. *Modelirovanie urovnei opasnosti naprathenno-deformirovannogo sostojania v strukturnih blokah Niznekanskogo granitoidnogo massiva (k vboru uthastkov zahoronenia radioaktivnih othodov)* [Modeling the levels of danger of stress-strain state in structural blocks of the Nizhnekansky granitoid massif (to the choice of radioactive waste disposal sites)] *Geoecologia* [Geoecology]. 6. 2011. Pp. 524–542.
8. Timoshenko S.P., Gulder J. *Teoria uprugosti* [Theory of elasticity] *M. Nauka* [Science], 1975. 576 p.
9. Anderson E.B., Belov S.V., Kamnev E.N., Kolesnikov I.Yu., Lobanov N.F., Morozov V.N., Tatarinov V.N. *Podzemnaja izolatia radioaktivnih othodov* [Underground isolation of radioactive waste] *M. Gornaja kniga* [Mountain Book], 2011. 592 p.

10. Gvishiani A.D., Belov S.V., Agayan S.M., Rodkin M.V., Morozov V.N., Tatarinov V.N., Bogoutdinov Sh.R. *Geoinformationnie tehnologii: metodi ikusstvennogo intellekta pri otsenke tektonicheskoi stabilnosti Nizhnekanskogo massiva* [Geoinformation technologies: methods of artificial intelligence in assessing the tectonic stability of the Nizhnekanskiy massif] *Inzenernaya ecologia* [Engineering ecology] 2008. 2. Pp. 3–14.
11. Morozov V.N., Kolesnikov I.Yu., Tatarinov V.N., Tatarinova T.A. *Prognozirovanie naprjazenno-deformirovannogo sostojania Nizhnekanskogo massiva kak vozmoznogo mesta podzemnoi izolatii radioaktivnih othodov* [Prediction of the stress-strain state of the Nizhnekansky massif as a possible place for underground isolation of radioactive waste] *Vestnik KRAUNZ* [Vestnik KRAUNS]. 2009. 2. Issue 14. Pp. 58–67.
12. Tatarinov V.N., Kaftan V.I., Selev I.N. *Geodinamicheskaja bezopasnost podzemnoi izolatii visokoaktivnih radioaktivnih othodov v Nizhnekanskom massive* [Geodynamic safety of underground isolation of high-level radioactive waste in the Nizhnekanskiy massif] *Atomnaja energija* [Atomic Energy] V. 121. 3. Pp. 157–160.
13. Tatarinov V.N. *Geodinamicheskaja bezopasnost na obektah jadernogo zikla* [Geodynamic safety at nuclear fuel cycle objects] *Ispolzovanie i ohrana prirodnih resursov v Rossii* [The use and protection of natural resources in Russia] V. 1 (85). 2006. Pp. 46–51.
14. Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveev V.V. *Spravochnik po soprotivleniu materialov* [Reference book on the resistance of materials] Kiev: Naukova Dumka [Kiev: Naukova Dumka] 1988. 736 p.
15. Tatarinov V.N., Morozov V.N. *Prognozirovanie dinamicheskogo razrushenija gornih virabotok mestorozdeni vulkanotektonicheskikh depressii* [Prediction the dynamic destruction of mine workings of deposits of volcanic tectonic depressions] *Tsvetnaja metallurgija* [Non-ferrous metallurgy] 1992. 2. Pp. 5–8.
16. Tatarinov V.N., Kaftan V.I., Selev I.N. Study of the Present-Day Geodynamics of the Nizhnekansk Massif for Safe Disposal of Radioactive Wastes. *Atomic Energy*. Springer. 2017. Volume 121, Issue 3, pp 203–207. DOI:10.1007/s10512-017-0184-5. IF 0,043.
17. Tatarinov V.N., Bugaev E.G., Tatarinova T.A. *K otsenke deformatii zemnoi poverhnosti po dannim sputnikovih nabludenii* [To the estimation of deformations of the earth's surface according to satellite observations.] *Gornii zurnal* [Mining magazin] V. 10. 2015. P. 27–32. DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.10.05.
18. Tatarinov V.N., Morozov V.N., Kolesnikov I.Yu., Kagan A.I. *Kinematicheski metod geodinamicheskogo raqionirovania pri proektirovanii otrabotki mestorozdenij podzemnim sposobom* [Kinematic method of geodynamic zoning in the design of mining of deposits by underground method] *Bezopasnost ziznedejatelnosti* [Safety of life and activities] V. 7. 2014. Pp. 8–11.
19. Tatarinov V., Morozov V., Kolesnikov I., Kagan A., Tatarinova T. Geodynamic zoning for isolation of radioactive waste. 24 International Mining Congress and Exhibition of Turkey IMCET. 1–17 апреля. 2015. Antalya. 2015, pp. 508–513.

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

Лебедев В.И. проф. РАН, д-р геол.-мин. наук, акад.

Республика Тыва обладает минерально-ресурсным потенциалом, сопоставимым с богатейшими территориями Сибирского Федерального Округа — Красноярским краем, Кемеровской и Томской областями, однако серьезно отстает от них в социально-экономическом развитии. На ее территории выявлены значительные месторождения коксующегося и энергетического угля, кобальта, золота, цветных и редких металлов, редкоземельных элементов, различных строительных материалов, минерализованных и пресных подземных вод, геотермальных источников. Однако из-за неразвитости транспортной инфраструктуры и труднодоступности большинства месторождений, расположенных в удаленных от транспортных коммуникаций горно-таежных районах, уровень их хозяйственного освоения крайне низок. Республика Тыва, по сути, отрезана от основных магистральных транспортных артерий и освоение ее природных, в том числе и минеральных ресурсов ведется преимущественно в рамках частного предпринимательства. Повышение конкурентоспособности Тувы во многом зависит не только от опережающего инвестирования горнопромышленной отрасли и производств по выпуску необходимых товаров и услуг, но и от инновационного обновления экономики региона.

Ключевые слова: минеральные ресурсы, месторождения, каменный уголь, полиметаллы, кобальт, тантал, ниобий, медь, молибден, ртуть, экономика.

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES BASE OF THE REPUBLIC OF TYVA

Lebedev V.I., Professor, Academician RAS, Ph.D. of Geology and Mineralogy

Tyva has a mineral-resource potential comparable to the richest territories of the Siberian Federal District — Krasnoyarsk region, Kemerovo and Tomsk areas, however, seriously lagging behind in socio-economic development. On its territory significant the deposits of coking and thermal coal, cobalt, gold, nonferrous and rare metals, rare earth elements, different building materials, mineral and fresh underground water, geothermal sources, have been discovered. However, due to poor transport infrastructure and inaccessibility of most of the deposits located in remote from transport communications in mountain taiga areas, their level of economic development is extremely low. The Republic of Tyva, in fact, is cut off from main transport arteries and the development of its natural, including mineral resources is conducted mainly within the framework of private enterprises. Improving the competitiveness of Tyva largely depends not only on the priority investments of the mining industry and the production of necessary goods and services but also on innovative renewal of the economy of the Region.

Keywords: mineral resources, deposits, coal, polymetals, cobalt, tantalum, niobium, copper, molybdenum, mercury, the economy.

Минерально-сырьевой потенциал Тувы отличается разнообразием полезных ископаемых. Более 20 месторождений, выявленных до 1990 г., обладают значительными разведанными запасами минерального сырья. В первую очередь — это месторождения: коксующихся и энергетических углей; серебро-висмут-никель-кобальт-золото-мышьяковых, медно-свинцо-

во-цинковых колчеданных, тантал-ниобиевых и цирконий-иттриевых, золото-серебро-медно-молибден-порфириновых, железорудных барит-флюорит-редкоземельных карбонатитовых, литиевых, ртутных, уран-фосфатных, хризотил-асбестовых и цеолитовых руд. На территории Тувы суммарная «ценность» природных ресурсов превышает 90 трлн \$ USA, а разведанных запасов минерального сырья в месторождениях стратегически важных видов полезных ископаемых — оценивается в 4 трлн \$ USA. При этом, доля «ценности» разведанных запасов коксующихся и энергетических углей Тувы в экономическом балансе формируемого горнопромышленного комплекса составляет 92,7%. Минерально-сырьевой потенциал Республики Тыва позволяет формировать топливно-энергетический и металлургический комплексы, развивать стройиндустрию и другие отрасли промышленности с перспективами их высокоэффективного функционирования при создании инфраструктуры, в первую очередь, сквозной транспортной железнодорожной. К сожалению, частный инвестор не спешит вкладывать капитал (даже на уровне 12–15% от стоимости проекта) в сделки с повышенным риском. Подтверждением этого служит инвестиционный проект «Кызыл-Курагино», который был включен в Государственный Реестр и обеспечивался финансированием из Инвестиционного Фонда Российской Федерации на 50%. Из-за банкротства частного партнера начало строительства было перенесено с 2010 г. на 2013 г. и, по сути, «заморожено» по настоящее время.

Строительство железной дороги через Туву в Монголию и Китай — это одна из сложных проблем как с экономической, так и с геополитической точки зрения. В результате решения этой проблемы, откроются новые возможности торгово-экономических отношений, в том числе для ввоза и вывоза товаров из России не только в Монголию и Китай, но и другие трансграничные страны Центральной Азии. Ввод в эксплуатацию сквозных железнодорожных коммуникаций через Туву и Монголию в Китай обеспечит развитие горнодобывающей промышленности не только в Тuve и Западной Монголии. Появится возможность эффективного освоения уникальных и крупных месторождений полезных ископаемых Тувы, Красноярского края и Хакасии.

Только в Тuve, вблизи столицы республики — города Кызыла, разведанные по промышленным категориям $A+B+C_{1+2}$ запасы каменного угля марок Ж, ГЖ и Г на Кызылской и Эрбекской площадях составляют 3963 млн т, а суммарное количество запасов и ресурсов на интервалах глубин от поверхности до 600 м оценены в 10767 млн т. Для каменных углей характерны: низкая зольность и малосернистость, высокие показатели спекаемости (от 10 до 42 мм) и содержания летучих (от 36 до 44%), относительная чистота по тяжелым металлам и токсичным элементам. Вместе с тем, обогащение летучими и низкая зольность способствуют быстрой окисляемости угля, создают проблемы при его хранении и транспортировке. Приведенные сведения о количестве разведанных запасов и качестве коксующихся и энергетических каменных углей в районе Кызыла, свидетельствуют о неограниченных возможностях их крупномасштабной, преимущественно шахтной добычи. К сожалению, эффективность освоения разведанных месторождений низка из-за высокой себестоимости добываемого угля, сложной транспортной схемы его реализации, отставания горно-подготовительных работ. Освоение Эрбекского месторождения осложнено подземным пожаром.

С целью повышения экономической эффективности освоения черного «золота» и решения, в первую очередь, экологических проблем столицы Республики Тыва подготовлена программа «Энергетика, комплексная энергохимическая переработка каменных углей Тувы», разработан технологический регламент единого замкнутого процесса получения высококачественного бензина из каменных углей, который совмещает два энергохимических процесса:

1. Получение синтез-газа в процессе низкотемпературного пиролиза коксующегося угля по технологической схеме, разработанной в ТувИКОПР СО РАН для производства углеродных адсорбентов различной емкости, бездымных топливных брикетов, пропан-бутановой смеси и биогуматов для улучшения плодородия почв, а также — ферросплавов высокой ценности по технологии, разработанной в ОАО ОВЦ «КУЗБАСС» (Новокузнецк, Кемеровская обл.);

2. Каталитическое преобразование полученного синтез-газа в высокооктановый неэтилированный бензин по технологии, разработанной НИЦ «ЦЕОСИТ» при Институте катализа СО РАН (Новосибирск) и внедренной при облагораживании отходов переработки нефтепродуктов в Нижневартовске (Россия) и Глимаре (Польша).

ТувИКОПР СО РАН выполнил технологическое обоснование строительства наукоемкого комплекса глубокой энергохимической переработки каменных углей Каа-Хемского месторождения. Обоснована возможность организации инновационного предприятия по производству товарных продуктов с повышенной добавленной стоимостью. Переработка 420 тыс. т коксующихся углей марки ГГ-ГЖ Каа-Хемского месторождения обеспечит выпуск товарных продуктов на сумму 304 млн руб. в год, в том числе: углеродных адсорбентов – 70 тыс. т на 210 млн руб.; ферросплавов – 12 тыс. т на 24 млн руб.; пропан-бутанового синтез-газа – 15 тыс. т на 12 млн руб.; водяного пара – 167 тыс. т на 17 млн руб.; тепловой энергии – 480 тыс. Гкал на 10 млн руб.; неэтилированного автобензина с ОЧ 80 – 95–80 тыс. т на 25 млн руб.; авиационного керосина марки Т30 – 20 тыс. т на 6 млн руб. Период с момента подписания контракта на разработку технического проекта энергохимического комплекса стоимостью 480 млн руб. (при инвестиционных гарантиях на его строительство) до завершения пусконаладочных работ и начала его промышленной эксплуатации составит 3 года. Затраты будут осуществляться по следующей схеме: первый год – 10 % от общей стоимости комплекса (48 млн руб.) расходуются на разработку технического проекта и конструкторско-технологическую адаптацию комплекса к местному сырью и условиям выбранной промышленной площадки в районе г. Кызыла, в том числе, на создание пилотной опытно-промышленной установки – 10 млн руб.; второй год – 70 % (349 млн руб.) – на изготовление и поставку к месту монтажа технологического оборудования; третий год – 20 % (96 млн руб.) – на пуско-наладочные работы.

Другой технологический подход к решению проблемы комплексной переработки каменных углей использует способ термической обработки с целью получения ценных компонентов. Эта технология реализована на экспериментальной установке низкотемпературного термолиза каменного угля в ТувИКОПР СО РАН (табл. 1–2).

Установка состоит из узла подготовки каменного угля, из которого уголь подается в бункер. Далее каменный уголь посредством шнекового питателя подается в узел прогрева, где поддерживается температура, достаточная для ожижения угля. Здесь же происходит его низкотемпературный пиролиз. После разогрева полужидкая масса угля подается в формовочный узел, где формируется коксовый кусок и закрепляется его форма. Газообразные продукты термолиза угля используются для его прогрева, за счет чего снижается себестоимость кокса и исключаются вредные выбросы в атмосферу. После формования коксовый кусок поступает в охладитель, где охлаждается водой и подается в упаковочный узел, а затем на склад. Установка разработана в модульном исполнении с целью снижения первичных затрат и обеспечения технологической гибкости. Излишки тепла могут быть использованы для обогрева производственных помещений комплекса или для продажи потребителям. В результате пиролиза угля происходит интенсивное выделение низкомолекулярных углеводородов в виде газа, который можно использовать для получения тепла и электроэнергии путем сжигания в специальных ДВС или турбинах. Образующийся газ используется для разогрева реактора. Получаемую при охлаждении кокса горячую воду можно использовать для обогрева помещений или реализовывать сторонним потребителям.

Исследования возможности применения коксового газа в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания проводились совместно с кафедрой автотранспорта Тувинского государственного университета. В настоящее время на кафедре смонтирован стенд для проведения исследований и произведена его калибровка на бензине АИ-92. Смонтировано газобаллонное оборудование и проведена калибровка на пропан-бутановой газовой смеси.

Таблица 1

Технические характеристики экспериментальной установки

Производительность по коксу	3 т/сут
Производительность по газу	600 000 куб. м ³ /год
Выход газа	52%
Рабочая температура	400–800 град.
Размеры	1×1.5×1.2 м
Расход воды	10 куб. м ³ /час
Расход воздуха	3600 куб. м ³ /час
Размеры кусков полукокса	0,5–10 × 0,5–6 см
Механическая прочность	не менее 73 %
Массовая доля серы	менее 0,6 %
Массовая доля фосфора	менее 0,06 %
Массовая доля углерода	более 95,5 %
Теплотворная способность	7000 ккал

Таблица 2

Варианты реализации коксующихся и энергетических углей Тувы

Показатели	Железная дорога 10 млн т	Автотранспорт 2,5 / 10 млн т × 4	Глубокая переработка 0,45 / 10 млн т × 22,22
Вклад в ВРП, млрд руб.	18,4	2,9 / 11,6	1,9 / 42,22
Занятость:			
Новые рабочие места, мест	>13 000	1171 / 4500	960 / 20 000
Показатели республиканского бюджета:			
Ежегодные доходы от реализации сценариев, млрд руб.	5,6	0,9 / 3,6	0,4 / 8,9
Дотационность, %	15	68 / 17	74 / 3,3

Предлагаемый вариант глубокой энергохимической переработки коксующихся и энергетических углей Улуг-Хемского бассейна в объеме их планируемой реализации с использованием грузоперевозки по железной дороге Курагино–Кызыл в перспективе может обеспечить более высокий экономический эффект. Так, например, работа одной установки энергохимической переработки потребует увеличения добычи угля на 420 тыс. т/год, а 22 установок, обеспечивающих 3-х разовое увеличение вклада в ВРП и снижение дотационности региона до 3,3 %, — до 10 млн т/год.

Ввод в эксплуатацию наукоемкого экологически безопасного углеперерабатывающего комплекса глубокой энергохимической переработки 10 млн т каменного угля обеспечит (табл. 2): 20000 рабочих мест; выпуск брикетов бездымного топлива для частного жилого сектора или его газификацию; перевод на газ автомобильного транспорта; создание мощного холодильного комплекса для хранения и переработки животноводческой продукции; и др.

Сырьевая база горно-металлургического комплекса

Свинец, цинк, медь. На востоке Республики Тыва — на границе Тоджинского и Каа-Хемского кожуунов в Улугуйском рудном узле детально разведано Кызыл-Таштыгское месторождение — крупное по запасам колчеданных свинцово-цинковых руд с высоким содер-

жанием полезных компонентов. Кроме свинца (1,6%) и цинка (10,2%), руды обогащены золотом (1,17 г/т), серебром (48,7 г/т), селеном (76 г/т), теллуром (14 г/т), кадмием (0,24%) и содержат значительные количества барита (6,69%).

Это месторождение, до 30% запасов которого может быть отработано открытым способом, продано на аукционе для промышленного освоения российско-китайскому пользователю недр – компании ЛУНСИН. Ввод в эксплуатацию горнорудного предприятия, обеспечивающего выпуск концентратов цветных и благородных металлов (Zn, Pb, Cu, Ag, Au), способствует развитию экономики региона, повышению занятости населения, а в перспективе – достижению экономического уровня субъектов-доноров Российской Федерации. Горно-обогатительный комбинат может оказывать следующие виды воздействий на окружающую среду:

- площадное нарушение земной поверхности с изъятием полезных ископаемых из недр;
- изъятие хозяйственно ценных и биологически продуктивных участков земель, растительности и почвенного покрова;
- преобразование природных ландшафтов и формирование техногенного рельефа;
- нарушение гидрогеологических и гидрологических условий территории, связанное с необходимостью осушения горных выработок и отведением дренажных вод;
- выбросы вредных веществ в атмосферу (пыли, газов и летучей золы);
- складирование хвостов дробильной фабрики в хвостохранилище;
- размещение бытовых, коммунальных и промышленных отходов;
- производственный шум;
- угнетение биологических ресурсов, нарушение естественных условий обитания животных и птиц.

Серебро, кобальт, никель, мышьяк. Основой горнорудного комплекса Тувы до 1991 г. был комбинат «ТУВАКОБАЛЬТ», введенный в эксплуатацию в 1970 г. и ориентированный на выпуск кобальта, никеля и меди в виде концентрата, получаемого из комплексных серебро-золото-висмут-медно-никель-кобальтовых арсенидных руд Хову-Аксынского месторождения.

Аммиачно-карбонатная технология обогащения упорных сульфидно-мышьяковых руд, при условии ее совершенствования, применима для переработки различных видов минерального сырья (золоторудного, сурьмяно-серебряного, уран-фосфатного, литий-фтористого редкометалльного и др.). С 1970 по 1991 гг. добыча и переработка кобальтовой руды в ГМЦ выросла с 38 до 85 тыс. т. Совершенствование технологии обогащения арсенидных руд привело к повышению степени извлечения кобальта с 64 до 79% и позволило вовлекать в переработку более бедные руды, снизив содержание кобальта в товарной руде с 1,19 до 0,4%.

Разрушительное воздействие на борта карт захоронения отходов ливневыми потоками приводит к образованию, особенно в весенний период, временных водоемов, из которых пьют воду животные, что и приводит к их гибели. Выполнены специализированные биогеохимические исследования экологического состояния животного мира в зоне влияния эродированных арсенидно-кобальтовых жил месторождения Хову-Аксы и мышьяковистых отходов их гидрометаллургического передела ГОК «ТУВАКОБАЛЬТ», выявлены биологические индикаторы оценки экологической чистоты природной среды.

По прогнозным оценкам ТуВИКОПР СО РАН фактическая обеспеченность запасами составит не менее 20 лет. Большая доля запасов промышленных руд расположена на глубоких горизонтах и для их отработки необходима проходка шахтных стволов и уклонов на Северном и Южном участках с последующим соединением их на горизонте 1165 м путевой штольной протяженностью около 5 км. Экономически целесообразно отработать открытым способом (карьером) сульфидизированные скарны с карбонатно-арсенидными жилами до горизонта +1000 м, а глубже – шахтным способом. При возрождении кобальтового произ-

водства на базе переработки арсенидных руд необходимо внедрить разработанные в ТувИКОПР СО РАН технологии и оборудование, позволяющие: осуществлять глубокую гипохлоритно-аммиачно-карбонатную гидрометаллургическую переработку накопленных техногенных отходов и первичных арсенидно-кобальтовых руд с извлечением кобальта, никеля, меди, серебра, золота, висмута, мышьяка и других ценных компонентов, а в итоге — получать соли кобальта и кобальт-никель-медные металлические порошки высокой ценности и спроса.

Оценена эффективность возрождения кобальтового производства с использованием модульного комплекса ВТВ-50 для переработки кобальт-мышьяковых шламов из карт захоронения, экономико-технологические характеристики которой приведены ниже (табл. 3).

Таблица 3

Экономико-технологические характеристики установки ВТВ-50

Наименование характеристики	Оценка
Годовая производительность	50 тыс. т
Запасы шламов в карте № 1	291 тыс. т
Срок отработки карты	6 лет
Выпуск продукции в год	4354 тыс. \$
Общие затраты на выпуск продукции	2,04 млн \$
Валовая прибыль предприятия	2,18 млн \$
Налог на прибыль	0,76 млн \$
Чистая прибыль	1,42 млн \$
Рентабельность производства: по чистой прибыли	70 %
Численность работников	50 чел.
Первоначальные инвестиции	2,22 млн \$
Срок окупаемости инвестиций	12 месяцев

Медь, серебро, золото, молибден. На северо-востоке Тувы детально разведано Аксугское месторождение золото-медно-молибден-порфировых руд.

Месторождение выявлено в 1964 г. и предварительно разведано к 1980 г. Месторождение относится к категории крупных по запасам полезных компонентов и отличается более высоким содержанием меди от однотипных по формационной принадлежности разрабатываемых в настоящее время объектов (Сорское месторождение в Хакасии). В легко обогащаемых рудах, наряду с медью, содержатся молибден, золото, серебро, рений и другие ценные компоненты. Установлено, что промышленное благородно-металльное медно-молибденовое оруденение порфирового типа по склонению прослеживается не менее, чем на 1200 м. Ресурсы золота оцениваются в 110–150 т. Месторождение подготовлено к промышленному освоению ООО Голевской ГК ОАО «НОРИЛЬСКНИКЕЛЬ». Главные проблемы ввода его в эксплуатацию: отсутствие транспортной инфраструктуры; энергетическая необеспеченность; высокая вероятность негативного воздействия на биоресурсы бассейна рек Кижихем — Хамсыра.

Кызык-Чадское месторождение известно с давних пор, детально изучалось с 1949 г. В 1949–1955 гг. оно квалифицировалось как золото-медный объект. Разведочные работы были сосредоточены на 1-ом участке, представляющем собой массив гранитов размерами 1000×(100–200) м с наложенной вкрапленно-жильной золото-медной минерализацией. Позднее объект привлек к себе внимание как крупный молибден-медно-порфировый штокверк. Молибденово-медная минерализация штокверкового типа на месторождении развита на

площади $3,5 \times (0,3-0,5)$ км, накладывается на измененные порфиры и вмещающие окварцованные и кварц-серицитовые гидротермалиты. В 1954–1956 гг. эта рудная зона была вскрыта канавами, в центральной ее части пробурены 4 скважины глубиной 84–181 м. Канавами и скважинами установлено прожилково-вкрапленное штокверковое молибденово-медное оруденение, представленное молибденитом, халькопиритом, борнитом, энергитом, встречаются галенит и сфалерит. Содержание меди 0,03–2,6 %, молибдена 0,005–0,03 %. В 1972–1975 гг. в процессе крупномасштабной геологической съемки на месторождении были проведены геохимические и геофизические (методом ВП) исследования в масштабе 1 : 10 000, пройден ряд канав (Бухаров и др. 1977). На основе этих данных в 1976–1977 гг. проведены специализированные поисковые работы (Уссар, 1978), направленные на установление истинных масштабов оруденения с поверхности и на глубину. Суммарные ресурсы Кызык-Чадрского месторождения категорий P_1+P_2 составили по меди 1800 тыс. т, по молибдену 71,6 тыс. т. Поисковые работы показали, что структуры, контролирующие размещение Кызык-Чадрского интрузива, рудоносных порфиров и метасоматитов продолжают в западном направлении и прослеживаются в истоки ручья. Желвак и верховья р. Мезель. Здесь установлены мощные зоны катаклаза, дробления и изменения пород, интрузивные тела гранитов, проявления медной минерализации, геохимические ореолы меди, молибдена, цинка, аномалии ВП интенсивностью до 6–8 %. Это дает основание прогнозировать скрытое оруденение кызыкчадрского типа и на западном фланге месторождения. Перспективная площадь на оруденение составляет около 3 км². Подсчитанные методом аналогий ресурсы категории P_3 для участка Желвак–Мезель по меди составили 525 тыс. т, по молибдену — 22 тыс. т. Таким образом суммарные прогнозные ресурсы категорий $P_1+P_2+P_3$ Кызык-Чадрского рудного поля составляют: меди 2350 тыс. т, молибдена 93,6 тыс. т.

Золото, серебро и элементы платиновой группы. Территория Тувы является одним из старейших районов золотодобычи, с 1838 г. отрабатывались в основном золотоносные россыпи. Старательская добыча золота не сопровождалась достаточными объемами разведочных работ, в результате чего уже в начале 50-х годов государственная добыча была практически прекращена «в связи с истощением золотоносных россыпей». Поисковые работы Тувинской ГРЭ 1980–1993 гг., проведенные в Амыло-Сыстыгхемском узле (рис. 24), доказали неправомочность вывода об истощении россыпей. На площади более 900 кв. км была выявлена промышленная золотоносность долин р. Сыстыг-Хем и ее притоков. Разведанные запасы экзогенных (Большой и Малый Алгияк, Белелиг, Черная, Шет-Хем, Бажи-Хем и др.) и прогнозные ресурсы эндогенных (Октябрьское) месторождений позволили приступить к формированию на севере Тувы крупного района золотодобычи, а также к возобновлению поисковых и оценочных работ на золото, серебро и платиноиды. В ТувИКОПР СО РАН был составлен комплект прогнозных карт золотоносности территории Тувы (Прудников, 2004).

Октябрьское (Богом дарованное) месторождение малосульфидной кварцево-жильной формации представлено серией жильных зон, приуроченных к системе разломов субмеридионального простирания, по которой сопряжены вмещающие породы чингинской и аласугской свит венда и верхнего кембрия, прорванные штоками габбро-ордовикского возраста. Наиболее крупные кварцевые жилы Степановская, Григорьевская, Широкая и Никольская — имеют непостоянную мощность с частым чередованием раздувов (до 2–6 м) и пережимов. Содержание золота в кварцевых жилах колеблется от 2 до 40 г/т. Часто встречается прожилки и вкрапления самородного золота, однако большая часть его связана с пиритом и арсенипиритом. Прогнозные ресурсы, подсчитанные ранее по 10 жильным зонам, оценены в 6722 кг. Дополнительно в рудном поле выявлены еще 7 жильных зон, ресурсы золота в которых оценены в 4352 кг, 6 из них прослежены до глубины 190 м без признаков выклинивания ни по мощности, ни по содержанию. В результате изучения флюидных включений в кварце различных стадий из жил месторождения определены физико-химические парамет-

ры кремнисто-бикарбонатной аммиачно-метаново-углекислой рудообразующей системы, свидетельствующие о высокой вероятности формирования промышленных концентраций золота на глубинах до 4 км при температуре 200–310 °С и давлении — 850–2100 бар.

Тарданское месторождение золота в магнезиальных и известковых скарнах выявлено в 1962 г., разведано к 1984 г. Продано на аукционе в 2004 г. ООО «ТАРДАН-ГОЛД» для дополнительного геологического изучения с последующей добычей и переработкой руд по технологии гравитационно-чанового извлечения золота. Рудное поле Тарданского месторождения занимает площадь около 1 км², в пределах которой разведано 14 рудных тел, отстоящих друг от друга на 80–120 м. Мощность рудных тел обычно 1–3 м, в раздувах до 7 м, протяженность их от 50 м до 300 м. Содержание золота в рудных телах крайне неравномерное (от 2 до 100 г/т, в среднем 9,1 г/т). В настоящее время на месторождении реализуется комплекс горно-добычных и обогащательных работ с использованием технологий чанового вскрытия и обогащения упорных руд.

К числу перспективных объектов для наращивания промышленных запасов золота и их первоочередного освоения, кроме Октябрьского и Тарданского месторождений, относятся Хак-Саирское (Алдан-Маадырский рудный узел) и Гордеевское (Карабельдырский рудный узел) месторождения. Прогнозные ресурсы золота первого из них оценены до глубины 300 м в 45 т. Ресурсный потенциал территории Тувы по золоту ориентировочно оценен в 433 т, из которых не менее 67 т сосредоточено в россыпных месторождениях, а суммарная ценность планируемого к добыче шлихового и рудного золота может составить более 3 млрд USD. Старательские артели Тувы довели ежегодную добычу металла до 1700 кг, а долю в произведенном валовом продукте республики — до 27 %.

Редкие металлы и редкоземельные элементы. Республика Тыва является частью крупной Центрально-Азиатской редкометалльной провинции, в которой выявлены многочисленные объекты редкометалльных и редкоземельных руд различной формационной принадлежности. В их числе: Улуг-Танзекское тантал-ниобиевое, Тастыгское литиеносных пегматитов, Арысканское цирконий-иттриевое, Кара-Сугское барит-флюорит-редкоземельно-железорудно-карбонатитовое и др.

Тантал, ниобий. В 1984–1987 гг. проведена детальная разведка Улуг-Танзекского месторождения с утверждением запасов в ГКЗ СССР, которое расположено на водоразделе истоков рек Эрзин и Бурен в нагорье Сангилен. Рудоносный Улуг-Танзекский массив щелочных апогранитов расположен в юго-восточной части Тувы в пределах Сангиленского блока Тувинско-Монгольского сегмента ЦАСП, где он прорывает метаморфизованные венд-кембрийские терригенно-карбонатные толщи Каахемской структурно-фациальной зоны. Массив сложен кварц-альбит-микроклиновыми апогранитами, с которыми связано комплексное редкометалльное оруденение. Он имеет вытянутую в юго-восточном направлении форму штокверка (1,9 × 0,7 км), который прослежен на глубину до 700 м без признаков выклинивания. Для рудной минерализации характерно присутствие алюмофторидов (криолит, томсенолит, геарксутит — до 10 %). Широко развиты галенит, сфалерит и пирит. Редкометалльные минералы представлены пирохлором, колумбитом, цирконом и торитом, реже встречаются фергусонит, гагаринит, бастнезит и иттрофлюорит. Месторождение является крупным объектом, пригодным к отработке открытым способом. Окупаемость капложений — 6 лет при производительности по руде — 5 млн т/год. Обеспеченность запасами — 40 лет. Ценность полезных компонентов, без учета затрат на эксплуатационную разведку, добычу и переработку кондиционной руды, оценивается в 5 млрд USD, а ожидаемая стоимость товарной продукции в 300 млн USD/год с балансовой прибылью — 120 млн USD/год.

Иттрий, цирконий. Арысканское месторождение — крупное по запасам редких земель. Оно выявлено в 1952 г. и предварительно разведывалось в 1955–1959 и 1988–1992 гг. Месторождение располагается в 8 км от Аксугского золото-медно-молибден-порфирового месторождения и контролируется субширотной тектонической зоной, оперяющей андат-

ский разлом. Оно приурочено к апикальной части массива сиенитов, претерпевших щелочной метасоматоз. Главное рудное тело представлено альбититами, имеет форму удлиненно-го в широтном направлении купола. Мощность рудного тела изменяется от 15 м до 70 м, протяженность вдоль зоны дробления — 375 м. Для руд характерно резкое преобладание иттриевых земель над цериевыми. В жилах соотношение иттриевых и цериевых земель достигает 4:1, во вкрапленных рудах 2,5:1, а на глубоких горизонтах это соотношение составляет 1,3:1. Основным носителем редкоземельных элементов в рудах является фергусонит, с которым связано 61,8% всех редких земель, с малаконом — 21,6%, пирохлором — 9,7%, приоритом — 5,7% (табл. 4).

Таблица 4

Характеристика разведанных запасов месторождения Арыскан

Руды	Ед. изм.	Прожилково-вкрапленные руды		Жильные руды	
		C1	C2	C1	C2
Руда	т. т	4 079	2 144	5	3
Сумма оксидов редких земель (Y группы)	т	21 020	8 580	166	74
— пятиокись ниобия (Nb_2O_5)	т	17 193	7 077	87,1	21
— двуокись циркония (Zr_2O)	— “ —	148 690	454 600	1 360	779
— пятиокись тантала (Ta_2O_5)	— “ —	937	407	4	2
— двуокись гафния (Hf_2O)	— “ —	3 252	858	33	19
Содержания:					
— Сумма оксидов редких земель (Y группы)	%	0,52	0,40	3,26	2,80
— пятиокиси ниобия (Nb_2O_5)	— “ —	0,42	0,33	1,71	0,81
— двуокиси циркония (Zr_2O)	— “ —	3,64	2,12	26,78	29,52
— пятиокиси тантала (Ta_2O_5)	— “ —	0,023	0,019	0,069	0,064
— двуокиси гафния (Hf_2O)	— “ —	0,080	0,040	0,65	0,72

На базе разведанных запасов месторождения возможно создание горнорудного предприятия мощностью 200 тыс. т руды с выпуском продукции стоимостью 17 млн \$/год.

Литий. Тастыгское месторождение локализовано в карбонатных породах чартысской свиты верхнего протерозоя и представлено 120-ю сближенными жилами сподуменовых пегматитов, которые сосредоточены в жильном поле протяженностью 1200 м при ширине 375 м на южном и 150 м — на северном флангах. На глубину пегматитовые жилы прослежены до 700 м без признаков выклинивания. Наиболее продуктивными являются центральная и, особенно, южная части жильного поля, где сосредоточено более 80% всех запасов окиси лития и попутных компонентов. Длина жил — до 600 м, форма — плитообразная, нередко встречаются ветвящиеся жилы. Рудные минералы представлены преобладающим сподуменом, в меньшем количестве присутствуют касситерит, гельвин, берилл, ортит, циртолит, ксенотим, фергусонит, колумбит-танталит, флюорит. Главным полезным компонентом является литий, 93% которого сконцентрировано в сподумене и лишь 7% рассеяно в других минералах. Средние содержания окиси лития по месторождению — 1,46%, содержание сподумена в руде 20–22%. Попутными компонентами являются: бериллий, представленный гельвином (среднее содержание 0,022% BeO , запасы 8 813 т); ниобий и тантал, сосредоточенные в минералах группы пирохлора, фергусонита и колумбита (запасы Nb_2O_5 7 824 т,

среднее содержание 0,019%; запасы Ta_2O_5 — 3 949 т, — 0,0097%); олово в касситерите (запасы металла 21 363 т, — 0,052%). В фергюсоните содержатся также редкие земли (среднее содержание в руде 0,44%). Месторождение находится в условиях, благоприятных для открытой разработки. Запасы Тастыгского месторождения утверждены ГКЗ СССР в 1962 г. в количестве: руда — 40 737 тыс. т, окись лития — 596 тыс. т, среднее содержание окиси лития — 1,46%. Они отнесены к категории C_2 из-за отсутствия промышленных технологических испытаний. Запасы лития в сподуменовых пегматитах в рудном поле месторождения Тастыг на правом берегу реки Хусыин-гол позволяют создать горнорудное производство с годовым объемом переработки 100 тыс. т товарной руды с содержанием оксида лития 1,4% для выпуска бериллий-цирконий-литий-фтористого 7,5% концентрата стоимостью 4,6 млн \$/год или металлического лития на сумму, превышающую 65 млн \$/год.

Ртуть. Промышленные ртутные объекты Тувы размещены в Чазадыр-Терлигхайской металлогенической зоне, в контурах которой выделены Терлигхайское, Тунукское, Бертдагское, Чаданское, Чалайлыгское, Эльдигхемское, Чазадрское рудные поля. Наиболее изученное Терлигхайское рудное поле включает более 20 рудопроявлений и является наиболее перспективным для выявления новых рудных объектов. Одноименное жильное месторождение кварц-барит-киноварных руд детально разведано и интенсивно отрабатывалось разведочно-эксплуатационным предприятием горно-обогачительного комбината «ТУВАКОБАЛЫТ» с 1975 по 1986 гг. Ежегодно производилось до 40 т металлической ртути на сумму около 160 тыс. USD. Рудное поле Терлигхайского месторождения сложено эффузивно-осадочными образованиями нижнего девона (порфиритами, фельзит-порфирами, их туфобрекчиями), которые прорваны малыми интрузивами среднего и основного состава (габбро-диабазы, габбро-диориты). Ртутная минерализация локализована в контурах жильных зон, секущих вулканогенно-осадочные образования и интрузивы. Промышленная часть рудных тел определялась бортовым содержанием ртути 0,07%. Максимальная длина рудных тел достигает 315 м по простиранию и 230 м по падению. Форма рудных тел линзообразная, столбообразная. Выделяются вкрапленные, прожилково-вкрапленные и брекчиевые типы руд, в которых выявлено более 30 гипогенных и 16 гипергенных минералов. Главный рудный минерал — киноварь. Достаточно широко распространены пирит, марказит, в малых количествах встречаются гематит, халькопирит, швацит. К редким гипогенным рудным минералам относятся сфалерит, метациннабарит, онофрит. Из числа нерудных жильных минералов преобладают кварц и барит, реже присутствуют карбонаты. Конечными продуктами гидротермального изменения вмещающих пород являются широко распространенные: каолинит, дикцит, хлорит и гидрослюда. В пределах рудных тел выделяются: а) убогие руды с содержанием ртути менее 0,07%; б) рядовые руды — от 0,07% до 0,4%; в) богатые руды — более 0,4%. Разведанные запасы Терлигхайского месторождения были утверждены ГКЗ СССР в 1954 г. по категориям $B+C_1+C_2$ в количестве 1404 т. В настоящее время на Госбалансе числится по категориям: $A+B+C_1$ руды 698 тыс. т, ртути 1 548 т (ср. 0,2218%); C_2 — 264 тыс. т руды и 548 т металла. Оставшиеся в недрах запасы ртути составляют 2500 т, а с учетом запасов предварительно разведанного Арзакского месторождения, расположенного в 10 км к северо-востоку от Терлиг-Хая, превышают 3000 т. Их общая ценность — 120 млн USD. Перспективы наращивания сырьевой базы по ртути связаны с выявлением объектов золотортутной рудной формации в Ондумском, Пельоругском и Барлыкском узлах.

Карбонатитовые месторождения (Карасугское, Чайлюхемское, Улатай-Чозские) барит-флюорит-сидерит-редкоземельных руд Улатай-Чайлюхемского (Центрально-Тувинского) пояса рекомендованы к промышленному освоению. Проведена корреляция их с аналогичными объектами Забайкалья, Монголии и Северного Китая, определен абсолютный возраст — 119 Ма, дана оценка перспектив выявления новых промышленных объектов этого типа на территории Тувы и Монголии.

Карасугское карбонатитовое железорудно-барит-флюорит-редкоземельное месторождение расположено в 8 км к западу от сомона Ак-Дурук. В его геологическом строении участвуют нижнекембрийские эффузивно-осадочные и терригенные ордовикские породы, прорванные интрузивами габбро-монцонитов и грано-сиенитов торгалыкского комплекса ($v-\gamma \xi D_3-C_1$ tg). Рудоносные карбонатиты приурочены к крупной зоне разломов, образующих систему сопряженных между собой ветвящихся разрывов, которые сопровождаются серией опережающих дизъюнктивных нарушений второго порядка и вмещают тела сидерит-флюорит-барит-гематитовых руд. На месторождении выявлено 8 рудных тел линзообразной формы с размерами от 30×170 м до 100×850 м. В пространстве рудные тела имеют столбообразную форму и прослежены до глубины 1000 м. Месторождение имеет отчетливо выраженную зону окисления до глубины 100–300 м. Выделяется два типа руд: окисленные и первичные. Первые сложены гидроокислами железа (гидрогематитом, гетит-гидрогетитом, баритом и флюоритом), вторые — сидеритом, баритом, флюоритом и гематитом. Среди окисленных руд выделяются руды I сорта со средним содержанием железа более 26 % и руды II сорта — 23–26 % железа. Запасы руд I сорта составляют 93,36 млн т (ср. содержание железа 32,13 %), II сорта — 31,58 млн т (25,13 %). Разведанные руды месторождения характеризуются присутствием в промышленных количествах флюорита (9,0–13,63 %); барита (14,24–22,96 %); редких земель цериевой группы (0,87–1,12 %); иттрия (0,25–0,36), заключенного во флюорите; стронция (1,82–3,99); молибдена. В комплексных флюорит-барит-сидеритовых рудах среднее содержание железа составляет 32,2 %, барита — 17,58–20,36 %, флюорита — 11,73–13,0 %. Общие запасы окисленных и первичных железных руд оценены в 270,84 млн т. По состоянию на 1.01.1983 г. на баланс поставлены: запасы категорий $A+B+C_1+C_2$ — 319,6 млн т комплексных руд; прогнозные ресурсы P_1 — 782 млн т, P_2 — 473,7 млн т и P_3 — 50,8 млн т руды. Эти руды заключают в себе соответственно: 110,7 и 376,6 млн т разведанного и прогнозируемого железа; 34,7 и 125,4 млн т — флюорита; 61,6 и 187,2 млн т — барита; 7,5 и 46,1 млн т — окиси стронция; 72,8 и 209,9 тыс. т — молибдена; 3,25 и 10,66 млн т — редкоземельных элементов (ГТР).

Улатай-Чозское рудное поле карбонатитов контролируется Убсунур-Баянкольской зоной разломов глубинного заложения и приурочено участку сопряжения клиновидных окончаний Элегест-Южно-Торгалыкской и Тээли-Чозской пликативных структур Тувинского эпикаледонского устойчивого массива. Интрузивные образования Улатай-Чозского рудного поля представлены породами габбро-граносиенитовой формации (торгалыкский комплекс) раннекаменноугольного возраста. Габброиды (габбро-пироксениты, габбро-диабазы, долериты) этого комплекса образуют силлообразные залежи, штоки и дайки преимущественно в поле развития метаморфических сланцев, реже — среди вулканитов эйфеля и карбонатно-терригенных образований живета. Гранитоиды (амазонитовые граниты, граносиениты и сиенит-порфиры) в виде штоков и жиллообразных массивов локализованы вблизи северного тектонического контакта метаморфических сланцев с песчаниками и алевролитами среднего девона. Тээли-Чозская структура имеет форму коробчатой антиклинали и сложена карбонатно-терригенно-вулканогенными образованиями саглинской и таштыпской свит эйфеля, несогласно перекрытых песчано-мергелисто-алевролитовыми отложениями ихейской и илеморовской свит живетского возраста. В подошве ихейской свиты локализована мощная многоярусная силлообразная залежь габбро-диабазов с магмоподводящими neckами габбро-пироксенитов, габбро-норитов, диабазов. Редкоземельное флюорит-барит-гематит-сидеритовое оруденение тяготеет к сбрососдвиговым зонам, ограничивающим северный и южный фланги рудного поля и выходит далеко за его пределы на севере и северо-востоке. Карбонатитовые руды локализованы преимущественно в песчано-мергелисто-алевролитовых отложениях живета и вулканогенно-осадочных образованиях эйфеля в структурной связи с массивами щелочных габбро-монцонитов и лимбургитов. Околорудные изменения в связи с карбонатитами представлены зонами сидеритизации и аргиллизации. В редкозе-

мельных барий-фтористых карбонатах Улатай-Чозского рудного поля одним из главных минералов является флюорит. Он присутствует в минеральных парагенезисах разных уровней вертикальной рудно-метасоматической колонны — сидерит-флюоритовом, флюорит-гематитовом, флюорит-гематит-бастнезитовом и позднем флюорит-кальцитовом. По данным С.А. Бредихиной (1991) и И.Р. Прокопьева (2014) карбонатитовое оруденение в месторождениях Улатай-Чозской группы, как и месторождения Кара-Суг, формировалось в две стадии. Для ранней стадии характерно отложение основной массы флюорита двух генераций. Результаты изучения в них газово-жидких включений свидетельствуют об исключительно высоких концентрациях хлоридов натрия и калия, кальция и железа, а также присутствии углекислоты и метана. Температуры минералообразования в первую стадию минералообразования превышали 800 °С. Поздняя стадия карбонатитообразования отличается от ранней меньшими концентрациями хлоридов натрия, минимальными количествами хлоридов калия и отсутствием углекислоты. Температуры минералообразования снижаются до 350–320 °С. В целом же карбонатитообразование происходило на фоне снижения не только температуры (от 800 °С до 320 °С), но и давления (от 3,5 кбар до 2,0 кбар и менее) при относительном нарастании щелочности и окислительного потенциала от ранних к поздним стадиям и верхним уровням гидротермально-метасоматической колонны.

Баянкольское месторождение небокситного алюминия в массиве нефелиновых сиенитов расположено в центральной части Сангиленского нагорья в 400 км от г. Кызыла и в 40 км от месторождения редких (тантал, ниобий и др.) металлов Улуг-Танзек. Овальный в плане Баянкольский массив площадью 12 км² расчленен долиной реки Баян-Кол на лево- и правобережную части. Основная часть нефелиновых руд месторождения приурочена к правобережной части массива, где на площади 1,5 км² оконтурено тело уртитов с бортовым содержанием трехоксида алюминия 24 %. Среднее содержание глинозема в этом контуре составляет 27,62 %. На месторождении проведена предварительная разведка: с поверхности оно вскрыто магистральными каналами, а на глубину до 300 м — буровыми скважинами. Запасы правобережной части месторождения подсчитаны по категории С₁+С₂ и составляют около 300 млн т глинозема. Прогнозные ресурсы богатых нефелиновых руд Баянкольского месторождения оцениваются в 1 млрд т. Технологические испытания руд, выполненные ВАМИ показали их близость к рудам разрабатываемого Кия-Шалтырского месторождения (Республика Хакасия), как по содержанию полезного компонента, так и по извлечению его из полученного качественного спека. Запасы месторождения не поставлены на Государственный баланс, хотя и прошли апробацию в ГКЗ СССР (1989 г.). Баянкольское месторождение расположено в непосредственной близости от крупнейшего одноименного месторождения химически чистых известняков, представляющих качественное флюсовое сырье для производства глинозема.

Стратегией социально-экономического развития Республики Тыва до 2030 г. подчеркнуто, что до 2020 г. в Туве будет формироваться производственная инфраструктура горно-добывающего комплекса с «принудительным» попутным решением возникающих социальных и экологических проблем. Тем не менее, эта стратегия должна дополняться инновационным развитием — созданием регионального научно-образовательного комплекса, консолидирующего научные исследования, использующего накопленный опыт, учитывающего традиции, навыки, ценности и нормы этносов, населяющих республику. Инновационный прорыв в Республике Тыва возможен в результате реализации проекта строительства железной дороги Курагино-Кызыл и последующего наращивания транспортной инфраструктуры с выходом к железнодорожным коммуникациям Монголии и Китая для развития горнопромышленного комплекса Центральной Азии и внешнеторговых отношений со странами Азиатско-Тихоокеанского региона.

ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ЭКСПЕРТИЗА И ИННОВАЦИИ

Р.В. Галиулин, вед. науч. сотр. ИФПБ РАН, д-р геогр. наук, rauf-galiulin@rambler.ru
В.Н. Башкин, гл. науч. сотр. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и ИФХиБПП РАН, проф., д-р биол. наук, vladimir.bashkin@rambler.ru
Р.А. Галиуллина, науч. сотр. ИФПБ РАН, rosa_g@rambler.ru

Проведена экспертиза информации, касающейся проблемы безопасного применения метанола в газовой промышленности, в качестве ингибитора гидратообразования, с целью выявления инноваций по различным экологическим аспектам. В числе этих инноваций подходы и способы, связанные со снижением риска загрязнения окружающей среды метанолом и интоксикации в производственных условиях, с контролем воздействия метанола на человека, утилизацией и очисткой сточных вод и почвы от данного вещества.

Ключевые слова: метанол, газовая промышленность, ингибитор гидратообразования, экспертиза, инновации, подходы, способы.

PROBLEM OF SAFE USE OF METHANOL IN THE GAS INDUSTRY: EXAMINATION AND INNOVATIONS

R.V. Galiulin, Leading Researcher of IBBP RAS, Ph.D. of Geographic Sciences, rauf-galiulin@rambler.ru
V.N. Bashkin, Chief Researcher of «Gazprom VNIIGAZ» LLC and IPBPSS RAS, Professor, Ph.D. of Biology, vladimir.bashkin@rambler.ru
R.A. Galiulina, Researcher of IBBP RAS, rosa_g@rambler.ru

Examination of information concerning a problem of safe use of methanol in the gas industry as hydrate formation inhibitor purposing the discovery of innovations on various ecological aspects is carried out. Among these innovations are approaches and methods connected with decrease of environmental pollution risk by methanol and intoxication under production conditions, control of methanol impact on the human, utilization and cleaning of sewage and soil from this substance.

Keywords: methanol, gas industry, hydrate formation inhibitor, examination, innovations, approaches, methods.

Метанол (CH_3OH) применяется в газовой промышленности в качестве ингибитора гидратообразования, т.е. для борьбы с таким нежелательным явлением, как образованием при определенных термобарических условиях из воды и низкомолекулярных газов, так называемых газовых гидратов в виде кристаллических соединений [1, 2]. Газовые гидраты приводят к технологическим осложнениям при бурении и эксплуатации скважин на нефть и газ, а также при сооружении плавучих платформ. Интересно отметить, что ряд природных катаклизмов и так называемых загадочных явлений находит «газогидратное объяснение», например, Бермудский треугольник (район в Атлантическом океане), а также подводные оползни и обвалы.

Между тем, механизм действия метанола, относящегося к классу термодинамических ингибиторов гидратообразования, заключается в снижении активности воды в водном растворе, вследствие чего изменяются равновесные условия образования гидратов. Так, закачка метанола в призабойную зону скважины газогидратных месторождений вызывает не только

разложение газовых гидратов на забое скважины, но и улучшает фильтрационные характеристики призабойной зоны, т.е. участка пласта, примыкающего к стволу скважины. Кроме того, высокая адсорбционная способность метанола используется для удаления воды после гидростатических испытаний газопроводов, а также в низкотемпературных процессах очистки природного газа от углекислого газа (CO_2), сероводорода (H_2S) и других серосодержащих органических соединений.

Повсеместное использование метанола, и особенно на газодобывающих предприятиях Крайнего Севера, обусловлено рядом причин, в числе которых, относительно низкая его стоимость по сравнению с другими ингибиторами гидратообразования (гликолями, поверхностно-активными веществами, водорастворимыми полимерными композициями), наивысшая среди известных ингибиторов антигидратная активность, сохраняющаяся даже при низких температурах, очень низкая температура замерзания концентрированных растворов метанола и исключительно малая их вязкость даже при температуре ниже $-50\text{ }^\circ\text{C}$ [3].

Цель данной работы состояла в экспертизе, т.е. в анализе, систематизации и обобщении информации, касающейся проблемы безопасного применения метанола в газовой промышленности, в качестве ингибитора гидратообразования, с целью выявления инноваций, т.е. подходов и способов по различным экологическим аспектам, а именно: по снижению риска загрязнения окружающей среды метанолом в результате его аварийных выбросов и разливов и интоксикации в производственных условиях, по контролю воздействия метанола на человека и утилизации и очистке сточных вод и почвы от данного вещества.

Инновация по снижению риска загрязнения окружающей среды метанолом

Загрязнение окружающей среды метанолом происходит в результате его аварийных выбросов или разливов при производстве, транспортировке и применении данного вещества. При этом количество аварийных выбросов или разливов метанола или промышленных сточных вод, содержащих это вещество нельзя планировать, а избежать их на 100% практически невозможно.

Между тем самый большой риск загрязнения окружающей среды метанолом представляет его транспортировка на газодобывающие предприятия. Так, например, транспортная схема обеспечения газодобывающих предприятий метанолом, существующая в настоящее время на Надым-Пур-Тазовском нефтегазоносном регионе (Ямало-Ненецкий автономный округ, $67^\circ 15'$ с.ш., $74^\circ 40'$ в.д.) включает несколько этапов, а именно [3]: залив метанола в железнодорожные цистерны на заводе-изготовителе и их транспортировка на головную базу, перелив метанола из железнодорожных цистерн в стационарные емкости для хранения, подготовка метанола к его использованию путем добавления одорантов или красителя, перелив метанола из стационарных емкостей в автомобильные цистерны и их транспортировка до базы метанола на газодобывающем предприятии, где осуществляется перелив метанола из автомобильных цистерн в стационарные емкости, затем перелив из стационарных емкостей в другие автомобильные цистерны и транспортировка метанола на конкретные объекты потребления.

Загрязнение окружающей среды метанолом при различных обстоятельствах подтверждают ниже приведенные примеры. Так, недавно, в Свердловской области на железнодорожной станции произошла утечка значительного количества метанола (850 л) из цистерны на почвенный покров [4]. Серия инцидентов, связанных с высоким загрязнением атмосферного воздуха метанолом, т.е. до 10, 15 и 22 предельно допустимой концентрации (ПДК), была зарегистрирована в Тульской области [5–7]. Высокое и экстремально высокое загрязнение метанолом речной воды, соответственно, до 32 и 58 ПДК, было установлено в Вологодской области [5, 8]. В одном из городов Кемеровской области в воде скважин на территориях химических предприятий был обнаружен метанол в концентрации, превышающей его ПДК, а в Архангельской области метанол был отнесен к числу приоритетных загрязнителей источников питьевой воды, требующих постоянного контроля [9, 10].

Между тем, высокий риск загрязнения водных объектов и интоксикации их ихтиофауны может представлять транспортировка метанола в период навигации на грузовых судах по реке Оби и Тазовской губе (морскому заливу) на Юрхаровское газоконденсатное месторождение Надым-Пур-Тазовского нефтегазоносного региона, когда нельзя на 100 % исключить инциденты, приводящие к аварийному разливу метанола в воду [11, 12]. Как известно, река Обь и Тазовская губа относятся к водоемам высшей рыбохозяйственной категории, как местам нагула ценных пород осетровых и сиговых рыб.

Инновацией по снижению риска загрязнения окружающей среды в результате аварийных выбросов и разливов метанола, в частности, при его транспортировке метанола на большие расстояния, как по суше, так и по воде, может быть подход по созданию малотоннажного производства метанола в форме мини-заводов в непосредственной близости к месту его использования, т.е. в районе добычи природного газа, а также вторичное использование отработанного метанола путем его регенерации [2, 11, 12]. Подобного рода мини-заводы с упрощенной технологической схемой монтируются в быстро воспроизводимом модульном сооружении и позволяют полностью отказаться от централизованного снабжения газодобывающих предприятий метанолом [13]. При этом в качестве сырья для производства метанола может быть использован свой же природный газ, в котором, как известно, содержание метана (CH_4) составляет от 70 до 98 %. Первоначально паровой конверсией метана получают, так называемый синтез-газ (смесь монооксида углерода и водорода), а затем на медно-цинковом оксидном катализаторе из него синтезируют искомое вещество – метанол:



Инновация по снижению риска интоксикации метанолом в производственных условиях

Метанол является сильным, преимущественно нервным и сосудистым ядом с резко выраженным кумулятивным эффектом, т.е. усиленным токсическим действием в результате его накопления в организме при кратных поступлениях [1, 14, 15]. Наибольшее количество метанола накапливается в печени и почках [16]. Установлено, что часть поступившего в организм метанола через несколько суток выделяется слизистой оболочкой в просвет желудка и затем снова всасывается. Метанол при пероральном попадании в организм человека вызывает циркуляторный коллапс, т.е. острую сосудистую недостаточность, сопровождающуюся резким падением кровяного давления [15]. Особую токсичность метанола связывают с образованием из него в организме формальдегида (НСОН) и муравьиной кислоты (НСООН):



За счет образования именно этих веществ, а также медленного распада метанола обусловлена тяжесть интоксикации. При любом пути поступления метанола типичны поражения зрительного нерва и сетчатки глаза, отмечаемые как при острых, так и при хронических интоксикациях. Пары метанола сильно раздражают слизистые оболочки глаз и дыхательных путей. Поступление метанола в желудок опасно в количестве даже 5–10 мл, а смертельной дозой является 30 мл. Симптомы отравления (тошнота, рвота) могут наступать как вскоре после попадания вещества, так и через несколько часов, на следующий день или еще позднее. В тяжелых случаях наблюдаются резкая синюшность, глубокое и затрудненное дыхание, судороги, слабый учащенный пульс, отсутствие реакции зрачков, и смерть наступает от остановки дыхания. Пострадавшие, находящиеся в сознании, жалуются на головную боль, сильнейшие боли во всем теле и в желудке, мелькание перед глазами и неясность видения. Неисчезающее расширение зрачков указывает на возможность рецидива или стойкого расстройства зрения. Функциональная неполноценность печени не исчезает с наступлением клинического выздоровления, которое протекает очень медленно.

Ранние симптомы хронической интоксикации метанолом проявляются в виде концентрического сужения границ цветного зрения, нарастающего со временем и атрофии зри-

тельного нерва, т.е. уменьшения его размеров, сопровождающегося нарушением или прекращением функции и отеком. У лиц с хронической интоксикацией метанола в производственных условиях возникает изменение белковообразовательной функции печени. Имеют место — быстрая утомляемость, головная боль во второй половине дня, раздражительность, плаксивость и боль в правом подреберье. При малых концентрациях метанола отравление развивается постепенно и характеризуется раздражением слизистых оболочек, частыми заболеваниями дыхательных путей, головными болями, звоном в ушах, невритами и расстройствами зрения. Отравление организма при попадании на кожу метанола обычно происходит при одновременном вдыхании его паров. Поступление метанола в организм через кожу и дыхательные пути связано с особыми условиями, как случайным обливом веществом поверхности тела (без проведения немедленной нейтрализации) и длительным пребыванием в атмосфере, содержащей метанол [16]. Для профилактики раннего негативного действия метанола представляется важным и необходимым определение данного вещества в биологических жидкостях организма (крови и моче), например, газохроматографическим методом.

Инновацией по снижению риска интоксикации метанолом в производственных условиях, например, вследствие его ошибочного употребления, является подход по искусственному изменению таких его органолептических свойств, как запаха и цвета, путем добавления в метанол одорантов — этилмеркаптана (C_2H_5SH , 1:1000) или керосина (1:100) и темного красителя (2,5:1000) [3].

Инновация по контролю воздействия метанола на человека

Как известно, оценка загрязнения, таких компонентов окружающей среды, как воздуха и воды метанолом осуществляется по гигиеническим нормативам в форме его соответствующих ПДК, а человека в производственных условиях в форме предельно допустимого уровня (ПДУ) метанола на коже его рук (см. табл.) [1, 14]. Здесь, под ПДК вещества в воздухе рабочей зоны подразумевается концентрация, которая в течение всего рабочего стажа не должна привести к заболеванию или отклонению в состоянии здоровья; ПДК вещества максимальная разовая — концентрация в воздухе населенных мест, которая при вдыхании в течение 30 мин не должна вызывать рефлекторных реакций в организме человека; ПДК вещества среднесуточная — концентрация в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека негативного воздействия при неопределенно долгом вдыхании; ПДК вещества в сточных водах, поступающих на сооружения микробиологической очистки — концентрация, которая не должна оказывать негативного воздействия на микрофлору, осуществляющую очистку сточных вод от данного вещества; ПДК вещества в воде водных объектов — концентрация, которая не должна оказывать негативного влияния на организм человека и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования; ПДУ вещества на коже рук — концентрация, которая в течение всего рабочего стажа не должна привести к заболеванию или отклонению в состоянии здоровья.

Гигиенические нормативы метанола для различных сред и человека

Гигиенический норматив	Среда и человек	Значение
Предельно допустимая концентрация	В воздухе рабочей зоны	5 мг/м ³
	Максимальная разовая в воздухе населенных мест	1 мг/м ³
	Среднесуточная в воздухе населенных мест	0,5 мг/м ³
	В сточных водах, поступающих на сооружения микробиологической очистки метанола	200 мг/л
	В воде водных объектов	3 мг/л
Предельно допустимый уровень	На коже рук	0,02 мг/см ²

Известно, что одним из существенных источников поступления метанола в организм человека в производственных условиях является загрязненный данным веществом воздух, контролю которого придается особое значение. Примером осуществления такого контроля являются исследования [17], выполненные на Астраханском газоперерабатывающем заводе, где газохроматографическим методом было установлено, что максимальное содержание метанола в производственных помещениях оказалось ниже или незначительно превышало его ПДК для воздуха рабочей зоны. Другим примером контроля загрязнения воздуха рабочей зоны метанолом являются результаты мониторинга, выполненного на ряде химических производств по получению метанола, расположенных в Восточной Сибири, когда было установлено, что за наблюдаемый период времени не отмечалось превышения гигиенических нормативов данного вещества [18].

Однако считается, что определение метанола в биологических средах человека (крови и моче) более актуально, чем определение данного вещества в атмосферном воздухе, поскольку анализ разовой пробы в зоне дыхания может неадекватно отражать негативное воздействие метанола на организм [16]. И поэтому инновацией по контролю воздействия метанола на человека в производственных условиях можно считать подход, связанный с анализом содержания вещества в вышеуказанных биологических средах.

Инновации по утилизации и очистке сточных вод и почв, содержащих метанол

Как известно, сточные воды, образуемые на предприятиях газовой промышленности, наряду с метанолом содержат ряд других специфических компонентов (углеводороды, фенолы, гликоли, сероводород и другие вещества) [19]. При этом способ утилизации подобного рода сточных вод, например, сжиганием на газофакельных установках не является экологически безопасным, так как опасные продукты сгорания компонентов сточных вод поступают в атмосферный воздух, затем оседают на почву и поверхностные воды. К другому способу утилизации сточных вод, широко практикуемому в газовой промышленности, относится их подземное захоронение, которое должно осуществляться путем закачки сточных вод в глубокие, надежно изолированные водоносные горизонты, не содержащие пресных, бальнеологических, минеральных и термальных вод. Считается, что подземное захоронение сточных вод в область депрессионной воронки в водонапорной системе разрабатываемого месторождения природного газа может быть осуществлено при невозможности очистки сточных вод от метанола и других компонентов до требуемых ПДК. Так, например, утилизация не поддающихся очистке сточных вод Астраханского газоконденсатного комплекса, производится путем их закачивания через скважины в пласт триасово-нижнемеловых отложений на глубину около 2000 м [20].

Однако естественно возникает вопрос: захоронение сточных вод в недра Земли — это решение проблемы утилизации или создание новой экологической проблемы, что, прежде всего, связано с сохранением качества подземных вод [21]. Для экологически безопасного решения проблемы захоронения сточных вод необходимо — основательно изучить геолого-гидрологические условия места захоронения сточных вод, вести постоянный мониторинг за состоянием подземных вод, максимально уменьшить концентрацию самих загрязняющих веществ в сточных водах и изучить возможные процессы взаимодействия сточных вод при их захоронении с вмещающими породами и подземными водами.

С экологической точки зрения инновациями по утилизации и очистке сточных вод и почв, содержащих метанол, могут быть только те подходы и способы, которые направлены на максимально возможную очистку сточных вод и почв от метанола, по крайней мере, до определенных гигиенических нормативов. Ниже описываются инновации, ориентированные на очистку сточных вод с преобладающим содержанием метанола в их составе, так называемых метанолсодержащих вод. Так, в работе [22] представлена технологическая схема извлечения метанола из сточных вод предприятия химической промышленности на основе процесса ректификации, т. е. путем испарения жидкости и отдельной конденсации паров

различных компонентов. При этом использовался метод периодической ректификации, который в отличие от непрерывного процесса позволяет разделить смесь и извлечь метанол в одной ректификационной колонне вместо двух.

Известен также способ очистки метанолсодержащих вод путем их ультрафиолетового облучения эксилампами (газоразрядными лампами) в присутствии азотной кислоты (HNO_3) как сильного окислителя [23]. При этом под воздействием ультрафиолетового облучения происходит фотолиз воды и азотной кислоты с образованием высокореактивных радикалов — $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{H}$, $\text{NO}_2\cdot$ и $\cdot\text{NO}$, которые в дальнейшем вступают в реакции с метанолом с образованием конечных продуктов CO_2 , H_2O и NH_3 . В условиях *in vitro* эксперимента было установлено, что в метанолсодержащих водах с добавлением азотной кислоты (при соотношении $\text{CH}_3\text{OH}:\text{HNO}_3$, 10:1) под действием ультрафиолетового облучения с длиной волны $\lambda = 172$ нм (Xe_2 — эксилампа) концентрация метанола в водах за 16 мин уменьшалась с 35,0 до 2,6 мг/л, т.е. в 13,5 раза, а при использовании аналогичного облучения с длиной волны $\lambda = 222$ нм (KrCl — эксилампа) уменьшалась с 338,0 до 14,6 мг/л, т.е. в 23 раза.

В работе [24] предложена технологическая схема извлечения метанола из сточных вод газоконденсатных месторождений, заключающаяся в регенерации данного вещества ректификацией с последующим глубоким каталитическим окислением его остаточных количеств в кубовом остатке, т.е. неиспарившейся жидкости. При этом 100 % окисление метанола в кубовом остатке в концентрации до 1,5 % достигается при использовании медно-хромо-магниевого и хромо-магниевого катализатора на носителе из оксида алюминия (Al_2O_3). Продолжительность контакта метанолсодержащей воды с катализатором была не менее 0,9 секунд при температуре не ниже 450°C . Между тем исследования [25] показали также возможность 100 % очистки сточных вод от метанола на медно-хромо-цинковом катализаторе при 250°C с начальным содержанием вещества до 5 %.

В другом способе очистки не только метанолсодержащих вод, но и почвы от метанола, как источника вторичного загрязнения поверхностных и подземных вод используются микроорганизмы. Так, в работах [26, 27] очистка указанных сред производится с помощью биопрепаратов в виде высушенных активных биомасс метилотрофных бактерий (*Acinetobacter calcoaceticus* и *Methylobacterium methanica*), выделенных из озерной воды и почвы. Очистка загрязненных сред от метанола происходит путем микробиологической трансформации (окисления) данного вещества через формальдегид и муравьиную кислоту до диоксида углерода и воды:



При этом очистку метанолсодержащих вод можно выполнять непосредственно в специальных прудах-накопителях, оснащенных системой компрессоров для нагнетания воздуха в объем очищаемой воды и одновременной ее обработки биопрепаратом. Так, в условиях ферментера было установлено, что при объемном содержании метанола в воде в количестве 1 % очистка последней происходила за 22 часа, при 2 % — за 36 часов.

Между тем, для снижения риска попадания метанола из загрязненной почвы в поверхностные и подземные воды возникает необходимость ее очистки, которую также проводят с помощью вышеуказанных биопрепаратов [26]. Так, при поверхностном (0–5 см) и подповерхностном (5–30 см) загрязнении почвы метанолом ее обрабатывают специально приготовленной суспензией биопрепарата (в растворе минеральных удобрений). При этом до и после обработки биопрепаратом верхние слои почвенного профиля подвергают рыхлению. При глубинном загрязнении почвенного профиля метанолом (до 100 см), его слой полностью экскавируют и складывают в виде бурта на специально подготовленную площадку с водонепроницаемым основанием и системой перфорированных труб, проходящих через толщу бурта и обеспечивающих интенсивную аэрацию с помощью компрессоров. Бурт обрабатывают биопрепаратом, периодически подвергают рыхлению и после очистки экскавированный слой возвращают на место выемки. Для очистки нижних слоев почвенного профи-

ля прокладывают скважины на всю глубину загрязнения вплоть до зеркала грунтовых вод, в которые через перфорированные трубы прокачивают суспензию биопрепарата и воздух.

Заключение

Таким образом, экспертиза информации, касающейся проблемы безопасного применения метанола в газовой промышленности позволила выявить целый ряд инноваций по различным экологическим аспектам. В числе этих инноваций, подходы и способы, связанные со снижением риска загрязнения окружающей среды метанолом и интоксикации в производственных условиях, с контролем воздействия метанола на человека, утилизацией и очисткой сточных вод и почвы от данного вещества. Использование этих инноваций будет способствовать максимально безопасному применению метанола в качестве ингибитора гидратообразования, а также для удаления воды после гидростатических испытаний газопроводов и в процессах очистки природного газа от нежелательных компонентов.

Список литературы

1. Российская газовая энциклопедия. М.: Большая Российская энциклопедия, 2004. 527 с.
2. Истомин В.А., Минигулов Р.М., Грицишин Д.Н., Квон В.Г. Технологии предупреждения гидратообразования в промысловых системах: проблемы и перспективы // Газохимия. 2009. № 6. С. 32–40.
3. Грунвальд А.В. Рост потребления метанола в газовой промышленности России и геозологические риски, возникающие при его использовании в качестве ингибитора гидратообразования // Нефтегазовое дело. 2007. 25 с. Available at: <http://www.ogbus.ru>.
4. Дмитриевская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в марте 2014 г. // Метеорология и гидрология. 2014. № 6. С. 103–110.
5. Дмитриевская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в июле 2016 г. // Метеорология и гидрология. 2016. № 10. С. 103–110.
6. Дмитриевская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в июне 2016 г. // Метеорология и гидрология. 2016. № 9. С. 97–104.
7. Дмитриевская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в мае 2016 г. // Метеорология и гидрология. 2016. № 8. С. 100–106.
8. Дмитриевская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в августе 2016 г. // Метеорология и гидрология. 2016. № 11. С. 96–103.
9. Эльпинер Л.И. Современные медико-экологические аспекты учения о подземных водах // Гигиена и санитария. 2015. № 6. С. 39–46.
10. Унгурияну Т.Н. Риск для здоровья населения при комплексном действии веществ, загрязняющих питьевую воду // Экология человека. 2011. № 3. С. 14–20.
11. Юнусов Р.Р., Шевкунов С.Н., Дедовец С.А., Ушаков С.Н., Лятс К.Г., Самойлов А.П. Малотоннажные установки по производству метанола в газодобывающих районах Крайнего Севера // Газохимия. 2008. № 1. С. 58–61.
12. Долинский С.Э. Установки по производству метанола за Полярным кругом. Интеграция и компактность – залог наивысшей эффективности // Газохимия. 2009. № 4. С. 14–21.
13. Ладыгин К.В., Цукерман М.Я., Стомпель С.И. Метанол в газодобыче: снижение экологических рисков // Экология производства. 2014. № 4. С. 47–49.
14. Андреев О.П., Башкин В.Н., Галиулин Р.В., Арабский А.К., Маклюк О.В. Решение проблемы геозологических рисков в газовой промышленности. Обзорная информация // М.: Газпром ВНИИ-ГАЗ, 2011. 78 с.
15. Вредные вещества в промышленности. Л.: Химия, 1976. Т. 1. Органические вещества. 592 с.

16. Малютина Н.Н., Тараненко Л.А. Патолофизиологические и клинические аспекты воздействия метанола и формальдегида на организм человека // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2. 11 с.
17. Бойко О.В., Ахминеева А.Х., Бойко В.И., Гудинская Н.И. Влияние Астраханского газоперерабатывающего завода на загрязнение воздуха производственных помещений и территории // Гигиена и санитария. 2016. № 2. С. 167–171.
18. Тараненко Н.А., Мещакоева Н.М. Санитарно-гигиенические аспекты мониторинга за состоянием воздуха рабочей зоны химических производств по получению метанола и метиламинов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8. С. 812–815.
19. Аكوпова Г.С., Ильченко В.П., Попадьюко Н.В. Производственные сточные воды газовой отрасли: источники образования, состав, очистка и утилизация // Газовая промышленность. 2003. № 6. С. 76–78.
20. Абуталиева И.Р., Исакова В.В. Освоение газоконденсатных месторождений как фактор изменения геосистем Астраханского Прикаспия // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2010. № 2. С. 7–12.
21. Иванова А.Г. Захоронение промышленных вод в недра – решение проблемы утилизации или создание новой? (на примере Елшанской станции подземного хранения газа) // Поволжский экологический журнал. 2004. № 1. С. 58–68.
22. Пухлий В.А., Журавлев А.А., Померанская А.К., Пухлий П.В. Очистка сточных вод от метанола и ацетона // Энергетические установки и технологии. 2016. Т. 2. № 2. С. 68–77.
23. Медведев Ю.В., Польшгалов Ю.И., Ерофеев В.И., Ерофеев М.В., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Истомин В.А. Облучение метанольных растворов Xe_2 - и KrCl -эксиллампами барьерного разряда // Газовая промышленность. 2005. № 2. С. 63–65.
24. Бренчугина М.В., Буйновский А.С., Исмагилов З.Р., Кузнецов В.В. Разработка технологии очистки производственных вод газоконденсатных месторождений от метанола // Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 311. № 3. С. 64–68.
25. Шаркина В.И., Серегина Л.К., Шанкина В.Г., Фалькевич Г.С., Ростанин Н.Н. Очистка водометанольной фракции от метанола на промышленном катализаторе НТК-4 // Катализ в промышленности. 2012. № 1. С. 61–64.
26. Мурзаков Б.Г., Аكوпова Г.С., Маркина П.А. Очистка метанолсодержащих вод с помощью биологических препаратов // Газовая промышленность. 2005. № 12. С. 58–60.
27. Мурзаков Б.Г., Аكوпова Г.С., Маркина П.А. Выделение метилотрофных бактерий из микробиоценоза метанолсодержащих вод // Газовая промышленность. 2006. № 3. С. 83–85.

References

1. Rossiyskaya gazovaya entsiklopediya [Russian gas encyclopedia] (2004) Moscow, Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya publishing house, p. 527.
2. Istomin V.A., Minigulov R.M., Gritsishin D.N., Kvon V.G. (2009) *Tekhnologii preduprezhdeniya gidratoobrazovaniya v promyslovyykh sistemakh: problemy i perspektivy* [Technologies of the prevention of hydrate formation in mine systems: problems and prospects] *Gazokhimiya* [Gas chemistry]. No. 6, pp. 32–40.
3. Grunval'd A.V. (2007) *Rost potrebleniya metanola v gazovoy promyshlennosti Rossii i geoekologicheskie riski, vznikaiushchie pri ego ispolzovanii v kachestve ingibitora gidratoobrazovaniya* [Growth of methanol consumption in the gas industry of the Russia and the geoenvironmental risks arising at its use as hydrate formation inhibitor] *Neftegazovoe delo* [Oilgas business]. P. 25. Available at: <http://www.ogbus.ru>.
4. Dmitrevskaya E.S., Krasil'nikova T.A., Markova O.A. (2014) *O zagryaznenii prirodnoy sredy i radiatsionnoy obstanovke na territorii Rossiyskoy Federatsii v marte 2014 g.* [About pollution of the environment and radiation situation on the territory of the Russian Federation in March, 2014] *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology]. No. 6, pp. 103–110.
5. Dmitrevskaya E.S., Krasil'nikova T.A., Markova O.A. (2016) *O zagryaznenii prirodnoy sredy i radiatsionnoy obstanovke na territorii Rossiyskoy Federatsii v iule 2016 g.* [About pollution of the environment and radiation situation on the territory of the Russian Federation in July, 2016] *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology]. No. 10, pp. 103–110.

6. Dmitrevskaya E.S., Krasil'nikova T.A., Markova O.A. (2016) *O zagryaznenii prirodnoy sredy i radiatsionnoy obstanovke na territorii Rossiyskoy Federatsii v iune 2016 g.* [About pollution of the environment and radiation situation on the territory of the Russian Federation in June, 2016] *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology]. No. 9, pp. 97–104.
7. Dmitrevskaya E.S., Krasil'nikova T.A., Markova O.A. (2016) *O zagryaznenii prirodnoy sredy i radiatsionnoy obstanovke na territorii Rossiyskoy Federatsii v mae 2016 g.* [About pollution of the environment and a radiation situation on the territory of the Russian Federation in May, 2016] *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology]. No. 8, pp. 100–106.
8. Dmitrevskaya E.S., Krasil'nikova T.A., Markova O.A. (2016) *O zagryaznenii prirodnoy sredy i radiatsionnoy obstanovke na territorii Rossiyskoy Federatsii v avguste 2016 g.* [About pollution of the environment and radiation situation on the territory of the Russian Federation in August, 2016] *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology]. No. 11, pp. 96–103.
9. El'piner L.I. (2015) *Sovremennye mediko-ecologicheskie aspekty ucheniya o podzemnykh vodakh* [Modern medico-ecological aspects of the doctrine about underground waters] *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. No. 6, pp. 39–46.
10. Unguryanu T.N. (2011) *Risk dlya zdorov'ya naseleniya pri kompleksnom deystvii veshchestv, zagryaznyaiushchikh pit'evuiu vodu* [Risk for the population health at complex effect of the substances polluting drinking water] *Ekologiya cheloveka* [Ecology of human]. No. 3, pp. 14–20.
11. Iunusov R.R., Shevkunov S.N., Dedovets S.A., Ushakov S.N., Layts K.G., Samoylov A.P. (2008) *Malotonnazhnye ustanovki po proizvodstvu metanola v gazodobyvaiushchikh rayonakh Kraynego Severa* [Low-tonnage installations on production of methanol in the gas regions of the Far North] *Gazokhimiya* [Gas chemistry]. No. 1, pp. 58–61.
12. Dolinskiy S.E. (2009) *Ustanovki po proizvodstvu metanola za Polyarnym krugom. Integratsiya i kompaktnost' – zalog naivyshechey effektivnosti* [Installations on production of methanol behind a Polar circle. Integration and compactness – guarantee of the highest efficiency] *Gazokhimiya* [Gas chemistry]. No. 4, pp. 14–18.
13. Ladygin K.V., Tsukerman M.Ya., Stompel' S.I. (2014) *Metanol v gazodobyche: snizhenie ekologicheskikh riskov* [Methanol in gas production: decrease in environmental risks] *Ekologiya proizvodstva* [Ecology of production]. No. 4, pp. 47–49.
14. Andreev O.P., Bashkin V.N., Galiulin R.V., Arabskiy A.K., Makliuk O.V. (2011) *Reshenie problemy geoekologicheskikh riskov v gazovoy promyshlennosti. Obzornaya informatsiya* [Solution of the problem of geoenvironmental risks in the gas industry. Review information] Moscow, Gazprom VNIIGAZ publishing house, p. 78.
15. *Vrednye veshchestva v promyshlennosti* [Harmful substances in the industry] (1976). Leningrad, Khimiya publishing house, vol. 1. Organic substances, 592 p.
16. Maliutina N.N., Taranenko L.A. (2014) *Patofiziologicheskie i klinicheskie aspekty vozdeystviya metanola i formal'degida na organizm cheloveka* [Pathophysiological and clinical aspects of methanol and formic aldehyde influence on a human organism] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. No. 2, p. 11.
17. Boyko O.V., Akhmineeva A.Kh., Boyko V.I., Gudinskaya N.I. (2016) *Vliyanie Astrakhanskogo gazopererabatyvaiushchego zavoda na zagryaznenie vozdukh proizvodstvennykh pomeshcheniy i territorii* [Influence of the Astrakhan gas processing plant on air pollution of production premises and territories] *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. No. 2, pp. 167–171.
18. Taranenko N.A., Meshchakova N.M. (2015) *Sanitarno-gigienicheskie aspekty monitoringa za sostoyaniem vozdukh rabochey zony khimicheskikh proizvodstv po polucheniiu metanola i metilaminov* [Sanitary-hygienic aspects of monitoring of air state of the working zone of chemical productions on receiving of methanol and methylamines] *Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy* [International journal of applied and basic researches]. No. 8, pp. 812–815.
19. Akopova G.S., Il'chenko V.P., Popad'ko N.V. (2003) *Proizvodstvennye stochnye vody gazovoy otrasli: istochniki obrazovaniya, sostav, ochistka i utilizatsiya* [Production sewage of the gas industry: formation sources, composition, cleaning and utilization] *Gazovaya promyshlennost'* [Gas industry]. No. 6, pp. 76–78.
20. Abutalieva I.R., Isakova V.V. (2010) *Osvoenie gazokondensatnykh mestorozhdeniy kak faktor izmeneniya geosistem Astrakhanskogo Prikaspiya* [Settling of gas-condensate fields as factor of change of geosystems of the

Astrakhan Prikaspiy] *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Astrakhan state technical university]. No. 2, pp. 7–12.

21. Ivanova A.G. (2004) *Zakhoronenie promyshlennykh vod v nedra – reshenie problemy utilizatsii ili sozdanie novoy? (na primere Elshanskoy stantsii podzemnogo khraneniya gaza)* [Burial of industrial waters in a subsoil – a solution of the problem of utilization or creation new? (on example of the Elshansk station of underground storage of gas)] *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* [Volga region ecological journal]. No. 1, pp. 58–68.

22. Pukhliy V.A., Zhuravliev A.A., Pomeranskaya A.K., Pukhliy P.V. (2016) *Ochistka stochnykh vod ot metanola i atsetona* [Cleaning of sewage from methanol and acetone] *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii* [Power stations and technologies]. Vol. 2, no. 2, pp. 68–77.

23. Medvedev Iu.V., Polygalov Iu.I., Erofeev V.I., Erofeev M.V., Sosnin E.A., Tarasenko V.F., Istomin V.A. (2005) *Obluchenie metanol'nykh rastvorov Xe₂– i KrCl-eksilampami bar'ernogo razryada* [Radiation of methanol solutions by Xe₂– and KrCl-exilamps of barrier category] *Gazovaya promyshlennost'* [Gas industry]. No. 2, pp. 63–65.

24. Brenchugina M.V., Buynovskiy A.S., Ismagilov Z.R., Kuznetsov V.V. (2007) *Razrabotka tekhnologii ochistki proizvodstvennykh vod gazokondensatnykh mestorozhdeniy ot metanola* [Development of cleaning technology of production waters of gas-condensate fields from methanol] *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [News of Tomsk polytechnical university]. Vol. 311, no. 3, pp. 64–68.

25. Sharkina V.I., Seriegina L.K., Shchankina V.G., Fal'kevich G.S., Rostanin N.N. (2012) *Ochistka vodomethanol'noy fraktsii ot metanola na promyshlennom katalizatore NTK-4* [Cleaning of watermethanol fraction from methanol on the industrial NTK-4 catalyst] *Kataliz v promyshlennosti* [Catalysis in the industry]. No. 1, pp. 61–64.

26. Murzakov B.G., Akopova G.S., Markina P.A. (2005) *Ochistka metanolsoderzhashchikh vod s pomoshch'yu biologicheskikh preparatov* [Cleaning of methanol containing waters by means of biological preparations] *Gazovaya promyshlennost'* [Gas industry]. No. 12, pp. 58–60.

27. Murzakov B.G., Akopova G.S., Markina P.A. (2006) *Vydelenie metilotrofnykh bakteriy iz mikrobiotsenoza metanolsoderzhashchikh vod* [Extraction the methylotrophic bacteria from a microbiocenosis of the methanolcontaining waters] *Gazovaya promyshlennost'* [Gas industry]. No. 3, pp. 83–85.

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРТИЗЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Д.Е. Румянцев, проф. ФГБОУ ВО «Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана»
д-р биол. наук, dendro@mgul.ac.ru

В статье обсуждаются современные проблемы судебной дендрохронологии. Для их успешного решения, прежде всего, необходима унификация терминологии. Широкое практическое использование дендрохронологических экспертиз в лесном хозяйстве возможно только в сфере добровольной сертификации, но отдельные элементы дендрохронологических исследований могут быть использованы в судебной экспертизе, в первую очередь для защиты гражданских прав.

Ключевые слова: дендрохронология, судебно-ботаническая экспертиза, добровольная лесная сертификация, незаконные рубки, нелегальный оборот древесины.

DENDROCHRONOLOGICAL EXPERT EXAMINATION IN FORESTRY

D.E. Rumiancev, Professor, Mytishchi Branch of the Bauman MSTU, Ph.D. of Biology,
dendro@mgul.ac.ru

The modern problems of forensic dendrochronology are discussed. For their successful solving the unification of terminology is necessary. The wide practical use of dendrochronological expertise in forestry is possible in the sphere of voluntary certification only, but separate elements of dendrochronological investigations may be used in judicial expertise, especially for the protection of the rights of people.

Keywords: dendrochronology, forensic botany expertise, voluntary forest certification, illegal cutting, illegal timber trade.

В первую очередь для лесного хозяйства в настоящее время важен вопрос о дендрохронологических экспертизах, связанных с нелегальным оборотом древесины, что более подробно отражено в обзорах [2, 6]. Эта тема была предметом многолетних исследований в лаборатории дендрохронологии МГУ леса (<http://mgul.ac.ru/info/science/dendro>). Результаты этих исследований обсуждались на совещаниях и докладывались на конференциях. Опыт обсуждения позволяет обобщить те моменты, которые в первую очередь привлекают внимание аудитории: точность методики, экономическая затратность, юридические аспекты практического применения. Звучащая при обсуждении понятий «разноголосица» заставила сотрудников экспертного центра Минюста РФ подвергнуть существующие методики дендрохронологической экспертизы справедливой критике [3]. В самом деле, когда уважаемый эксперт Ю.М. Жаворонков употребляет в научной публикации термины «корреляция» и «синхронность» как синонимы [4], то это хорошо характеризует ту неразбериху, которая царит при обсуждении методик. «Масла в огонь» подлила работа медиа-центра «Здоровый лес» и в особенности журнала «Живой лес», которые благодаря активной, но малограмотной работе по «популяризации» вопроса запутали его окончательно.

Во-первых, когда мы говорим про использование дендрохронологической информации при контроле за легальностью оборота древесины, мы должны четко представлять: есть методы судебной экспертизы и есть методы, которые могут использоваться в рамках добровольной и недобровольной сертификации. Биологическая основа экспертизы в этом случае одна и та же, но конкретные формы методики (инструкции выполнения) могут варьировать прак-

тически бесконечно. Точность метода «дендрохронологической экспертизы» может быть любой, все зависит от исходных параметров, заданных (объективными обстоятельствами дела, либо субъективно) при экспертизе (например, известно ли предполагаемое место заготовки древесины, либо нет). Более того, точность элементарного вывода конкретной отдельно взятой экспертизы можно оценить только после выполнения экспертизы, точно также как, например, точность определения конкретного среднего диаметра в конкретном древостое можно установить только после выполнения перече́та и статистической обработки данных.

Во-вторых, в рассматриваемом контексте важно всегда иметь в виду, что существует не одна, а целых три группы экспертиз, в пределах которых есть разные виды экспертиз. Все они отличаются по методологии и как следствие по методике: необходимому числу образцов и методам анализа материала.

Первая группа экспертиз базируется на методе перекрестной датировки. Это старейший метод, с которого началась дендрохронология как самостоятельное научное направление, ему более ста лет, а отдельные элементы его использовались и в более ранних работах ботаников [10]. Метод надежен, широко используется, например, Всемирным фондом охраны дикой природы [11]. В России одной из подробных и хорошо воспринимаемых публикаций по этому методу на наш взгляд является работа И.Л. Вахниной [1]. Нами проводились исследования по совершенствованию данного метода, результаты которых также опубликованы [5, 8].

Вторая группа базируется на установлении того факта, что ранее образцы древесины были частями организма одного дерева. Этот метод достаточно подробно проработан М.И. Розановым и изложен им в методических указаниях, изданных Минюстом СССР [7]. Им установлены пороговые значения коэффициента корреляции между хронологиями, при которых считается, что образцы древесины, по которым они были построены являются частями ствола одного дерева. При практическом использовании важно обратить внимание, что эти данные относятся к индексированным хронологиям (логарифму ширины годичного кольца) и к средним, полученным по результатам измерения восьми радиусов прироста на спиле. Таким образом, несмотря на то, что биологическая основа метода реальна, дает достоверные результаты — еще остается поле для методических научно-исследовательских работ в данном направлении.

Третья группа экспертиз связана с установлением места происхождения срубленной древесины. Обсуждая возможности идентификации этого параметра необходимо четко определить масштаб, в котором она производится: таксационный выдел; группа таксационных выделов, с близкими лесорастительными условиями; географический регион (область). В период 2008–2011 гг. МГУ леса по заданию Федерального агентства лесного хозяйства достаточно подробно исследовал данную проблематику. В основу исследования была положена созданная база данных и программа для ее анализа. Основное внимание было уделено идентификации места происхождения древесины в пределах лесничества. Выяснилось, что установление пороговых «отсекающих» значений коэффициентов сходства в рамках технологии идентификации ценопопуляционной принадлежности срубленной древесины невозможно и в этом недостаток методики, сформулированной В.И. Ворониным и соавторами [2] для всех районов, всех пород и всех типов леса.

Наша технология идентификации ориентирована на факт максимального сходства между эталонной и тестируемой хронологией в ряду возможных, если их происхождение одинаково. Например, на каждой пробной площади (в пределах одного таксационного выдела) нами было отобрано 30 учетных деревьев. Из них 20 учетных деревьев послужили для формирования в банке данных эталонной хронологии. Другие 10 учетных деревьев послужили для формирования тестовой хронологии.

В ходе мысленного эксперимента мы представляли, что происхождение деревьев послуживших для формирования тестовой хронологии нам неизвестно и пытались его определить

на основе работы программного комплекса. Результаты испытаний одного из эффективных алгоритмов технологии идентификации места происхождения древесины на примере банка дендрохронологической информации, созданного для территории Бабаевского района Вологодской области (50 пробных площадей) представлены ниже. Частота правильной идентификации тестируемой хронологии с точностью до 1 варианта составила 37 случаев из 50, т.е. 74 %. Частота правильной идентификации тестируемой хронологии с точностью до 2 вариантов составила 44 случая из 50, т.е. 88 %. Частота правильной идентификации тестируемой хронологии с точностью до 3 вариантов составила 45 случаев из 50, т.е. 90 %. Имея в итоге автоматизированной экспертизы три варианта происхождения древесины можно использовать методы визуального анализа хронологий, чтобы установить точное место происхождения древесины. Такую методику с успехом использует в России С.М. Синькевич [9].

Основным вариантом внедрения разработанной нами методики должно быть использование ее в рамках системы добровольной лесной сертификации. С экономической точки зрения важно, что это не потребует создания дорогостоящих банков дендрохронологической информации. Предприниматели, обладающие сертификатом, могут получить определенные льготы, однако они всегда должны быть готовы к тому, что независимый аудитор проведет проверку декларируемого места происхождения древесины. Использование системы в рамках добровольной сертификации полностью уберет связанные с «человеческим фактором» поводы и возможности для неверной трактовки результатов экспертных дендрохронологических исследований.

Библиографический список

1. Вахнина И.Л. Применение дендрохронологического метода исследований при проведении экспертиз по незаконным рубкам // Успехи современного естествознания, 2014, № 5-2, с. 73–75.
2. Воронин В.И., Грибунов О.П., Жаворонков Ю.М., Осколков В.А., Унжаков С.В. Судебно-ботаническая экспертиза с применением методов дендрохронологии при расследовании незаконной рубки лесных насаждений. Иркутск: ВСИ МВД РФ, 2016, 200 с.
3. Гончарук Н.Ю., Майорова Е.И. К вопросу использования дендрохронологического анализа в судебно-экспертной практике // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2015, с. 153–158.
4. Жаворонков Ю.М. Судебная дендрохронология на службе криминалистики XXI века // Вестник Московского Государственного Университета леса – Лесной вестник, 2014, № 5, с. 53–57.
5. Липаткин В.А., Румянцев Д.Е., Пальчиков С.Б., Жаворонков Ю.М. Возможности использования метода перекрестной датировки древесно-кольцевых хронологий при расследовании дел, связанных с незаконной заготовкой древесины // Теория и практика судебной экспертизы, 2010, № 3(19), с. 244–254.
6. Матвеев С.М., Румянцев Д.Е. Дендрохронология. Воронеж: ВГЛТУ, 2013, 140 с.
7. Методические рекомендации по криминалистической экспертизе объектов растительного происхождения. Отв. ред. М.И. Розанов. М.: ВНИИСЭ, 1972, 21 с.
8. Румянцев Д.Е., Епишков А.А., Липаткин В.А., Волкова Г.Л. Статистические закономерности изменчивости временных рядов радиального прироста сосны обыкновенной по показателям синхронности на территории Русской равнины // Современные проблемы науки и образования, 2015, № 5, с. 688.
9. Синькевич С.М. Дендрохронология в судебной экспертизе: ограничения и перспективы // Вестник Московского Государственного Университета леса. Лесной вестник, 2014, № 5, с. 166–170.
10. Jozsa L.A. Contributions of tree-ring dating and wood structure analysis to the forensic sciences // Canadian Society Forensic Science Journal, 1985, Vol. 18, No. 4, pp. 200–210.
11. Wolodarsky-Franke A., Lara A. The role of «forensic» dendrochronology in the conservation of alerce (*Fitzroya cupressoides* ((Molina) Johnston)) forests in Chile // Dendrochronologia, 2005, Vol. 22., Num. 3, pp. 235–240.

References

1. Vakhnina L.I. (2014) Use of tree-ring (dendrochronological) research method when conducting expert examinations for illegal logging. *Successes of modern natural science*, № 5-2, p. 73–75.
2. Voronin V.I., Gribanov O.P., Zhavoronkov Y.M., Oskolkov V.A., Unzhakov S.V. (2016) Judicial-Botanical examination using the methods of dendrochronology in the investigation of illegal felling of forest plantations. Irkutsk: VSI, the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 200 p.
3. Goncharuk N.Yu., Mayorova E.I. (2015) To the question of using dendrochronological analysis in the forensic practice. *Herald of the Moscow state Forest University – Forest Herald*, pp. 153–158.
4. Lark J.M. (2014) Forensic dendrochronology in the forensic services of the XXI century // *Bulletin of Moscow State forest University – the Forest Bulletin*, № 5, pp. 53–57.
5. Lopatkin V.A., Rumyantsev D.E., Palchikov S.B., Zhavoronkov Y.M. (2010) Using of the cross-dating of tree-ring chronologies in the investigation of cases involving illegal harvesting of wood. *Theory and practice of forensic expert examination*, № 3(19), pp. 244–254.
6. Matveev S.M., Rumyantsev D.E. (2013) *Dendrochronology*. Voronezh: VGTU, 140 p.
7. Guidelines for forensic examination of objects of vegetable origin. Resp. editor M.I. Rozanov. M: VNIISI, 1972, 21 p.
8. Rumyantsev D.E., Epishkov A.A., Lipatkin V.A., Volkov G.L. (2015) Statistical regularities of variability of time series of radial growth of Scots pine in terms of synchronicity in the territory of the Russian plain. *Modern problems of science and education*. P. 688.
9. Sinkevich S.M. (2014) Dendrochronology in the forensic science: limitations and prospects. *Herald of Moscow State forest University – the Forest Bulletin*, № 5, pp. 166–170.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЩЕСТВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ

Ю.Н. Андреев, гл. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. экон. наук, uandreev@extech.ru

Н.А. Лукашева, зам. нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, nal@extech.ru

Проанализирована деятельность созданных вузами хозяйственных обществ. На базе отчетных материалов вузов о содержании деятельности ХО и формах взаимодействия с реальным сектором экономики делаются предварительные заключения о роли ХО в технологическом развитии предприятий России, о складывающихся формах взаимодействия вузов, ХО и предприятий и об эффекте этого взаимодействия. Рассмотрена отраслевая структура хозяйственных обществ в сопоставлении с отраслевой структурой партнеров вузов.

Ключевые слова: хозяйственные общества, виды экономической деятельности, инновационные проекты, вузы, реальный сектор экономики, отраслевая структура малых инновационных предприятий.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ECONOMIC SOCIETIES ON THE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF SECTORS OF THE ECONOMY

Yu.N. Andreyev, Chief Researcher, SRI FRCEC, Doctor of Economics, uandreev@extech.ru

N.A. Lukasheva, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, nal@extech.ru

The Article deals with activity of economic societies created in the universities. On the basis of the accounting materials of universities on the content of ES activities and forms of interaction with the real sector of economy, preliminary reports have been made on the role of ES in the technological development of the enterprises of Russia, the emerging forms of interaction between universities, relations between ES and businesses and the effect of this interaction. The Article considers sectoral structure of ES in comparison with the branch structures of the university partners.

Keywords: economic society, economic activities, innovative projects, universities, real economy sector, the sectoral structure of small innovative enterprises.

Предметом исследования явился механизм воздействия хозяйственных обществ на технологическое развитие реального сектора экономики. Исследованы два аспекта воздействия: содержание выполняемых работ и отраслевая структура самих малых инновационных предприятий. Отраслевая структура малых инновационных предприятий сопоставлена с отраслевой структурой предприятий партнеров, изученной в работах [1, 2, 3].

Источниками информации были отчетные данные вузов, выполняющих программы развития инновационной инфраструктуры в рамках Постановления Правительства РФ № 219 от 2010 г. Организация мониторинга была ранее освещена в работах [4, 5].

Общее количество хозяйственных обществ (ХО) на конец 2016 г. составило 1496 против 1468 на конец 2015 г. Высокие темпы количественного роста сменились стабилизацией.

Проявился результат проводимой вузами инвентаризации созданных хозяйственных обществ на предмет решения о целесообразности поддержания существования тех из них, перспективы, развития которых не просматриваются. Этот процесс связан не только с экономическими причинами, но и с исчерпанием в вузах кадрового потенциала, готового заниматься предпринимательской деятельностью. Например, Петрозаводский государственный университет оценивает этот фактор следующим образом: «Проблема наступления «кадрового голода», появляющаяся после 4–5 лет быстрого развития инфраструктуры и значительного увеличения инновационных подразделений в различных организационных формах, когда недостаток руководящих и инженерных кадров для работы в инновационно-производственных подразделениях и МИП среди сотрудников, аспирантов, студентов университета, работающих на постоянной основе, становится тормозом развития. Наблюдается недостаточная мотивация для продвижения инновационных продуктов, роста кадрового потенциала» (из отчетных данных вуза за второе полугодие 2016 г.).

На рис. 1 показана динамика количества ХО, созданных вузами в соответствии с Федеральным законом от 2009 г. № 217-ФЗ, и количества разрабатываемых ими инновационных проектов.

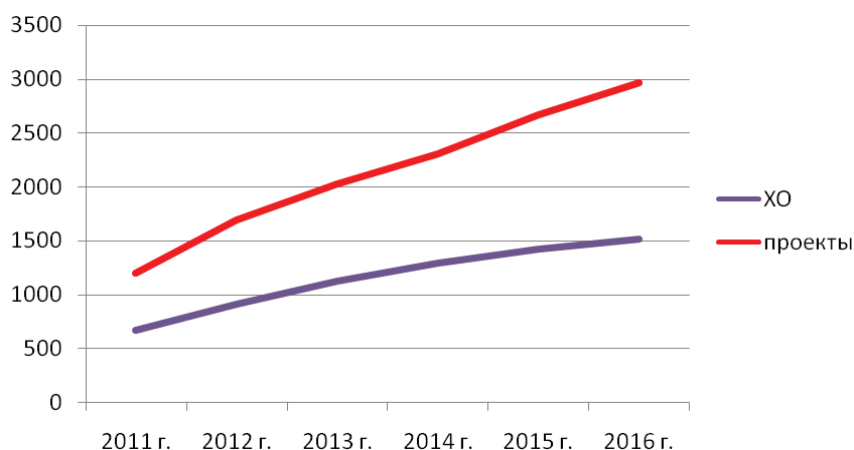


Рис. 1. Динамика количества ХО и реализуемых ими инновационных проектов (ед.)

Экономические результаты

Объем работ и услуг, реализованных ХО в 2015 г., составил 5710,5 млн руб., объем продукции — 2418,2 млн руб. В целом доходы составили 8128,7 млн руб. В 2016 г. объем работ и услуг снизился до 4304,5 млн руб., объем продукции остался примерно на прежнем уровне — 2468 млн руб. Продолжилась тенденция к дифференциации ХО по полученным суммарным доходам. В 2015 г. доходы получило 571 предприятие, в 2016 г. — 481 предприятие.

В табл. 1 приведены сведения о пяти ХО, лидировавших по доходам в 2016 г.

Объемы доходов у основной массы предприятий незначительны: только 26 предприятий имели доход более 50 млн руб. и только 202 имели доход более одного млн руб. На рис. 2 показано распределение предприятий по величине полученных доходов. Первое предприятие ЮФУ не учитывается, так как слишком резко выпадает из общего ряда ХО из-за сверхдоходов. Не учитываются и предприятия после первой сотни.

Дифференциация ХО по величине доходов усиливается ежегодно, поэтому представляет интерес анализ содержания деятельности лидеров.

ХО под названием ОАО «НКБ ВС» Южного федерального университета выполняло работы «Разработка интеллектуальных систем обработки изображений и сигналов, интегрированных информационно-управляющих систем различного назначения, встраиваемых вычислительных систем и комплексов». Очевидно, что это масштабная НИОКР, данных о производстве нет.

Таблица 1

Суммарные доходы лидирующих ХО в 2016 г. (млн руб.)

№ п/п	Название организации	Название ХО	Сумма доходов
1	Южный федеральный университет	АО «Научно-конструкторское бюро вычислительных систем»	1313,40
2	Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)	ООО МИП «МАДИ – Дорожные Технологии»	454,46
3	Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина	ООО «ВТУЗ-Энерго»	366,50
4	Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)	ООО МИП «Мониторинг автомобильных дорог и дорожные технологии»	250,66
5	Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)	ООО МИП «Технопарк МАДИ»	200,99

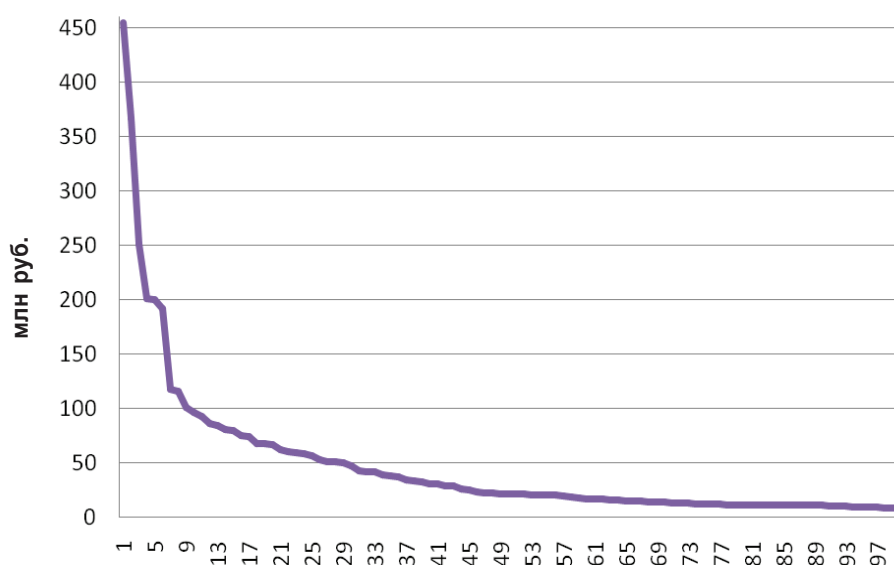


Рис. 2. Распределение доходов в группе ХО (2–101)

ООО «ВТУЗ-Энерго» Уральского федерального университета им.первого Президента России Б.Н. Ельцина выполняло в 2016 г. работы по «Энергоснабжению потребителей на розничном рынке электрической энергии и мощности». Найдена ниша коммерческих услуг, которые при-

несли доход 366,5 млн руб. Цели создания общества обозначены как «Научные исследования и разработки в области естественных и технических наук», то есть, предельно широко.

Сразу три лидирующих позиции занимают хозяйственные общества Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (см. табл. 1). В перечне работ и услуг этих предприятий совмещены НИОКР и производственные услуги: организация работ по контролю качества дорожно-ремонтных работ в г. Москве, проведение системного анализа нормативной базы проектирования объектов дорожно-транспортной инфраструктуры и разработка предложений по ее оптимизации, разработка приборного оснащения для испытаний дорожно-строительных материалов, разработка серосодержащих композиционных материалов, оказание услуг производственным организациям по диагностике транспортно-эксплуатационного состояния дорожных объектов, работы по паспортизации и диагностике дорожных объектов, работы по экспертизе состояния дорожных объектов, разработка и создание универсального испытательного комплекса КУИДМ-2 в технопарке МАДИ. Перечень услуг представляется очень устойчивой нишей с достаточно высокими объемами работ, чего недостает многим другим вузам. Главным образом связано с масштабной программой дорожного строительства правительства Москвы.

Представление о значимости деятельности ХО для реального сектора экономики можно получить из анализа отчетных материалов вузов, посвященных работе хозяйственных обществ.

Можно отметить хозяйственные общества: ООО «РЕХЭЯ» и ООО «Тектум» созданных на базе Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (ННГУ). ООО «РЕХЭЯ» имеет специализацию в области построения систем подавления вибраций (гашение вибраций ответственных узлов, управление колебаниями конструкций, контролируемое разрушение конструкций). Интерес к разработкам ООО «РЕХЭЯ» проявляют компании LG, ОАО «ОМЗ» и Bosch. ООО «РЕХЭЯ» в составе консорциума с ННГУ и ННГАСУ (Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет) выиграло конкурс в рамках Федеральной целевой программы по исследованиям и разработкам и привлекло финансирование в размере 68 млн руб. на разработку комплекса микроволнового зондирования для активного управления колебаниями зданий и сооружений. ООО «Тектум» провела работы по «Разработке и производству кровоостанавливающих и ранозаживляющих средств». Оба направления обеспечены кругом заинтересованных компаний.

В Белгородском государственном национальном исследовательском университете в качестве примера предприятия, занявшего нишу высокотехнологичного производственного процесса, можно привести ООО «Вакуумные системы и технологии». Проекты, над которыми работают сотрудники ХО, указаны ниже:

- «Разработка технологии создания вакуумных камер из сверхчистого титана»;
- «Разработка технологии улавливания быстрых ионов в вакуумных условиях для вакуумных сварочных аппаратов»;
- «Разработка технологии сварки вольфрама»;
- «Разработка вакуумной камеры и оснастки для напыления алмазоподобных покрытий»;
- «Разработка автономной вакуумной системы для лазерной сварки» (ООО «Лазерформ»).

Разработана и частично внедрена установка для электрохимической полировки поверхностей вакуумных камер для сверх-вакуумного применения.

Общие черты приведенных специализаций ХО заключаются в том, что продуктом деятельности является решение проблем, составляющих часть производственной задачи во многих областях производства. Специализация на обеспечении одного или нескольких производственных процессов встречается часто и является естественным способом коммерциализации результатов научной деятельности. Организация работ более сложная, чем можно было предположить для задачи коммерциализации конкретного результата, права пользования которым переданы ХО. В чистом виде такая одношаговая специализация практически

не встречается. Более характерно постоянное взаимодействие ХО и структурных подразделений вуза. В создавшейся схеме взаимодействия научные исследования и разработки [6, 7], как хозяйственного общества, так и вуза организуются с ориентацией на спрос компаний в реальном секторе экономики.

Описанной схеме хорошо соответствует описанный выше случай ООО «Вакуумные системы и технологии». Есть проблема сварки в вакууме. ХО решает комплекс задач в этой области. Это не производство товарной продукции, но участие в производственных процессах широкого назначения. Причем, нет постоянного статичного решения, все время возникают новые производственные задачи, поэтому постоянно ведутся исследования. Тем самым ХО такой классической специализации выполняют функции заводских лабораторий и конструкторских бюро, но специализированных не под конкретное предприятие (хотя и это этап их жизни), а под широкий круг предприятий, нуждающихся в осуществлении подобных процессов.

Стратегический результат этой деятельности — предприятия получают возможность совершенствовать производственные процессы, а это и есть путь технологического развития. Предложенные ХО технологии не обеспечивают во многих случаях модернизацию полного цикла производства, но позволяют предприятиям осваивать производство новых продуктов, повышать качество продукции, снижать затраты. Опора на оригинальные разработки дает предприятиям способность конкурировать с зарубежными предприятиями. Подобные выводы сделаны при более детальном анализе отдельной корпорации в работе [8].

Ориентация на организацию производства сопряжена с риском конкурентной борьбы. ХО под названием ООО «ЭЛСИС» созданное при Белгородском государственном национальном исследовательском начинало свою деятельность с выпуска светодиодных ламп для нужд города, но импорт китайских ламп закрыл эту нишу. Работники ООО «ЭЛСИС» смогли задействовать научные заделы и выйти на рынок с более широкой номенклатурой продукции и услуг. ООО «ЭЛСИС» выполнило ряд проектов по контрактной сборке микроэлектроники с такими контрагентами как ООО «ИВТБелГУ», ООО «АРИА-Инвертор», ООО «ФАМ Электроникс», ООО «Промышленные электронные системы», приняло участие в проекте создания устройства регистрации цифровых панорамных изображений в проекте НИУ «БелГУ». Доход ХО за 2016 г. составил 4,5 млн руб. В настоящий момент выполняются несколько проектов по созданию новой продукции:

- Разработка и производство интеллектуальных фитостеллажей для микроклонирования растений. В настоящий момент идет разработка электронной части источника питания. Заказчиком данного проекта является Ботанический сад НИУ «БелГУ», опытный образец также предполагается изготовить для кафедры биотехнологии и микробиологии НИУ «БелГУ»;

- Разработка и производство специальной 2-х диапазонной УФ лампы для подсветки экспозиций люминесцирующих минералов. Заказчиком данного проекта выступает геолого-минералогический музей НИУ «БелГУ».

Добавленная стоимость создается в основном у потребителя услуг ХО, поэтому информация о доходах ХО не дает реального представления об экономической эффективности их деятельности. Чем теснее связи ХО с вузом учредителем, тем более эффективен поток разработок.

Представление о широте воздействия на реальный сектор экономики дает перечень направлений работ малых инновационных предприятий Южного федерального университета. Более 80 МИП выпускают медицинское оборудование, ресурсосберегающие системы, специализированные комплексы и системы, промышленную электронику, программное обеспечение, телекоммуникационное оборудование, системы весового контроля автомобильного и железнодорожного транспорта, ингибиторы коррозии, смазки, смазочно-охлаждающие жидкости, ведут разработку пьезоэлементов и приборов на их основе.

Общее содержание деятельности ХО нацелено на продвижение разработок вузов в производство и реализуется несколькими типами деятельности.

Классический тип представляет организацию производства на базе полученного результата научной деятельности. Этот тип мало распространен. Наиболее распространено совмещение коммерциализации полученного объекта собственности с постоянными собственными исследованиями и разработками. Факторы, определяющие этот выбор: участие в работе ХО самих научных сотрудников-авторов разработки; отсутствие возможностей организации крупного производства. Тем не менее, есть положительный опыт удачной организации производства на основе результатов многолетних исследований. Хороший пример представляет деятельность ХО под названием ЗАО «Альдомед», созданное Сибирским государственным медицинским университетом Министерства здравоохранения Российской Федерации. ЗАО «Альдомед» производит комплексные дезинфицирующие препараты для сельского хозяйства и ветеринарии на основе глиоксаля, ранее в России не производившегося. Эффективность разработанных препаратов соответствует лучшим мировым аналогам, при этом их цена в 2,5 раза ниже.

Распространен такой тип деятельности, как выполнение заказов предприятий на основе созданной материальной базы и имеющихся научно-технических разработок. Заказ включает проведение исследований, разработку и изготовление продукта. Этот вид деятельности включает две разновидности: выполнение работ в заданной области деятельности без проведения дополнительных исследований, проведение полного цикла «исследование — разработка — изготовление» на фоне постоянно ведущихся исследований. При значительном разнообразии содержания этих работ их можно объединить понятием инжиниринга.

Распространен также тип деятельности, полностью сведенный к выполнению научных исследований и разработок. Небольшую долю предприятий составляют предприятия, занимающиеся организационными услугами (проведение семинаров, конференций и других мероприятий).

В табл. 2 показано распределение ХО по типам осуществляемой деятельности. Для анализа были взяты данные по ХО, доходы которых в 2016 г. составили не менее 3 млн руб. (200 предприятий). Изучение профиля деятельности ХО, практически не имеющих доходов, представляется неэффективным, так как информация о содержании деятельности, не подкрепленная результатами, мало информативна.

Таблица 2

Тип деятельности хозяйственных обществ и ее ориентация на потребности

№ п/п	Тип деятельности ХО	Количество предприятий					Доход средний, млн руб.
		всего	в том числе ориентированных на потребности				
			ХО и вуза	внешние	внешние и внутренние	отсутствуют	
1	Инжиниринг	10	3	3	3	1	20,9
2	Инновационная продукция	28	9	15	3	1	11,6
3	Информационные технологии	3	2	2	0	0	1,3
4	Консультирование	5	0	4	0	1	8,17
5	НИОКР	68	45	13	1	9	44
6	НИОКР и изготовление	9	5	2	2	0	52,5
7	Организационные мероприятия	7	5	2	0	0	8,6
8	Производственная деятельность	19	3	16	0	0	54,4
9	Разработка и изготовление про- дукции	19	5	11	0	3	26,7
10	Услуги	15	4	10	1	0	29,2
	Всего	178	81	78	10	15	256,1

Строгая специализация встречается редко, так как предприятия вынуждены откликаться на запросы потребителей и год от года менять содержание своей деятельности. Также сложно четко отделить один тип деятельности от другого для близких случаев, таких как инжиниринг или разработка и изготовление продукции. Существенное отличие в том, что в одном случае содержание работы полностью определяется запросом потребителя, а в других случаях ХО само предлагает свои разработки и ищет заинтересованных потребителей.

Тем не менее, некоторые выводы можно сделать достаточно уверенно. Проведением только НИОКР без последующего производства занято наибольшее количество ХО – 68 из 178 представивших необходимую информацию. Этот вид деятельности оказывается и в числе наиболее надежных в финансовом отношении. Наибольший доход получали ХО, занятые непосредственно производственной деятельностью без совмещения с научными исследованиями. В сумме два указанных типа деятельности охватывают примерно половину всех ХО.

Приведенные в табл. 2 данные не охватывают всю совокупность ХО, но достаточно представительная выборка позволяет делать некоторые заключения. Обращает на себя внимание то явление, что специализация на реализации инновационных проектов в их обычном понимании как совмещение исследований с созданием новых технологий приносит заметно меньшие доходы, чем просто научные исследования или производственная деятельность. На этом фоне следует обратить внимание на замечание Петрозаводского государственного университета, что становится заметной тенденция к переносу инновационной деятельности в структурные подразделения вуза. На сегодняшний день, университет располагает большими возможностями, чем любое ХО, вузу гораздо легче найти предприятие заказчика.

Создание и развитие ХО как средства укрепления связей вузовской науки с реальным сектором экономики было одной из главных целей Постановления Правительства РФ № 219, действие которого заканчивается в 2017 г. Полученные в 2016 г. отчетные данные вузов позволяют оценить как успешную реализацию данного постановления в этом его аспекте. Доля вышедших на получение доходов малых инновационных предприятий более 10%, принятых за норму в европейских странах. Количественная динамика создания ХО и устойчивый рост экономических показателей дают основание для положительного заключения. Идея предоставления экономических льгот ХО, создаваемым для коммерциализации разработок вузов, в целом себя оправдала. Это не означает, что рост количества предприятий будет продолжен и далее во всех вузах, скорее отдельные вузы продолжат создавать новые ХО, поскольку еще не исчерпан запас перспективных для коммерциализации научных заделов, другие постепенно будут сокращать число ХО, закрывая неперспективные проекты. Это нормальный процесс развития, который естественно замедляется при приближении к зоне насыщения.

Для экономики важен тот момент, что малые инновационные предприятия откликаются на текущие запросы промышленности, оперативно находя технологические решения. Появилась целая сеть предприятий, обеспечивающих технические решения в ходе совершенствования производственных процессов. При незначительных объемах производства вклад ХО может быть решающим, так как они находятся на критических направлениях решения производственных задач. Более полную оценку роли малых инновационных предприятий можно получить с учетом результатов анализа общего положения в обеспеченности промышленности научными заделами [2, 9]. Из этого следует, что было бы целесообразно вести постоянный мониторинг роли ХО в технологическом развитии промышленности страны, что позволило бы своевременно принимать обоснованные управленческие решения и нормативные документы для сбалансированного развития этого нового сектора на стыке науки и производства.

Отраслевая структура малых инновационных предприятий

В другой работе был рассмотрен вопрос об отраслевой структуре партнеров вузов в реальном секторе экономики [1]. Полученной от вузов информации недостаточно для указания отрасли, которой в наибольшей степени отвечает деятельность малого инновационного

предприятия. По этой причине источник информации был расширен, дополнительная информация о каждом предприятии была собрана на сайтах предприятий. Данные о фактически выполненных работах использованы для контроля соответствия самоопределения предприятия фактическому содержанию работ.

По выборке из 200 успешных ХО, которые показали реальные доходы в 2016 г. не менее 3 млн руб., была создана таблица с указанием вида экономической деятельности и отраслевой принадлежности каждого ХО. В табл. 3 представлена выборка из этой таблицы как пример записи информации об отраслевой направленности ХО.

Таблица 3

Выборка из обработки данных по ХО/ХП и организациям инфраструктуры

№ п/п	Сокращенное название (только для ХО/ХП и организаций инфраструктуры)	Вид экономической деятельности	Класс ОКВЭД	Отрасль
1	СПК «Учхоз Миндерлинское»	Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство	01 — Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях	АПК
2	ООО «ВТУЗ-Энерго»	Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	35 — Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	ЖКХ
3	ООО «МИП «Стеллар-Тех»	Деятельность профессиональная, научная и техническая	72 — Научные исследования и разработки	Наука
4	ООО «Центр инженерных инноваций»	Деятельность в области информации и связи	62 — Разработка компьютерного программного обеспечения, консультационные услуги в данной области и другие сопутствующие услуги	Информационные технологии
5	ЗАО «ДЦВ»	Транспортировка и хранение	49 — Деятельность сухопутного и трубопроводного транспорта	Инфраструктура
6	ООО «УралСпортСертификат»	Деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений	93 — Деятельность в области спорта, отдыха и развлечений	Культура и спорт
7	ООО «ЦКИГ «Цитрин»	Добыча полезных ископаемых	09 — Предоставление услуг в области добычи полезных ископаемых	Промышленность
8	ООО МИП «МАДИ-ДТ»	Строительство	42 — Строительство инженерных сооружений	Строительство
9	ООО «Теплофон»	Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов	46 — Торговля оптовая, кроме оптовой торговли автотранспортными средствами и мотоциклами	Торговля

Окончание таблицы 3

№ п/п	Сокращенное название (только для ХО/ХП и организаций инфраструктуры)	Вид экономической деятельности	Класс ОКВЭД	Отрасль
10	ООО «Айан-трэвел»	Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги	79 – Деятельность туристических агентств и прочих организаций, предоставляющих услуги в сфере туризма	Туризм
11	ООО «УИС-металлургия»	Обрабатывающие производства	24 – Производство металлургическое	Промышленность
12	ООО «Наносети»	Деятельность в области информации и связи	62 – Разработка компьютерного программного обеспечения, консультационные услуги в данной области и другие сопутствующие услуги	Связь и телекоммуникации

В табл. 4 представлено распределение ХО по видам экономической деятельности согласно классификатору ОКВЭД.

Таблица 4

**Распределение ХО по видам экономической деятельности
согласно действующему классификатору ОКВЭД**

№ п/п	Вид экономической деятельности	Класс ОКВЭД	Кол-во предприятий
Раздел А	Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство	01 – Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях	1
Раздел В	Добыча полезных ископаемых	06 – Добыча сырой нефти и природного газа	1
		09 – Предоставление услуг в области добычи полезных ископаемых	3
Раздел С	Обрабатывающие производства	20 – Производство химических веществ и химических продуктов	5
		23 – Производство прочей неметаллической минеральной продукции	1
		24 – Производство металлургическое	4
		25 – Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	2
		26 – Производство компьютеров, электронных и оптических изделий	3
		27 – Производство электрического оборудования	4
		28 – Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	4
		29 – Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	1

Окончание таблицы 4

Распределение ХО по видам экономической деятельности согласно действующему классификатору ОКВЭД

№ п/п	Вид экономической деятельности	Класс ОКВЭД	Кол-во предприятий
		30 – Производство прочих транспортных средств и оборудования	2
		33 – Ремонт и монтаж машин и оборудования	1
Раздел D	Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	35 – Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	8
Раздел F	Строительство	41 – Строительство зданий	1
		42 – Строительство инженерных сооружений	6
		43 – Работы строительные специализированные	3
Раздел G	Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов	46 – Торговля оптовая, кроме оптовой торговли автотранспортными средствами и мотоциклами	2
Раздел H	Транспортировка и хранение	49 – Деятельность сухопутного и трубопроводного транспорта	1
		52 – Складское хозяйство и вспомогательная транспортная деятельность	1
Раздел J	Деятельность в области информации и связи	61 – Деятельность в сфере телекоммуникаций	3
		62 – Разработка компьютерного программного обеспечения, консультационные услуги в данной области и другие сопутствующие услуги	21
		63 – Деятельность в области информационных технологий	6
Раздел M	Деятельность профессиональная, научная и техническая	71 – Деятельность в области архитектуры и инженерно-технического проектирования; технических испытаний, исследований и анализа	9
		72 – Научные исследования и разработки	74
		73 – Деятельность рекламная и исследование конъюнктуры рынка	4
		74 – Деятельность профессиональная научная и техническая прочая	27
Раздел N	Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги	79 – Деятельность туристических агентств и прочих организаций, предоставляющих услуги в сфере туризма	1
Раздел R	Деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений	93 – Деятельность в области спорта, отдыха и развлечений	1
		Всего	200

Ввиду малого количества предприятий в каждом классе ОКВЭД, кроме трех ведущих было принято решение укрупнить классы для получения более надежной картины распределения по видам деятельности. В порядке убывания количества предприятий в группе в табл. 5 показано распределение по более крупным группам.

Таблица 5

Распределение ХО по укрупненным группам экономической деятельности

№ п/п	Виды деятельности	Номер класса ОКВЭД	Количество ХО
1	Научные исследования и разработки	72	74
2	Деятельность профессиональная научная и техническая прочая	74	27
3	Разработка компьютерного программного обеспечения, консультационные услуги в данной области и другие сопутствующие услуги	62	21
4	Деятельность в области архитектуры и инженерно-технического проектирования; технических испытаний, исследований и анализа	71	9
5	Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	35	8
6	Прочие с количеством предприятий в группе менее 8	прочие	61
	Всего	200	200

Таблица 6

Распределение ХО по отраслевой принадлежности

№ п/п	Отрасль	Кол-во ХО	Укрупненные группы
1	Наука	115	115
2	Промышленность	31	31
3	Информационные технологии	18	18
4	Строительство	10	10
5	Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ)	7	7
6	Инфраструктура	6	6
7	Связь и телекоммуникации	5	5
8	Торговля	2	2
9	Транспорт	1	6
10	Агропромышленный комплекс (АПК)	1	
11	Здравоохранение и медицина	1	
12	Культура и спорт	1	
13	Химия	1	
14	Туризм	1	
	Всего	200	200

Терминология классификатора ОКВЭД отличается от принятой в анализе [1], но закономерность осталась прежняя: преобладают научные исследования, далее информационные технологии, инжиниринг и собственно производственная деятельность. На рис. 3 закономерность показана графически.

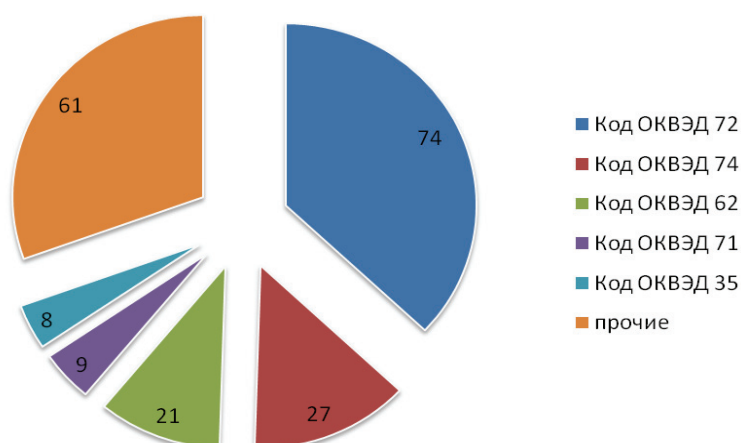


Рис. 3. Распределение ХО по основным видам экономической деятельности

Параллельно можно оценить распределение предприятий по отраслям, которые ранее были выявлены для классификации партнеров вузов в реальном секторе экономики.

Для сопоставления отраслевой структуры малых инновационных предприятий и предприятий партнеров вузов в реальном секторе экономики распределение по отраслям на рис. 4 показано без учета малых инновационных предприятий полностью специализированных на науке (научные исследования).

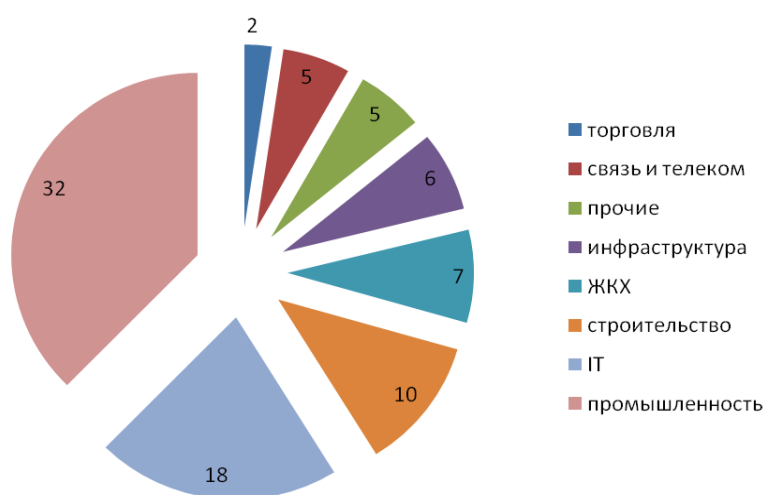


Рис. 4. Распределение хозяйственных обществ по отраслям (без учета обществ научного профиля)

Для сопоставления на рис. 5 показано ранее полученное распределение по отраслям предприятий партнеров вуза в реальном секторе экономики.

Основное отличие отраслевой структуры хозяйственных обществ от отраслевой структуры партнеров вузов в реальном секторе экономики в преобладании ХО, ориентированных на науку как главный вид деятельности. Это обстоятельство заставляет рассматривать хозяйственные общества как промежуточную стадию между научным комплексом вуза и реаль-

ным сектором экономики. Объединение научных исследований с производством является главным признаком предприятий этого комплекса, позволяющим определить его как инновационный комплекс.

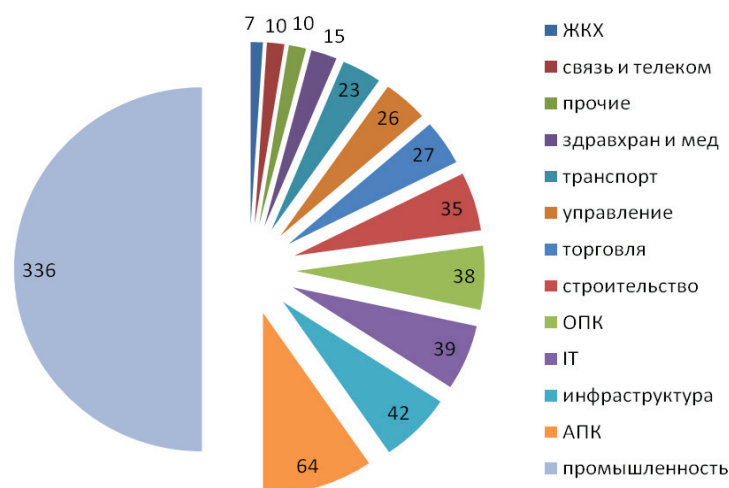


Рис. 5. Распределение предприятий реального сектора экономики партнеров вузов по отраслям

С другой стороны, сопоставление структуры по отраслям и по классам видов экономической деятельности приводит к заключению о слабой пригодности классификатора ОКВЭД для характеристики инновационных предприятий. Классификатор ОКВЭД построен по иерархическому принципу, путем включения в основной класс более детальных подклассов. Реально же для малых инновационных предприятий преобладает основа в виде базовой технологии производственного процесса и широкий спектр услуг на этой основе.

В статье приведены результаты, полученные при выполнении работ в рамках Государственного задания Министерства образования и науки РФ № 26.4268.2017/НМ по проекту «Мониторинг деятельности объектов инфраструктуры, созданной в ходе реализации мероприятий, осуществляемых в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 219 «О государственной поддержке развития инновационной инфраструктуры в федеральных образовательных учреждениях высшего профессионального образования».

Список литературы

1. Лукашева Н.А., Андреев Ю.Н. Исследование состава компаний партнеров вузов. Инноватика и экспертиза. Научные труды. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. 2017. Вып. 1 (19). С. пока неизвестны.
2. Ларионова Н.В. Характеристика отраслевой структуры инновационной деятельности промышленного комплекса экономики России // НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ. № 2 2007 г. Изд.: Государственное учреждение Академия наук Республики Саха (Якутия) (Якутск) С. 155–159.
3. Андреев Ю.Н. Структура научно-технических разработок. Инноватика и экспертиза. Научные труды. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. 2016. Выпуск 1 (16). С. 145–151.
4. Андреев Ю.Н., Лукашева Н.А. Государственный мониторинг инновационной деятельности вузов. Управление инновациями: теория, методология, практика. № 13. 2015. С. 17–21.
5. Андреев Ю.Н., Лукашева Н.А. Проблемы мониторинга эффектов деятельности вуза // Инноватика и экспертиза. Научные труды. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. Вып. 1 (12). М., 2014. С. 176–186.

6. Лукашева Н.А. Выполнение задач государственной политики в секторе исследований и разработок. *Инноватика и экспертиза. Научные труды. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. Вып. 2 (15). 2015. С. 114–131.*

7. Информационно-аналитические материалы по перспективным научным и инновационным разработкам образовательных и научных организаций // Информационно-аналитический бюллетень. Вып. 1–4. Редакционная коллегия: Мельник П.Б., Турко Т.И., Андреев Ю.Н., Храмов Н.Б., Борецкая С.В., Гудкова А.А., Лукашева Н.А., Родионова Г.Г., Дуквиц С.В. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. М., 2015.

8. Ананишин С.А. Наукоемкие проекты ОНПП «Технология» определяют будущее России. *Инновации № 12 (206), 2015. ОАО «Трансфер». С. 14–16.*

9. Киселев В.Н., Шувалов С.С., Дранев Я.Н. Об оценке обеспеченности гражданских отраслей промышленности научно-техническими заделами для реализации проектов импортозамещения – 2016 // *Инновации. 2016. № 9. С. 33–41.*

References

1. Lukasheva N.A. Andreyev Y.N. (2017) The study of the composition of university partner companies. *Innovatika and expert examination. The scientific works. SRI FRCEC. Vol. 1 (19). Pages still unknown.*

2. Larionova N.V. (2007) Feature of the sectoral structure of innovative activities and industrial economy complex of Russia. *SCIENCE AND EDUCATION. No. 2. Ed.: State institution Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia) (Yakutsk), pp. 155–159.*

3. Andreev Y.N. Structure of scientific and technological developments. *Innovatika and expert examination. The scientific works. SRI FRCEC. 2016. Issue 1 (16). pp. 145–151.*

4. Andreev Y.N., Lukasheva N.A. (2015) State monitoring of innovation activities of universities. *Innovation management: theory, methodology, practice. No. 13, pp. 17–21.*

5. Andreev Y.N., Lukasheva N.A. (2014) Issues of monitoring of the effects of University activity. *Innovatika and expert examination. The scientific works. SRI FRCEC. Vol. 1 (12). Moscow, pp. 176–186.*

6. Lukasheva N.A. (2015) The tasks of the state policy in the sector of research and development. *Innovatika and expert examination. The scientific works. SRI FRCEC. Vol. 2 (15), pp. 114–131.*

7. Information and analytical materials about prospective research and innovation educational and scientific organizations. *Information-analytical Bulletin. Vol. 1-4. Editorial Board: Miller P.B., Turco T.I., Andreev Y.N., Khramov N.B., Boretskaya S.V., Gudkov A.A., Lukasheva N.A. Rodionov G.G., Duckwitz S.V. SRI FRCEC. M., 2015.*

8. Ananishin S.A. (2015) High-tech projects of Obninsk Scientific&Industrial Enterprise «Technology» define the future of Russia. *Innovation No. 12 (206). Co. «Transfer». pp. 14–16.*

9. Kiselev V.N., Shuvalov S.S., Dranev Y.N. On assessing the provision of civilian industries with scientific-technological developments for import substitution – 2016. *Innovations. 2016. No. 9, pp. 33–41.*

ТРЕХМЕРНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ ЗЕМНЫХ НЕДР – ОСНОВА РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

В.В. Спичак, зав. лаб. Института физики Земли РАН, д-р физ.-мат. наук, академик РАН и НАН; v.spichak@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы геофизической томографии земных недр применительно к решению задач рационального природопользования. Представлены результаты анализа исследований в этой области в зарубежных и российских организациях геолого-геофизического профиля. Раскрыты основные проблемы, снижающие эффективность отечественных работ в области рационального природопользования, и сформулированы предложения, направленные на ее повышение. По мнению автора, ключевым вопросом является создание государственного Центра инновационных геофизических технологий, основными задачами которого были бы разработка, сопровождение и внедрение передовых геофизических технологий в практику рационального природопользования.

Ключевые слова: критические технологии, геофизическая томография, рациональное природопользование, трехмерные модели, комплексная интерпретация, геологическая среда, минерально-сырьевые ресурсы, геотермальная энергия, сейсмическое районирование, кадастровая оценка.

THREE-DIMENSIONAL GEOPHYSICAL IMAGING OF THE SUBSURFACE – THE BASIS OF RATIONAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND NATURAL RESOURCES USE

V.V. Spichak, Head of Laboratory, Institute of Earth Physics, Russian Academy of Sciences, Ph.D. of Physics and Mathematics, Academician of Academy of Natural Sciences, v.spichak@mail.ru

Issues of geophysical tomography of the earth's interior with regard to rational nature management are considered. The results of studies in this direction in different Russian and foreign geological – geophysical organizations are presented. The main drawbacks decreasing the effectiveness of the native works in the rational nature management are discovered and the suggestions aimed at its increasing are formulated. In the opinion of the author, the key issue should be launching of the State Centre for Innovative Geophysical Technologies, the main tasks of which would be their development and servicing aimed at rational nature management.

Keywords: critical technologies, geophysical tomography, rational nature management, three-dimensional models, joint geophysical interpretation, geological medium, mineral resources, geothermal energy, seismic zoning, cadastral estimation.

Актуальность **геофизической томографии** (от греч. *tomos* – ломоть, слой и *grapho* – пишу), то есть, изучения геологических объектов путем исследования особенностей прохождения через них электромагнитных и упругих (сейсмических и др.) волн, связана с тем, что эффективность решения таких задач природопользования, как поиск, разведка и освоение природных ресурсов, оценка и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного характера, поиск мест для захоронения радиоактивных отходов, прогноз и мониторинг состояния геологической среды, лицензирование недр и др., напрямую зависит от полноты и достоверности наших знаний о петрофизических свойствах земных недр.

Если в недалеком прошлом эти задачи решались, главным образом, за счет геологической информации и применения геостатистических методов, то сегодня, когда легко дос-

тупные ресурсы близки к исчерпанию, в мире все больше применяются глубинные геофизические методы, позволяющие, в принципе, осуществлять геофизическую томографию земных недр и на этой основе решать перечисленные выше практические задачи.

Целью статьи является рассмотрение потенциальной роли трехмерной геофизической томографии земных недр для решения задач рационального природопользования в РФ и формулирование мер, направленных на повышение эффективности российской геолого-геофизической отрасли в целом.

Потенциальная роль и место геофизической томографии в научно-технологическом комплексе Российской Федерации

Решение задач рационального природопользования связано со следующими критическими технологиями РФ [1]:

- технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи;
- технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику;
- технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения;
- технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом;
- технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем.

Выполнение работ по трехмерной геофизической томографии земных недр могло бы сформировать опережающий научно-технологический задел по приоритетному направлению развития науки и технологий в Российской Федерации «Рациональное природопользование», а также служить для обеспечения более эффективного выполнения ФЦП, головными заказчиками которых является ряд министерств РФ.

Согласно «Стратегии развития геологической отрасли до 2030 года» [2] «решающее значение в развитии научных геологических исследований имеет возможность обработки и освоения огромного объема геологических, геофизических, геохимических и дистанционных данных на основе современных информационных технологий. Принципиально новым является переход от качественных оценок к количественным моделям» (стр. 4). «Выявление новых источников минерального сырья становится все более сложным и дорогостоящим из-за усложнения условий проведения геолого-разведочных работ. Стоящие перед геологической отраслью проблемы определяют необходимость разработки новых подходов, научных теорий, методов и технологий поисков и разведки.» И далее: «весьма актуальным становится повышение глубинности исследований» (стр. 5).

Среди приоритетных направлений развития «геологической отрасли», как в РФ традиционно называют Министерство природных ресурсов и экологии РФ, планируется:

- повышение инвестиционной привлекательности геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы;
- совершенствование системы сбора, обработки, анализа, хранения и предоставления в пользование геологической информации;
- совершенствование научно-технического обеспечения геолого-разведочных работ;
- оценка и прогноз состояния недр на территориях, подверженных опасным геологическим процессам и явлениям;
- создание условий для внедрения инновационных технологий.

Как отмечается в «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» [3], для противодействия угрозам в сфере экологической безопасности и рациональ-

ного природопользования силы обеспечения национальной безопасности во взаимодействии с институтами гражданского общества создают условия для внедрения экологически безопасных производств, поиска перспективных источников энергии, формирования и реализации государственной программы по созданию стратегических запасов минерально-сырьевых ресурсов, достаточных для обеспечения мобилизационных нужд Российской Федерации и гарантированного удовлетворения потребностей населения и экономики в водных и биологических ресурсах» (стр. 14).

В «Энергетической стратегии России на период до 2030 г.» [4] в качестве стратегической цели отмечается «своевременность геологоразведки, подготовки и освоения новых месторождений (залей, площадей, участков, провинций) традиционных видов топлива, своевременность подготовки к использованию замещающих инновационных энергоресурсов и источников энергии по мере исчерпания традиционных ископаемых энергоресурсов» (стр. 15).

Существенная роль в Стратегии отводится развитию использования новых возобновляемых источников энергии и энергоносителей: «Вовлечение в топливно-энергетический баланс таких новых возобновляемых источников энергии, как геотермальная, позволит сбалансировать энергетический спрос и снизить экологическую нагрузку со стороны предприятий энергетики на окружающую среду» (там же, стр. 38–39). Согласно этому документу «роль государственного участия в развитии энергетического сектора будет заключаться преимущественно в поддержке инновационных направлений развития энергетического сектора (неуглеводородная энергетика и др.)» (там же, стр. 13). При этом для достижения стратегической цели инновационной и научно-технической политики в энергетике необходимо «воссоздание и развитие научно-технического потенциала, включая фундаментальную науку, прикладные исследования и разработки» (там же, стр. 27), в том числе, в области геофизической томографии земных недр.

Согласно «Основам государственной политики в области обеспечения безопасности населения Российской Федерации и защищенности критически важных и потенциально опасных объектов от угроз природного, техногенного характера и террористических актов на период до 2020 года» [5] необходимо создание условий для уменьшения рисков чрезвычайных ситуаций и реализации превентивных мер. Исходя из мировой практики наиболее развитых в экономическом плане государств, отношение средств, вложенных в предупреждение чрезвычайных ситуаций, к предотвращенному ущербу составляет 7–10 %. Если говорить о естественных катастрофах (таких, как землетрясения и извержения вулканов), то этот КПД напрямую зависит от точности предварительной оценки пространственного расположения возможных очагов землетрясений в земной коре и магматических камер активных вулканов, которые можно определить только на основе трехмерной геофизической томографии земных недр.

Министерство регионального развития РФ является Генеральным заказчиком-координатором ФЦП «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах РФ на 2009–2018 гг.» [6]. Согласно этому документу «важнейшими результатами реализации Программы являются: снижение социального, экономического и экологического риска в сейсмических районах Российской Федерации; уменьшение потерь населения от разрушительных землетрясений; уменьшение ущерба, наносимого зданиям и сооружениям в результате землетрясения». Оценка и прогноз состояния геологической среды, а также построение детальных карт сейсмического районирования участков недр по результатам их трехмерной геофизической томографии способствовало бы достижению этих целей с наименьшими затратами.

Кроме того, НИОКР в этом направлении позволят создать хорошую основу для более эффективного поиска новых источников энергии (в частности, геотермальных) в ряде регионов РФ (Крым, Камчатка, Северный Кавказ, и др.), характеризующихся повышенным тепловым потоком, и, соответственно, их социально-экономического развития. Это, в част-

ности, напрямую касается регионов, перечисленных в ФЦП, выполняемых под патронажем Министерства регионально развития РФ:

- «Юг России (2014–2020)»;
- «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Забайкалья на период до 2018 года» и др.

Наконец, трехмерная геофизическая томография земных недр позволит более эффективно осуществлять поиск мест для захоронения радиоактивных отходов, а также проводить дистанционный мониторинг состояния геологической среды в местах локализации оборонных объектов. Соответственно, это повысит эффективность обеспечения ядерной и радиационной безопасности населения [5].

Работы по геофизической томографии, проводимые за рубежом

Работы по трехмерной геофизической томографии земных недр проводятся, в основном, за рубежом (см. ссылки в аналитическом документе [7]). В частности, НИОКР по электромагнитной томографии осуществляются в ряде зарубежных университетов и исследовательских центров: СЕМІ (Консорциум по электромагнитному моделированию и инверсии Университета Юты, США); EST (Отделение наук о Земле Лаборатории Беркли, США); AIST (Национальный институт передовой прикладной науки и технологии, Цукуба, Япония) и некоторых других.

Исследования по трехмерной сейсмической томографии земных недр проводятся, главным образом, в крупных нефтяных компаниях (Shell, Statoil, Schlumberger), а также в ряде университетов США: Colorado School of Mines (Горная Школа Колорадо, Голден), MIT (Массачусетском Технологическом Институте, Кембридж), университете Rice (Хьюстон, Техас) и некоторых других.

Наконец, в мире все шире применяется комплексный количественный анализ данных, полученных в результате трехмерной геофизической томографии земных недр. Ведущими центрами по этому направлению можно считать GFZ (Центр физики Земли, Потсдам, Германия); Университет Ланкастера (Великобритания), компанию Schlumberger Doll Res.; CICESE (Центр научных исследований и высшего образования, Энсенлада, Мексика); а также соответствующие департаменты Геологических служб США, Великобритании, Австралии.

Наработки в этой области реализуются в ходе выполнения крупных транснациональных проектов, осуществляемых под эгидой Международного Союза геодезии и геофизики (IUGG), Европейского геофизического союза (EGU), Международной программы научного бурения на континентах (ICDP) и других международных организаций. Еще в 80–90 гг. XX века в США был проведен эксперимент EMSLAB (EMSLAB-Juan de Fuca: ElectroMagnetic Study of the Lithosphere and Asthenosphere Beneath the Juan de Fuca Plate), задуманный как широкомасштабное электромагнитное зондирование литосферы и астеносферы под плитой Хуан де Фука, расположенной в Тихом океане к западу от североамериканского континента. В проведении эксперимента и анализе его результатов участвовали геофизики из восьми стран, в том числе США, Канады, Австралии, Японии, СССР и др.

В 1992 г. в Европе силами ученых и специалистов из 31 страны при финансовой поддержке Европейского научного фонда (ESF) (в размере примерно 250 тыс. евро в год и дополнительно привлеченных ресурсов в размере примерно 5 млн евро в год) был начат широкомасштабный международный проект EUROPROBE (www.geofys.uu.se/eprobe), в рамках которого выполнялись субпроекты BRIDGE, EUROBRIDGE, SVEKALAPKO, BEAR, TESZ, URALIDES, URSEIS, POLONAISE и др. Главной заявленной целью всего проекта было изучение структуры и геодинамических процессов в литосфере европейского континента от Атлантики до Урала, хотя важными побочными целями были разведка георесурсов, уменьшение рисков природных катастроф, поиск мест для захоронения токсичных отходов и др.

В ходе выполнения проекта URALIDES изучалось происхождение геологических структур Среднего Урала по сейсмическим данным. В проекте TESZ анализировались карты

гравитационных и магнитных полей Европы. Проект SVEKALAPKO был сконцентрирован на изучении геологии и геохронологии метаморфических коллизионных зон высокого давления Кольского шва и связанных с ним зон аккреции. В рамках проекта EUROBRIDGE сейсмические данные вдоль профиля длиной 1500 км, протянутого от Белоруссии до Украины, анализировались совместно с палеомагнитными данными, а также данными геохронологии. В проекте BEAR было проведено площадное магнитотеллурическое зондирование, покрывавшее территорию Северной Скандинавии и большую часть Финляндии. Наконец, в проекте GEODE, связанном с EUROPROBE, помимо чисто научных целей рассматривались вопросы поиска крупных месторождений полезных ископаемых.

В национальном проекте EARTHSOPE (www.earthscope.org), который осуществляется на территории США, вся территория страны покрывается равномерной сеткой датчиков для измерения сейсмических, магнитотеллурических, геодезических данных. Одновременно осуществляются спутниковые измерения, с помощью которых, помимо прочего, определяется локализация и пути миграции магмы в вулканоактивных областях, а также потенциально сейсмоопасные зоны. На основании построенных трехмерных петрофизических моделей среды и их комплексного количественного анализа создаются базы данных для последующего решения прикладных задач. Наряду с изучением структуры североамериканского континента, его динамики и эволюции, ставятся задачи оценки и снижения риска природных катастроф, а также поиска и разведки природных ресурсов.

Таким образом, налицо мировая тенденция к комплексной трехмерной геофизической томографии земных недр с помощью регулярной сети геофизических зондирований; создания баз цифровых данных; построения трехмерных петрофизических моделей среды и их последующего анализа для решения задач рационального природопользования.

Отечественные фундаментальные и прикладные исследования

В России проводятся исследования по отдельным направлениям геофизической томографии. В частности, в области построения трехмерных моделей среды по электромагнитным данным — в Лаборатории методологии интерпретации электромагнитных данных ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Новосибирском Государственном Техническом Университете, Сибирском научно-исследовательском институте геологии, геофизики и минерального сырья (Новосибирск)). Количественные методы комплексирования результатов геофизических зондирований разрабатываются на кафедре геофизики *Российского государственного геологоразведочного университета*, в упомянутой выше Лаборатории ЦГЭМИ ИФЗ РАН, ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика» и Лаборатории геоинформатики ВНИИ Геосистем Министерства природных ресурсов и экологии РФ.

Под патронажем РОСНЕДР РФ уже многие годы проводятся геофизические исследования вдоль сети опорных профилей. В тоже время, следует признать, что, несмотря на большой объем выполненных полевых работ и затраченных средств, их эффективность крайне низка. По мнению автора, это связано с рядом причин:

- анализ геофизических данных в условиях их недостаточности, зашумленности и неравномерной сети измерений часто проводится методами, не позволяющими снизить негативное воздействие этих факторов;
- интерпретация геофизических зондирований вдоль отдельных профилей проводится, как правило, с помощью одномерной/двумерной инверсии электромагнитных или сейсмических данных, что не позволяет строить адекватные трехмерные геолого-геофизические модели участков земных недр;
- комплексный анализ разных геофизических данных зачастую проводится на качественном уровне, что не позволяет выходить на построение количественных петрофизических моделей и, как следствие, делать научно-обоснованные выводы о глубокозалегающих георесурсах, сейсмическом районировании местности, подходящих местах для захоронения токсичных и ядерных отходов и т.д.

В результате отмеченных выше недостатков современный потенциал геофизической томографии как метода решения задач рационального природопользования в РФ практически не используется. С этим связаны риски:

- снижения общих объемов добычи полезных ископаемых (из-за отсутствия научно-обоснованных методик их поиска и разведки в труднодоступных условиях, в частности, на глубинах 3–5 км);

- сохранения неоптимальной структуры российского топливно-энергетического сектора, ориентированного на добычу углеводородов (идущих, главным образом, на экспорт) и практически не использующего такие возобновляемые источники энергии, как геотермальные ресурсы, которые могли бы быть востребованы во многих регионах РФ для обеспечения локальных нужд на региональном и даже муниципальном уровне (во многом, из-за традиционной ориентации на дорогостоящее бурение разведочных скважин, а не на передовые методики дистанционной оценки температуры и фильтрационно-емкостных свойств пород, основанные на результатах трехмерной геофизической томографии);

- неэффективной защиты населения, а также народно-хозяйственных и оборонных объектов, от сейсмической активности (из-за ориентации строительной отрасли на СНИПы, основанные на картах сейсмического районирования территории РФ в масштабе 1:10000000, в то время как на основе современных методик, основанных на результатах трехмерной геофизической томографии, это можно было бы делать в масштабе 1:200000);

- экономических потерь из-за отсутствия научно-обоснованной базы геолого-геофизической знаний для кадастровой оценки и лицензирования земельных участков, и т. д.

Области возможного применения результатов исследований по геофизической томографии

Между тем, решение задач рационального природопользования на основе результатов трехмерной геофизической томографии земных недр могло бы иметь множественное влияние (как в среднесрочной, так и в долгосрочной перспективе) в следующих областях:

Технологическая

Разработанные программно-алгоритмические средства построения трехмерных количественных геофизических моделей среды, составляющие суть геофизической томографии, а также косвенной оценки петрофизических свойств пород на больших глубинах по геофизическим данным, создадут новую технологическую платформу для более эффективного проведения поисково-разведочных работ в земных недрах и тем самым будут способствовать реализации «Стратегии развития геологической отрасли до 2030 года» [2].

Технико-экономическая

Использование на практике разработанных методик количественного анализа геолого-геофизических данных позволит:

- существенно повысить точность пространственной локализации при поиске и разведке георесурсов (в частности, резервуаров нефти/газа, а также геотермальной энергии);

- осуществлять дистанционный 4D мониторинг состояния геосреды, а также запасов углеводородов и геотермальных ресурсов;

- снизить расходы на поиск и разведку георесурсов на больших глубинах, что делает их экономически выгодными и позволит ввести в народнохозяйственный оборот;

- уменьшить издержки, связанные со строительством в сейсмоактивных регионах по устаревшим СНИПам;

- повысить эффективность использования потенциала системы опорных геофизических профилей РФ.

Экологическая

Использование разработанных методик и программно-алгоритмических средств косвенной дистанционной оценки физико-механических и петрофизических характеристик среды позволит снизить объемы разведочного бурения скважин, что положительно отразится на экологической обстановке соответствующих регионов.

Социальная

Применение принципиально новых методик и технологий рационального природопользования позволит:

- расширить наши знания о земных недрах без проникновения в их глубины;
- осуществлять дистанционный прогноз состояния геологической среды;
- уменьшить производственные издержки и повысить экологическую безопасность при проведении буровых работ;
- создать надежную научно-обоснованную базу для кадастровой оценки и лицензирования земельных участков.

Национальная оборона, государственная и общественная безопасность

Новые научно-обоснованные методики и соответствующие информационно-вычислительные средства позволят дистанционно оценивать состояние участков земных недр по измерениям геофизических полей на поверхности Земли и/или в атмосфере. В свою очередь, это позволит:

- снизить риски построения важных народно-хозяйственных и оборонных объектов в сейсмо- и вулканически активных регионах;
- осуществлять поиск безопасных мест для захоронения токсичных и радиоактивных отходов;
- осуществлять дистанционный 4D мониторинг состояния земных недр в местах расположения важных народно-хозяйственных и оборонных объектов с целью прогнозировать состояние соответствующих участков земных недр.

Предложения по повышению эффективности работ по рациональному природопользованию

В России есть все необходимые предпосылки для успешного решения задач рационального природопользования на основе трехмерной геофизической томографии земных недр:

- за последние 20–25 лет появилось понимание того, что базовая геофизическая информация, которая используется для оценки петрофизических и фильтрационно-емкостных свойств пород, а также построения литологических моделей, во-первых, должна учитывать трехмерность среды и, во-вторых, требует количественного комплексирования разных методов;
- в отдельных институтах РАН, а также в некоторых ВУЗах, в последние годы был создан научно-методический задел для успешного решения прикладных геофизических задач;
- продолжается государственное финансирование создания сети опорных геофизических профилей.

В то же время, низкая эффективность работ по рациональному природопользованию связана, по мнению автора, с рядом факторов:

- недооценкой государственными структурами актуальности рассматриваемой темы для развития российской экономики и общества;
- традиционной ориентацией соответствующих государственных институтов, главным образом, на устаревшие геологические, а не на передовые геофизические методы рационального природопользования (что проявляется, в частности, в неоправданно большом числе научно-исследовательских институтов геологического профиля и мизерном — геофизического);
- отсутствием государственных структур, ответственных за внедрение передовых достижений отечественной разведочной геофизики в различные отрасли российской экономики.

Для повышения эффективности работ по рациональному природопользованию, по мнению автора, необходимо создать государственный Центр инновационных геофизических технологий.

В задачи Центра инновационных геофизических технологий входили бы:

- разработка, сопровождение и внедрение инновационных геофизических технологий в практику;
- организация межведомственной кооперации в этой сфере;
- экспертиза геолого-геофизических проектов;
- консультации и переобучение персонала региональных геолого-разведочных организаций, а также заинтересованных специалистов других ведомств;
- международное сотрудничество (в частности, с Геологическими службами других стран) для организации транснациональных геолого-геофизических проектов.

Заключение

В статье рассмотрены вопросы геофизической томографии земных недр применительно к решению задач рационального природопользования. Представлены результаты анализа исследований в этой области в зарубежных и российских организациях геолого-геофизического профиля. Раскрыты основные проблемы, снижающие эффективность отечественных работ в области рационального природопользования, и сформулированы предложения, направленные на ее повышение. Для этого, по мнению автора, необходимо создать государственный Центр инновационных геофизических технологий, основными задачами которого были бы разработка, сопровождение и внедрение инновационных геофизических технологий в практику.

В результате его работы можно будет существенно повысить технико-экономическую эффективность решения стратегических задач развития страны, сформулированных в «Стратегии развития геологической отрасли до 2030 г.», «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года», «Энергетической стратегии России на период до 2030 г.» и др. правительственных документах.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 1273-р «Перечень технологий, имеющих важное социально-экономическое значение или важное значение для обороны страны и безопасности государства (критических технологий)». Available at: <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. № 1039-р «Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года». Available at: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/d26/strategija.doc>.
3. Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года». Available at: <http://www.scrf.gov.ru/documents/99.html>.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года». Available at: <http://minenergo.gov.ru/aboutminenergostrategy/Strategiya/Energostrategiya-2030.doc>.
5. Поручение Президента РФ от 15.11.2011 № Пр-3400 «Основы государственной политики в области обеспечения безопасности населения Российской Федерации и защищенности критически важных и потенциально опасных объектов от угроз природного, техногенного характера и террористических актов на период до 2020 года». Available at: http://www.mchs.gov.ru/law/Ukazi_Prezidenta_RF/item/33094756.
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 апреля 2009 г. № 365 о федеральной целевой программе «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2018 годы». Available at: <http://www.gosstroy.gov.ru/images/fsp/postenovlenie-pr-365-23.04.2009.pdf>.
7. Спичак В.В. Разработка научно-методических основ и программно-алгоритмических средств трехмерной геофизической томографии земных недр. 2015. Аналитический документ по заказу ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ Минобрнауки РФ. 78 с.

References

1. The decree of the RF Government dated July 14, 2012. No. 1273-p «List of technologies, having important social and economic meaning or important meaning for national defense and state security (critical technologies)». Available at: <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>.
2. Statement of The Government of the Russian Federation dated 21 June 2010. No. 1039-p «Strategy of development of geological branch till 2030». Available at: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/d26/strategija.doc>.
3. The Decree of the President of the Russian Federation 12 may 2009. No. 537 «About strategy of national security of the Russian Federation until 2020». Available at: <http://www.scrf.gov.ru/documents/99.html>.
4. Statement of The government of the Russian Federation dated 13 November 2009. No. 1715-R «Energy strategy of Russia for the period till 2030». Available at: <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy/Strategiya/Energostrategiya-2030.doc>.
5. The order of the President of the Russian Federation on 15.11.2011. No. PR-3400 «Fundamentals of state policy in the field of safety of the Russian Federation population and security of critically important and potentially hazardous objects from threats of natural, man-made disasters and terrorist acts for the period up to 2020». Available at: http://www.mchs.gov.ru/law/Ukazi_Prezidenta_RF/item/33094756.
6. Resolution of the Government of the Russian Federation of 23 April 2009. No. 365 on the Federal target program «Increase of stability of dwelling houses, basic facilities and life support systems in seismic regions of the Russian Federation for 2009–2018 years». Available at: <http://www.gosstroy.gov.ru/images/fsp/poste-novlenie-pr-365-23.04.2009.pdf>.
7. Spichak V.V. (2015) Development of scientific and methodological foundations and program-algorithmic tools for three-dimensional geophysical tomography of the earth's interior. An analytical paper by the order of SRI FRCEC, Ministry of education and science of the Russian Federation. P. 78.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ НА ЭКОСИСТЕМЫ СЕВЕРНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ

С.Д. Шлотгауэр зав. лаб. Института водных и экологических проблем ДВО РАН, д-р биол. наук, saxifraga@ivep.as.khb.ru

В статье рассматриваются последствия лесопромышленных рубок по устаревшим формам экстенсивного хозяйствования, при котором идет фронтальное уничтожение наиболее продуктивных лесов на больших территориях без учета их экологических функций, оказывающих решающее влияние на состояние, динамику и продуктивность экосистем.

Ключевые слова: мониторинг, пробная площадь, пихтово-еловые, кедрово-широколиственные, лиственничные леса, экологические функции, растения индикаторы.

IMPACT OF FORESTRY DEVELOPMENT ON THE ECOSYSTEMS OF THE NORTHERN SIKHOTE ALIN

S.D. Shlotgauer, Head of Laboratory. Institute of Water and Ecological Problems RAS Far Eastern Branch, Ph.D. of Biology, saxifraga@ivep.as.khb.ru

The article discusses the consequences of commercial cuttings with obsolete forms of extensive management, in which frontal destruction of the most productive forests occurs in large areas without taking into account their ecological functions, which have a decisive influence on the state, dynamics and productivity of ecosystems.

Keywords: monitoring, sampling unit, fir-spruce, cedar-broad-leaved, larch forests, ecological functions, indicator plants.

Растительный покров хребта Сихотэ-Алинь играет важную средообразующую роль, его влияние на гидротермический режим и сохранность биоразнообразия простирается далеко в освоенные районы среднегорий Приамурья и Приморья.

Леса северного Сихотэ-Алиня содержат высокое биоразнообразие и ресурсный потенциал, обладают важными средообразующими функциями и выделяются как важный биогеографический узел регионального и планетарного значения за счет очевидных ярко выраженных функций генетического центра специфических экосистем и ядра популяций многих ценных видов биоразнообразия. Сихотэ-Алинь является средой обитания и центром зарождения этнических культур коренных народов. В связи с этим в последние десятилетия эту горную страну относят к ключевым районам биосферы Земли [Паничев, 1997].

Территория Сихотэ-Алиня является полигоном все расширяющихся лесопромышленных рубок крупных зарубежных и местных фирм, оформивших арендные отношения с Администрацией Хабаровского края на длительные сроки. Эта горная территория обладает рядом особенностей, делающей ее особенно чувствительной к антропогенным воздействиям, особенно к сплошным лесопромышленным рубкам [Жильцов, Ильина, 1997].

Материалы и методика

Нормативными документами мониторинга на Сихотэ-Алине явился приказ Министерства природных ресурсов РФ от 28.10. 2003 г. «О совершенствовании работы по ведению государственного экологического мониторинга».

Работы проводились в структуре трех естественноисторических фратрий формаций: хвойно-широколиственные леса, хвойные (пихтово-еловые) и лиственничные леса. Мониторинг проводился на постоянных и временных полигонах и трансектах наиболее крупных прито-

ков р. Амур и на водоразделах отрогов хр. Сихотэ-Алинь (рис. 1). В лесных формациях выделялись реактивные тест-индикаторы, которые с различной степенью точности сигнализировали о воздействии антропогенных факторов на сообщество. Учитывались критерии значимости индикаторного растения: таксономическая репрезентативность, фитогеографическое значение, биоценотическая функция, охранный статус, определяющий степень риска уничтожения редкой ценопопуляции.

На полигонах закладывались постоянные и временные пробные площадки. Для древесного яруса отмечались: сомкнутость древостоя, состав, структура, характер и интенсивность воздействия при лесопромышленном освоении; выполнялись картосхемы синузального строения, подчиненных ярусов и др. [Корчагин, 1964]. Для редких видов растений производился подсчет числа особей на трансектах и пробных площадках, фиксировалось положение синузий в системе координат с использованием GPS. Использовались материалы лесоустройств и дистанционного зондирования Земли. Принцип оценки водоохраной роли лесов основан на методических указаниях Р.В. Опритовой (1978), прошел апробацию на малых водотоках Сихотэ-Алиня (реки Тумнин, Анюй, Хор) [Ким, Махинов, 1991; Шлотгауэр, 1999; Шамов, Гарцман, 2003 и др.].

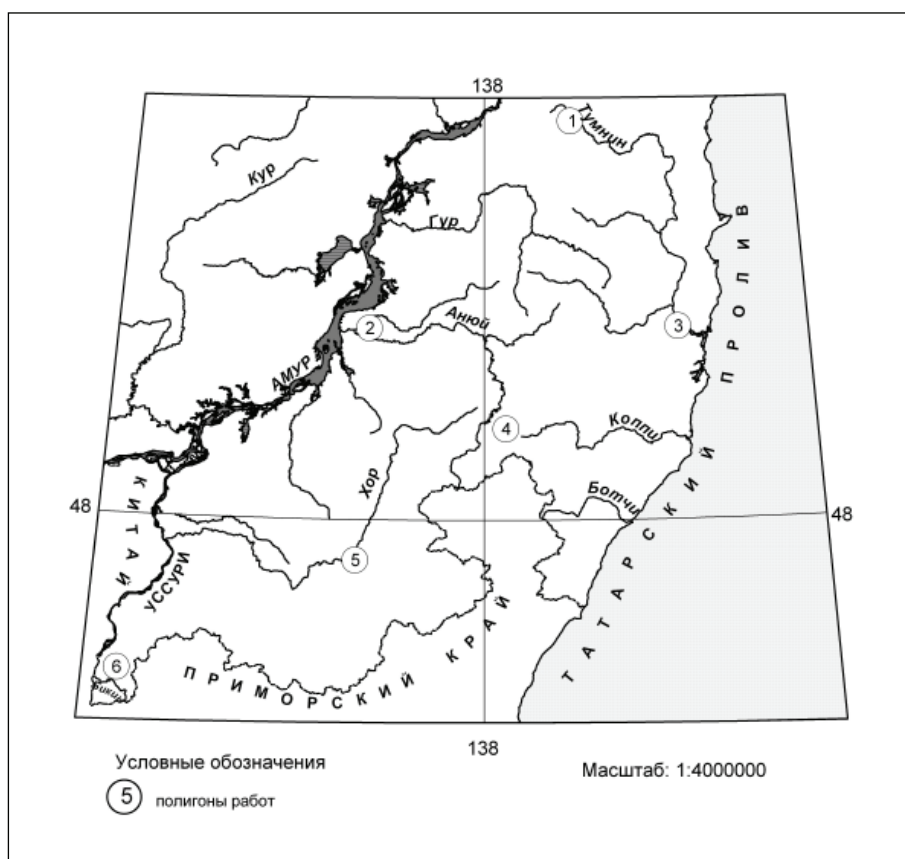


Рис. 1. Полигоны работ на Северному Сихотэ-Алине 1997–2007 гг.

1 – Аты; 2 – Анюй; 3 – Тутто; 4 – Хуту; 5 – Сукпай; 6 – Бира

Работы велись с 1997 по 2007 гг. в составе комплексных отрядов Института водных и экологических проблем ДВО РАН.

В процессе исследований были проделаны десятки маршрутов, заложено 80 трансект, описано 215 основных и временных пробных площадок, выполнено свыше 200 геоботанических описаний, собран гербарий свыше 800 экземпляров сосудистых растений.

Сихотэ-Алинь служит водоразделом рек бассейна Амура и Японского моря. Протяженность в субмеридиональном направлении более 1000 км, шириной 250 км. Средняя высота 500–800 м, высшая точка Северного Сихотэ-Алиня — г. Тардоки-Яни (2090 м). Западный макросклон пологий, восточный — крутой (крутизна от 20 до 350 и выше).

Исследованная территория по классификации Б.П. Колесникова (1955) относится к двум зонам: хвойно-широколиственным (смешанным) лесам и хвойным. Граница между ними проходит через низовья рек Бикин, Хор и Анюй и вытянута узкими языками, окаймляя горную систему с востока и запада. В связи с тем, что на Сихотэ-Алине контактируют границы двух крупнейших на Азиатском континенте областей, здесь существуют 4 фратрии растительных формаций: амурская (маньчжурская), берингийская, ангаридская и горно-тундровая (Сочава, 1980).

Леса — преобладающий тип растительного покрова, господствующее положение принадлежит темнохвойным лесам, образованным елью аянской (*Picea ajanensis*) и пихтой белокорой (*Abies nephrolepis*). Они распространены по осевым частям хребта и его отрогам до 800–1000 м над ур. м. На верхней границе они включают в свой состав березы шерстистую и Эрмана (*Betula lanata*, *B. erimani*) и кедровый стланик (*Pinus pumila*). Севернее бассейна р. Тумнин верхний пояс лесов образует лиственница (*Larix sajanderii*) и кедровый стланик.

Кедрово-широколиственные леса отмечены в барьерной тени Сихотэ-Алиня, защищающего их от влияния холодных воздушных морских масс Охотского моря. Основные массивы их размещены на более теплых, хорошо прогреваемых склонах, южной, юго-западной экспозиции, достигая 600–700-метровой отметки. Здесь проходят северо-восточные, северные и восточные границы наиболее характерных видов амурской (маньчжурской) флоры.

Высокая лесистость еще в сравнительно недавнее время и низкая плотность населения создавали неверное впечатление о незначительности антропогенного воздействия на среду обитания населения. На самом деле лесные экосистемы Приамурья существенно преобразованы и в ряде районов изменения носят катастрофический характер (Бакланов, Воронов, 2010).

Результаты и обсуждения

Общей тенденцией для Нижнего Приамурья является постоянное снижение лесопокрытой площади. Об интенсивности лесопромышленного освоения можно судить по экспорту круглого леса в Китай: в 90-е годы объем экспорта составлял 5–10%, в 2008 г. — 50%. Невзирая на ограничения вырубki кедра (сосна корейская — *Pinus koraiensis*) и ясеня (*Fraxinus mandshurica*) в соседние страны вывозятся сотни тысяч кубометров под кодовым названием «сосна монгольская обыкновенная» и «бук». Площади лесов из кедра (*Pinus koraiensis*) за последнее столетие сократились в 70 раз: с 554 тыс. до 8 тыс. га. (Котлобай, 2008).

Основные потоки древесины из Нижнего Амура идут в Японию, Южную Корею и Китай от небольших пристаней Маго, Комсомольск, Лидога, Найхин и др. Настоящий контроль за этими поставками отсутствует благодаря своей отдаленности от основных административных центров.

Хотя правила рубок в РФ на бумаге сформулированы четко, но лесохозяйственный регламент в лесничествах не разработан в соответствии со статьей 87 Лесного кодекса по программе, утвержденной приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации еще в 2007 г. Этой неопределенностью пользуются криминальные структуры, которые осуществляют вывоз древесины в ночное время. Дорогу им открыл Федеральный закон, который был подписан 12 лет назад. В 2005 г. лесная охрана была ликвидирована, взамен более чем 2000 инспекторов, ранее следящих за порядком в тайге Хабаровского края и имеющих

законное право пресекать незаконные рубки, осталось несколько десятков специалистов Управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования региона. Между тем, на Сихотэ-Алине свыше 10 лесхозов, рубят лес полсотни арендаторов. Что могут сделать несколько контролеров на такой территории? В силу сложившихся коррупционных отношений между властными структурами и чиновниками сотни мелких фирм обходят эти правила. Под видом промежуточных или санитарных рубок, которые были нами зафиксированы в Бикинском, Нанайском и районе им. Лазо, незаконные рубки продолжаются (рис. 2, 3).



Рис. 2. Под видом ухода идет уничтожение запрещенной к рубке сосны корейской (кедр)



Рис. 3. Рубки «ухода» в Оборском лесничестве (квартал 24)

В последние десятилетия влияние лесов на гидрологический режим рек определяются качеством лесного покрова, его состоянием. Последнее зависит не только от возраста и состава лесов, но и от степени антропогенного воздействия, в частности, рубок главного пользования, в результате которых происходит смена хвойных на лиственные породы, в растительном покрове, увеличивается процент молодняков в общей фитомассе лесов. Эти факторы приводят к снижению экологических функций растительности, несмотря на сохранение высокой доли лесистой территории.

Показателями, определяющими эффект водоохраной роли смешанных лесов разного возраста служат соотношения фитомассы следующих категорий лесов: приспевающих, спелых, перестойных и молодняков, а так же доли участия фитомассы хвойных и лиственных лесов [Опритова, 1982].

Основные закономерности водоохраной роли в лесах разного состава и возраста следующие: в спелых и приспевающих и перестойных лесах, имеющих высокие показатели фитомассы крон, отмечено формирование положительного значения водного баланса. При этом наибольшее влияние на элементы гидрорежима выявлено у фитомассы хвойных формаций. Максимальный водоохраный эффект определяется соотношением хвойных и лиственных древостоев в общей фитомассе приспевающих и перестойных лесов [Опритова, 1982].

По сравнению с этой группой водоохранная роль средневозрастных и молодых лесов значительно ниже.

Эти закономерности не используются при проведении рубок главного пользования. Не учитывается соотношение возрастных групп в лесах, при котором доля вторичных средневозрастных лесов и молодняков была бы ниже, чем приспевающих, спелых и перестойных. Соотношения возрастных групп в целом и их природного состава могут регулироваться не только размерами фитомассы, но также занимаемой ими площадью и величиной таксационного запаса [Опритова, 1982].

Для положительного водного баланса в лесах разного состава и возраста средневозрастные и молодняки не должны превышать 30–35%, что соответствует 40–45% покрытой лесом площади. Максимальный эффект хвойных лесов проявляется лишь при определенном сочетании с лиственными: зеленая масса хвойных пород должна составлять 70%, а лиственных 30% [Зархина, 1978; Шлотгауэр, 2008].

Наблюдения за состоянием малых водотоков Куптурку, Гобилли, Аты, Шумная (бассейн рек Анюя и Тумнина) показали, что вырубка леса только на 20% их водосбора уже приводит к заметным изменениям гидрологического режима. В результате техногенного нарушения поверхности водосбора происходит уничтожение травяно-мохового покрова, исчезновение кустарников, уплотнение верхнего слоя почв на склонах, по которым идет рубка, трелевка и вывоз древесины, а также изменение теплового режима почвогрунтов. Их оттаивание увеличивается в 1,5–2,0 раза, объемный вес поверхностного слоя возрастает в 3–4 раза, а коэффициент инфильтрации уменьшается на 20–25%. Интенсивно нарастает водная эрозия, которая увеличивает густоту первичной речевой сети в 3–4 раза по сравнению с естественной. Это создает условия для более высоких и скоротечных паводков, разрушения почвенного покрова и его смыва.

Анализ многолетних рядов стандартных данных о стоке малых — площадью 2–2,5 тыс. км² — речных бассейнов на Северном Сихотэ-Алине показал снижение водорегулирующей способности данных бассейнов при проведении рубок главного пользования [Ким, 1982; Шлотгауэр, 1999; Шамов, Гарцман, 2003].

Эти данные подтверждают исследования, проведенные ранее в Южном Сихотэ-Алине: с сокращением лесистости малых горных бассейнов с площадью водосбора до 30 км² и особенно до 10 км², приводит к значительному возрастанию максимального летнего и снижению минимального летнего и зимнего стоков. Отсюда следует, что в верхней части горных бассейнов, непосредственно выходящих к линии главного водораздела Сихотэ-Алиня и его

основных отрогов, рубки главного пользования должны быть ограничены. В настоящее время актуальная проблема влияния вырубки лесов на гидрологический режим приобретает особое значение: ежегодно исчезают сотни тысяч гектаров леса. Вследствие этого происходит значительное преобразование гидрологических процессов, зачастую имеющих негативный характер. Нерегулируемый сход осадков в водотоки при сильных и очень сильных дождях (по Высоцкой, 1971) всегда определял высокие паводки. Катастрофическое наводнение 2013 г. явилось результатом природной специфики климата и грубых нарушений хозяйствования в тайге.

Эрозионная уязвимость осевой зоны Северного Сихотэ-Алиня очень велика. Этому способствуют три основных фактора. Во-первых, значительная крутизна склонов, обусловленная большой густотой расчленения рельефа. Густота речной сети рек Хуту, Аты, Шумная (бассейн Тумнина) составляет 1,4–1,0 км при средней крутизне 15–20°.

Вторым фактором является высокая глинистость грунтов вследствие интенсивного проявления процессов химического выветривания. Доля суглинистого материала верхних горизонтов склоновых отложений достигает 20 %, поэтому при длительных дождях или ливневом характере осадков он не способен дренировать всю поступающую на поверхность влагу.

Третий фактор заключается в большом количестве атмосферных осадков. Их годовое количество составляет 700–900 мм в год, при этом более 80 % выпадает в теплое время года. На восточном макросклоне, обращенном к Татарскому проливу, осадков выпадает на 30–40 % больше, чем на склонах, ориентированных в противоположную сторону. В естественном состоянии экосистем эрозионные процессы развиваются незначительно в связи с высоким проективным покрытием растительного покрова.

Для предупреждения активизации селевых потоков, возникающих в долинах небольших водотоков с мощностью аллювиальных отложений до 2 м, необходимо соблюдать два условия. Во-первых, ограничить возможность быстрого поступления воды с водосборов рек в их русла. Это достигается ограниченностью площадей вырубок в бассейнах небольших рек. Сплошные рубки не должны превышать более 50–60 % поверхности в их пределах. Во-вторых, необходимо полностью сохранять лес в пределах днищ долин. В этом случае не будет нарушена способность аллювиальных отложений к вовлечению в движение при увеличении расходов воды при интенсивных паводках, связанных с дождями.

Преобладание рубок интенсивностью 35–75 % на площади 1500 га в год на горных склонах в пихтово-еловой формации способствует увеличению весеннего, летнего и годовых стоков малых рек. Увеличение весеннего стока происходит в большей мере, чем летнего и составляет около 30 мм. За счет весеннего возрастает годовой сток. Рубки интенсивностью 75 % на такой же площади повышают весенний сток, но снижают летний. Годовой сток при этом зависит от соотношения изменений в сезонном стоке. В указанных случаях неравномерность стока возрастает во все сезоны, за исключением весеннего периода на водосборе в пихтово-еловых формациях с интенсивностью рубок 35–75 % [Ким, 1988].

На нижележащих участках склонов, где крутизна составляет 15–25° в формации кедровых и кедрово-широколиственных лесов, где преобладали рубки интенсивностью 35–75 %, при ежегодной площади вырубок до 20 км², происходит повышение годового стока и его составляющих. Весенний и летний сток возрастают в одинаковых пределах на 15–20 мм, а годовой — на 30 мм [Ким, 1988].

Таким образом, рубки главного пользования в низкогорных ландшафтах с преобладающей формацией из хвойно-широколиственных пород оказывают меньшее влияние на годовой сток и его составляющие, чем в среднегорной с большой крутизной склонов под еловыми и пихтово-еловыми формациями. Влияние рубок главного пользования по мере подъема в горы на сток возрастает на склонах восточной экспозиции.

Таким образом, интенсивные рубки, проведенные на больших площадях, оказывают отрицательное влияние на годовой сток в целом.

Изменение водного режима, потепление на 1,80°C, которое отмечают климатологи в Приамурье, сказались отрицательно на состоянии хвойных лесов [Новороцкий, 2007]. Продолжается усыхание хвойных лесов, особенно из ели аянской и пихты белокорой (*Picea ajanensis*, *Abies nephrolepis*). В конце прошлого века снизилась продуктивность, жизненность всходов и возобновление кедрового стланика (*Pinus pumila*) на водоразделах,

Нарушение устойчивого развития лесных экосистем в результате нерегламентированного лесопромышленного освоения является причиной потери наиболее ценных в хозяйственном отношении и научном отношении видов биоразнообразия. Состояние леса после рубок характеризуют растения, наиболее чутко реагирующие на воздействие концентрированных рубок – растения-индикаторы. Для них характерны высокоспециализированные местообитания, высокие требования к параметрам влажности, затенения и эвтрофности субстрата.

В результате вырубки эдификаторных пород (ели, кедра, пихты и лиственницы) отмечена гибель видов мхов, лишайников и грибов, имеющих наивысшую сопряженность со средообразующими видами древесного полога. В первую очередь погибают влаголюбивые представители мохообразных (*Targinia inica*, *Cryphaea amurensis* и др.), лишайники (*Lobaria retigera*, *Asahinea scholanderi* и др.).

Уничтожение древесного яруса губительно и для древоразрушающих и напочвенных видов грибов. Первые погибают вместе с древесной породой, вторые – при разрушении лесной подстилки из-за иссушения гумусового слоя.

Сосудистые растения, такие как *Monotropa uniflora*, *Epipogium amphyllum*, *Gastrodia elata* и др. уязвимы на всех стадиях жизненного цикла и исчезают в первый год после рубок [Шлотгауэр, 2006; 2007].

Бореальные орхидеи – высокоспециализированные с низкой, быстро снижающейся численностью, такие как *Cypripedium macranthum*, *C. calceolus*, *Oreorhis patens* и др. имеют наиболее уязвимые стадии жизненного цикла в период плодоношения. Из-за сухости органических горизонтов почвы погибают почвенные микроскопические грибы и водоросли, что препятствует всхожести семян орхидных.

Экологическая валентность споровых растений, таких как *Lunathyrium pterorachis*, *L. ruscinosorum*, *Dryopteris subtrepenata*, *Coniogramma intermedia* и др. определяется их высокой специализацией к тенистым долинным пихтово-еловым и кедрово-широколиственным формациям. На всех стадиях жизненного цикла они являются уязвимыми к иссушению воздуха, почвы, колебаниям температуры и увеличивающейся солнечной радиации после сведения древостоя [Шлотгауэр, 1999].

Мониторинг за состоянием малых водотоков Северного Сихотэ-Алиня показал, что вырубка леса на 20 % их водосбора приводит к заметным нарушениям гидрологического режима с изменением теплового режима почвогрунтов; увеличивается их оттаивание в 2 раза, уменьшается коэффициент инфильтрации на 20–25%. Интенсивно нарастает водная эрозия, увеличивающая густоту первичной речевой сети в 3–4 раза, что создает условия для более высоких и скоротечных паводков и приводит к разрушению почв, смыву почвенных частиц и увеличению взвешенного материала в горных реках. Лососи избегают захода в водотоки, где мутность превышает 1820 мг/л, при более высокой мутности выживаемость икры на нерестовых буграх резко снижается. В результате лесоразработок и неизбежно следующими за ними пожарами на нерестилищах накапливается слой неорганических и органических осадков, которые, изменяя химический состав воды, и, поглощая кислород, приводят к гибели икры. По данным С.В. Золотухина и А.Н. Махинова (2008) на Нижнем Амуре утрачено 1,75 млн м² площадей нерестилищ осенней кеты.

С разрушением коренных лесов и исчезновением кормовой базы, защитных условий, возможностей для зимовки, гнездования и выведения потомства нарушаются экологические связи между животными и их сообществами.

Реликтовые, эндемичные, консервативные, редкие краснокнижные и малочисленные, хозяйственно ценные виды заменяются в биогеоценозах эвритопными и синантропными. Снижается степень генетической разнородности Сихотэ-Алиньских популяций и возрастает степень их пространственной изоляции (Воронов, 2006; Шлотгауэр, 2007).

Заключение

В Приамурье продолжается освоение природных ресурсов по устаревшим технологиям экстенсивного хозяйствования, при котором идет фронтальное уничтожение наиболее продуктивных лесных формаций на больших площадях без учета их экологических функций, оказывающих решающее влияние на динамику и продуктивность экосистем.

Брошенная в тайге древесина и порубочные остатки способствуют повышению частоты экстремальных ситуаций в регионе. Учитывая тенденцию потепления, усилению антропогенного пресса на леса, следует прогнозировать серию пирогенных катастроф, подобную 1998–2001 гг., когда в крае в огне погибло свыше 4,5 млн га лесных угодий.

Распадение контуров кедрово-широколиственных и пихтово-еловых лесов на ряд изолированных фрагментов создали преграду для межпопуляционного обмена между ними. Уменьшение или полное исключение взаимоотношений между разобщенными частями прежде обширных популяций растений уже привело в настоящее время к снижению адаптаций реликтовых сообществ к меняющимся условиям среды.

С исчезновением эдификаторных, чаще хвойных, пород наметилось сокращение численности реликтовых и эндемичных видов растений, мхов, лишайников и грибов. В очередном перечне видов Красной книги Хабаровского края (2008) считаются исчезнувшими 10 видов сосудистых растений 3 вида лишайников, 4 вида грибов. В их числе легендарный женьшень (*Panax ginseng*).

Разрушение уникальных биотопов сихотэалиньской экосистемы привело к сокращению кормовых угодий важнейших промысловых видов животных — основу существования коренных народов. Теперь этот регион один из лидирующих по низкому уровню жизни и ранней смертности.

С экологической точки зрения с целью минимизации ущерба при проведении рубок главного пользования приоритетными для горных условий Сихотэ-Алиня должны стать несплошные рубки, в первую очередь выборочные, при которых лесная площадь постоянно находится в стадии покрытой лесом. Выборочные рубки отвечают природе разновозрастных ельников, далее следуют постепенные и на последнем месте сплошные, которым в большей степени соответствуют лиственничные формации.

Необходимо ликвидировать множество пробелов, касающихся сохранения лесов водоохранных зон с неповторимым комплексом ценных древесных пород, редких видов растений и животных, в том числе из Красных книг Российской Федерации (2008) и Хабаровского края (2008). Лесным кодексом не защищены старовозрастные леса и ключевые экологические территории, хотя они описаны, закартографированы и рекомендованы учеными к сохранению. Срочно должен быть разработан в соответствии со статьей 87 Лесного кодекса регламент по программе, утвержденной Министерством природных ресурсов России в 2007 году. Регламент до сих пор не разработан в лесничествах Хабаровского края, что стало сдерживающим фактором выполнения Концепции развития лесного хозяйства.

Список литературы

1. Воронов Б.А. Антропогенные изменения природных экосистем Приамурья // Изменения природно-территориальных комплексов в зонах антропогенного воздействия. М.: Медиа-пресс, 2006. С. 61–68.
2. Выводцев Н.В. Анализ основ управления лесами в России // Охрана лесов от пожаров в современных условиях. Материалы Междунар. научн.-практ. конф. Издательство КПБ. Хабаровск, 2002. С. 27–31.

3. Выводцев Н.В. Влияние пожаров на углеродный баланс в лесах Хабаровского края // Охрана лесов от пожаров в современных условиях. Материалы Междунар. научн.-практ. конф. Издательство КПБ. Хабаровск, 2002б. С. 180–185.
4. Бакланов П.Я., Воронов Б.А. Глобальные и региональные риски устойчивого природопользования в бассейне Амура // Известия РАН. Серия географическая. 2010. № 2. С. 17–24.
5. Жильцов А.С., Ильина Т.М. Организация рубок главного пользования с учетом экологического значения лесов в Центральном Сихотэ-Алине // Сихотэ-Алинь: сохранение и устойчивое развитие уникальной экосистемы. Материалы международной научно-практической конференции 4–8 сентября 1997 г. Владивосток.: Издательство ДВГУ. 1997. С. 41–43.
6. Зархина Е.С. Лесистость как основной инструмент оптимизации ландшафтного баланса // Рациональное использование и охрана среды на БАМе. Иркутск: СО АН СССР, 1978. С. 105–110.
7. Золотухин С.Ф., Махинов А.А. Заломы в нижнем течении р. Гур и их влияние на динамику нерестилищ осенней кеты // Амур на рубеже веков. Ресурсы. Проблемы, перспективы: Материалы Международной научн. экол. конф. И Пкраевой конф. По охране природы. Хабаровск, 21–23 апреля 1999 г. Ч. 3. Хабаровск, 1999. С. 26–28.
8. Ким В.В. Зависимость стока рек юга Дальнего Востока от природных факторов // Формирование вод суши юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. С. 57–62.
9. Котлобай А.И. Нелегальный оборот древесины – реальная угроза существованию дальневосточных лесов. Исследование проблемы незаконных лесозаготовок на примере Приморского края. Всемирный фонд дикой природы. Москва, Россия. 2008. С. 3–72.
10. Опритова Р.В. Водоохранная роль лесов южного Сихотэ-Алиня. М.: Наука, 1978. 95 с.
11. Паничев А.М. Бикинская ландшафтная зона как ключевой элемент экосистемы Сихотэ-Алиня // Сихотэ-Алинь: сохранение и устойчивое развитие уникальной экосистемы. Материалы международной научно-практической конференции 4–8 сентября 1997 г. Владивосток: Издательство ДВГУ. 1997. С. 16–19.
12. Шлотгауэр С.Д. Сплошные рубки и проблемы охраны девственных лесов Северного Сихотэ-Алиня. Хабаровск, 1999. ИВЭП ДВО РАН. 43 с.
13. Шлотгауэр С.Д. Критерии и индикаторы устойчивого развития Модельного леса «Гассинский» // Материалы I Международной научной конференции Современные проблемы регионального развития, г. Биробиджан 17–18 октября 2006 г. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2005. С. 8–12.
14. Шлотгауэр С.Д. Антропогенная трансформация растительного покрова тайги. М.: Наука, 2007. 178 с.
15. Шлотгауэр С.Д. Экологическая роль растительного покрова в Приамурье // Факторы формирования качества воды на Нижнем Амуре. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 43–67.

References

1. Voronov B.A. (2006) Anthropogenic changes of natural ecosystems of the Amur Region. Changes of natural-territorial complexes in the zones of anthropogenic impact. M.: Media-press, pp. 61–68.
2. Vyvotsev N.V. (2002) The analysis of the foundations of forest management in Russia // Protection of forests from fires in modern conditions. Proceedings of The International scientific.-pract. Conf. Publisher of the PBC. Khabarovsk, pp. 27–31.
3. Vyvotsev N.V. (2002) The impact of fires on carbon balance in Khabarovsk Territory forests. Protection of forests from fires in modern conditions. Proceedings of The International. scientific.-pract. Conf. Publisher of the PBC. Khabarovsk, pp. 180–185.
4. Baklanov P.Y., Voronov B.A. (2010) Global and regional risks of sustainable nature management in the Amur river basin. News of RAS. Geographical series. No. 2, pp. 17–24.
5. Zhiltsov A.C., Ilyina T.M. (1997) Organization of felling, given the ecological importance of forests in the Central Sikhote-Alin. Sikhote-Alin: preservation and sustainable development of the unique ecosystem. Materials of international scientific-practical conference, September 4–8, 1997. Vladivostok: Publishing house of the FENU. 1997, pp. 41–43.

6. Zarkhina E.S. (1978) Woodiness as the main optimization tool for landscape balance. Rational use and protection of the environment in the BAM. Irkutsk: SB as USSR, pp. 105–110.
7. Zolotukhin S.F., Makhinov A.A. (1999) Creases in the lower reaches of the river Gur and their influence on the dynamics of the autumn spawning of chum salmon. Amour at the turn of the century. Resources. Problems, prospects: Materials of International scientific Territorial Ecol. Conf. For the protection of nature. Khabarovsk, April 21–23, 1999 Part 3. Khabarovsk, 1999, pp. 26–28.
8. Kim V.V. (1988) Dependence of river runoff in the South of the Far East from the natural factors of Formation of land waters of the southern Far East. Vladivostok: Far East Branch of AS USSR, pp. 57–62.
9. Kotlobay A.I. (2008) Illegal timber trade is a real threat to the existence of Far Eastern forests. The study of the problem of illegal logging by the example of Primorsky Territory. The world wildlife Fund. Moscow, Russia, pp. 3–72.
10. Opritova R.V. (1978) Water protection role of forests of the southern Sikhote-Alin. Moscow. Nauka, 95 p.
11. Panichev A.M. (1977) Bikin. Landscaped area as a key element of ecosystems of the Sikhote-Alin. Sikhote-Alin: preservation and sustainable development of the unique ecosystem. Materials of international scientific-practical conference, September 4–8, 1997. Vladivostok: Publishing house of the FENU, pp. 16–19.
12. Shlotghauer S.D. Clearcuts and problems of protection of virgin forests of the Northern Sikhote-Alin. Khabarovsk, 1999. IVEP, Far East Branch of RAS. 43 C.
13. Shlotghauer S.D. (2005) Criteria and indicators for sustainable development of the Model forest «gassinskiy» Materials of the First International scientific conference «Modern problems of regional development», Birobidzhan 17–18 October 2006 Birobidzhan: ICARP Far East Branch of RAS, pp. 8–12.
14. Shlotghauer S.D. (2007) Anthropogenic transformation of vegetation cover of the Taiga. Moscow: Nauka, 178 p.
15. Shlotghauer S.D. (2008) Ecological role of vegetation cover in the Amur region. Formation Factors of water quality in the Lower Amur. Vladivostok: DALNAUKA, pp. 43–67.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАССОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАШИН

А.М. Тишин, проф. физ. факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Группа компаний АМТ&С, д-р физ.-мат. наук

Настоящая работа посвящена оценке предельно достижимой величины плотности мощности электромашин МВт-го уровня с использованием простых компоновочных допущений. Показано, что для увеличения, как плотности мощности, так и плотности крутящего момента, необходимо, помимо максимизации тангенциального напряжения сдвига в зазоре между ротором и статором, также увеличивать отношение между внутренним и внешним диаметром статора до максимально близкого к единице. Проведено сравнение полученных результатов с выводами аналитического исследования НАСА, основанного на прогнозе развития новых материалов, которые в будущем потенциально могут быть использованы при производстве электромашин. Выполнен сравнительный анализ опубликованных характеристик судовых электромашин и электроприводов МВт-го уровня, подтверждающий перспективность синхронных электромашин на постоянных магнитах.

Ключевые слова: плотность мощности электромашин, отношение между внутренним и внешним диаметром статора, анализ характеристик судовых электромашин и электроприводов, синхронных электромашин на постоянных магнитах.

THE ESTIMATION OF MAXIMUM POWER DENSITY AND A COMPARATIVE ANALYSIS OF MASS-DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF ELECTRIC MACHINES

A.M. Tishin, Professor, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, AMT&C Group of Companies, Ph.D. of Physics and Mathematics

The present work is devoted to the estimation of the maximum achievable value of power density of MW(Megawatt)-level electric machines using a simple layout assumptions. It is shown that to increase power density on the one hand and torque density on the other, it is necessary, in addition to the maximization of the tangential shear stress in the gap between the rotor and the stator, to increase the ratio between the inner and outer diameter of the stator to the maximum close to unity. A comparison is made of the obtained results with the conclusions of the analytical studies by NASA, based on the forecast for the development of new materials, which in the future can potentially be used in the production of electric cars. A comparative analysis is made of the published characteristics of marine electric machines and electric drives of MW-level, confirming the prospects of synchronous electric motors with permanent magnets.

Keywords: power density electric machines, the torque density, ratio between the diameters of the stator, the forecast for the development of new materials.

Судовые электроприводы и генераторы производятся целым рядом крупных российских и зарубежных производителей. Так, например, компании Alstom, ABB, Rolls Royce-Convertteam, Siemens-Schottel и SAM Electronics-Wartsila Propulsion, Man и другие производят асинхрон-

ные (АЭ) и синхронные электроприводы [1]. Обычные судовые электрогенераторы выполнены на основе электромашин с частотой вращения $n = 3600$ об/мин или 1800 об/мин и воздушным охлаждением [2]. Необходимо отметить, что в ряде случаев проектировщики выбирают готовые, смонтированные на одной платформе и уже оптимизированные генераторные модули. Так, например, компания Wärtsilä выпускает дизель-генераторные модули 2,85 МВт, 50 Гц (1000 об/мин) массой 45,7 т [3]. При этом использование синхронных электромашин на основе редкоземельных постоянных магнитов (СЭПМ) позволяет существенно снизить массогабаритные характеристики подобных генераторных установок (см. рис. 1).

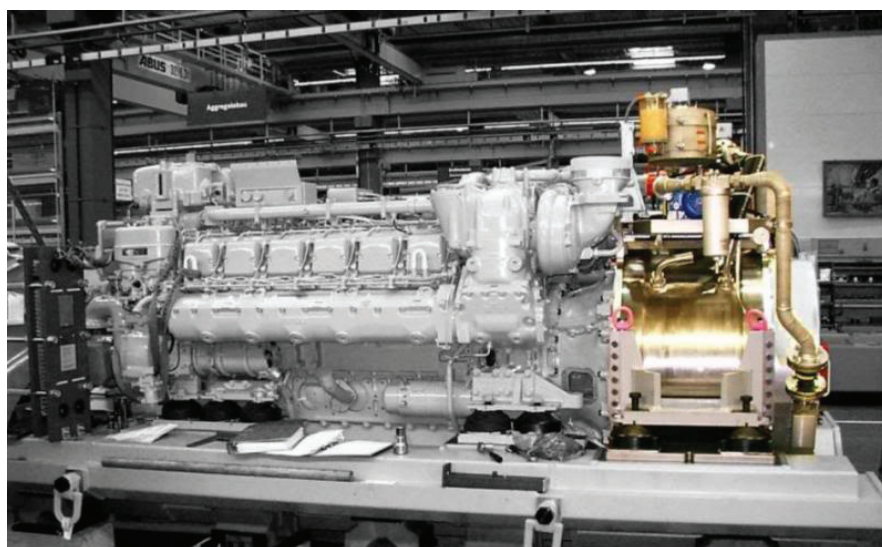


Рис. 1. Общий вид электрогенераторной установки компании Magnet-Motor GmbH на уровне 1.25–1.7 МВт. Полная длина дизельного электрогенератора около 3 м. Длина СЭПМ около 0.5–0.6 м (треть от традиционной АЭ)

Мощность низкооборотных электромашин на основе постоянных магнитов достигла в 2006–2009 гг. уровня 36,5[4]–65 МВт [5] (см, например, рис. 2).

По сравнению с высокооборотными синхронными электромашинами с электромагнитным возбуждением и редуктором, низкооборотные СЭПМ позволяют уменьшить массу электропривода до 50 % и эффективность работы от 2–4 % до 15–30 % при полной и частичной нагрузке, соответственно [4]. Мощность синхронных генераторов на постоянных магнитах может достигать 40 МВт при частоте вращения $n = 3600$ об/мин [6, 7] и уменьшается до 6 МВт для 17000 об/мин [8, 9].

Потенциал дальнейшего совершенствования (в первую очередь снижения массогабаритных показателей и увеличения КПД) мощных электрических машин мультимегаваттного уровня до сих пор недостаточно изучен. Как отмечалось ранее в нашей работе [10], удельная мощность перспективных моделей высокооборотных электрических машин, разрабатываемых для автомобильной промышленности на уровень мощности 40–100 кВт, в настоящее время достигает значений 4–5 кВт/кг и уровня 2,0 кВт/кг в расчете на полную массу комплектных электроприводов при массовом производстве. Линейная аппроксимация первой величины на электромашину мощностью 1 МВт дает массу 200–250 кг (4–5 МВт/т). В тоже время удельная мощность большинства используемых в настоящее время промышленных электромашин МВт-го уровня составляет лишь 0,16 кВт/кг (0,16 МВт/т).



Рис. 2. СЭПМ производства DRS Technologies, NJ, USA (36.5 МВт, 127 об/мин)

Морской 8-ми фазный электропривод на постоянных магнитах с поперечным магнитным потоком мощностью 20 МВт, разработанный компанией Rolls-Royce, Derby, UK имел массу 39 т, объем 12,6 м³ и удельную мощность 0,513 кВт/кг (0,513 МВт/т) [11]. Малошумный СЭПМ с повышенной величиной плотности мощности был разработан компанией Siemens AG для гибридных подводных лодок (для подводной лодки длиной 100 м использовался дизель на 1,2 МВт и четыре электропривода по 1 МВт каждый) (см. рис 3.).

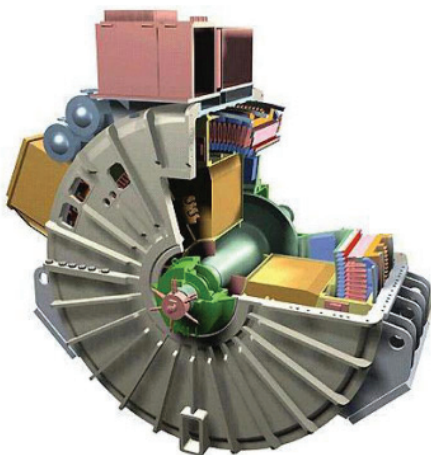


Рис. 3. СЭПМ мощностью 1 МВт марки Permasyn для привода подводных лодок, разработанный компанией Siemens AG, Hamburg, Germany

Вместе с тем, на основе анализа выполненного в отчете НАСА, авторы работы [12] делают вывод о том, что появление новых материалов (постоянных магнитов, проводников тока на основе углеродных нанотрубок, полупроводников изоляторов, теплообменных и других материалов и изделий на их основе) окажет крайне существенное влияние на массогабарит-

ные характеристики электромашин будущих электроприводов авиационного назначения и может привести к более чем пятикратному увеличению удельной мощности за 30-ти летний период и достижению в 2045 г. уровня удельной мощности 26 кВт/кг (26 МВт/т). Это равносильно тому, что электромашин мощностью 1 МВт будет иметь массу всего около 40 кг. Необходимо отметить, что частота вращения электромашин мультимегаваттного уровня ограничена и не может превышать 20–25 тыс. об/мин на данном уровне развития техники, поэтому величины порядка 26 кВт/кг (26 МВт/т), которые уже сейчас достижимы для маломощных машин, являются весьма большими для электромашин мегаваттного уровня. Мало того, достижения подобного уровня удельной мощности может устранить существующий зазор по удельной мощности и эффективности между некриогенными и проектируемыми криогенно охлаждаемыми электромашинными и накопителями на ВТСП материалах [12]. Однако, поскольку прогнозирование развития в области материаловедения является крайне сложной задачей, представляло интерес попытаться из самых общих соображений (без оценок уровня развития и свойств различных материалов на 30 летний период) оценить предельно достижимые значения удельной мощности электромашин, а также проанализировать, на базе имеющихся литературных данных, достигнутые в настоящий момент уровни плотности мощности судовых электрических машин мультимегаваттного уровня различных типов и сравнить их с известными значениями для электромашин, используемых в составе автомобильных и авиационных электроприводов.

Особый интерес к развитию электрических машин мультимегаваттного уровня определяется следующим обстоятельством. При линейном увеличении размеров электромашин, объем электромашин, V , будет возрастать по кубическому закону, в тоже время мощность, P , возрастает пропорционально произведению напряжения, U , на ток, I , или пропорционально четвертой степени габаритных размеров $\sim U \times I \sim nDL \times D^2/n \sim LD^3$, где D и L диаметр и осевая длина электромашин [13]. Таким образом, величина плотности мощности в первом приближении должна линейно возрастать для крупногабаритных электрических машин мультимегаваттного уровня при увеличении их диаметра. Следовательно, для таких электромашин при сравнимой частоте вращения, можно ожидать существенно больших значений как плотности мощности, так и удельной мощности в расчете на кг массы.

Мало того, все типы электрических машин и электромагнитных устройств показывают более низкое отношение мощности потерь к мощности на выходе с увеличением выходной мощности [4]. Это означает, что эффективность электродвигателей увеличивается с увеличением номинальной мощности, и, таким образом, большие бесщеточные двигатели на постоянных магнитах могут достигать более высокой эффективности, чем любой другой электродвигатель (кроме сверхпроводящих).

Определение основных характеристик, влияющих на предельные величины плотности момента и плотности мощности

При массовом производстве электроприводов гибридного электротранспорта максимальный крутящий момент должен быть обеспечен приводом требуется в течении не менее 18 сек и лежит в диапазоне 35–45 Нм/л (35–45 кНм/м³) [14] при плотности тока 20–26 А/мм² (45 Нм/л (45 кНм/м³) в течении 3 сек в стартерах при токе 50 А/мм² [14]), или до 35–70 Нм/л (35–70 кНм/м³) в приводах со встроенным магнитным редуктором. Если принять во внимание, что, как упоминалось выше, в разрабатываемых в настоящее время высокооборотных электромашинных со частотой вращения 5–10 тыс. об/мин, используемых в электроприводах электрических и гибридных автомашин достигнуты значения 5 кВт/кг (5 МВт/т) [15] или даже до 18 кВт/л (18 МВт/м³) в продолжительном режиме [14], то, в первом приближении, можно было бы ожидать, что при увеличении диаметра электромашин, D , в 5 раз (например, увеличение внешнего диаметра статора с 264 до 1320 мм), уже сейчас было бы возможно увеличить величину удельной мощности до уровня порядка 25 кВт/кг (25 МВт/т), те достигнуть уровня удельной мощности, который прогнозируется НАСА [12] только через 30 лет (а при

использовании будущих наноструктурированных постоянных магнитов — с плотностью мощности до 90 кВт/л (90 МВт/м³) полной массы электромашины.

При этом необходимо учитывать, что запасенная энергия возрастает как 5-я степень размера ($\sim LD^4$) [13], что может привести к серьезным трудностям при поломках в случае отсутствия возможности быстрого перевода данной энергии в кинетическую (на пропульсивную нагрузку или электромеханические накопители) или тепловую формы. Повышение плотности мощности позволяет высвободить дополнительное место для этих целей.

При масштабировании электрических машин мы в первом приближении предполагали, что величины магнитной индукции в зазоре, плотности тока, скорости вращения и количество витков остаются постоянными. Однако, как будет показано ниже, данные параметры также требуют корректировки, так как, например, при увеличении размера в два раза необходимо снижение плотности тока на 20 % и увеличение магнитной индукции в зазоре на 12 % из-за уменьшения площади слотов [13]. Мало того, как мы покажем ниже, часто используемый конструкторами метод увеличения величины крутящего момента (пропорционального квадрату диаметра) и занятия всего доступного радиального компоновочного пространства (увеличение только диаметра статора) не может являться целью разработчиков электромашин с большой плотностью мощности и плотностью крутящего момента; необходимо также увеличивать отношение между внутренним и внешним диаметром статора до значения, максимально близкого к единице при сохранении или увеличении величины тангенциального напряжения сдвига в зазоре между ротором и статором. Массовое производство потребует также оптимизации соотношения диаметра и осевой длины статора, которое может существенно уменьшить массу меди используемой при производстве электромашин.

Попытаемся оценить предельно достижимые значения величины плотности мощности, исходя из более простых соображений, чем это делали авторы работы [12]. Как хорошо известно, крутящий момент, M , и мощность, P , электромашины определяется как:

$$M = Fr = \sigma S_r r = \sigma 2\pi l_r^2 = 2\sigma V_r \quad (1)$$

$$P = M\omega = 2\sigma V_r \omega = 2\sigma V_r 2\pi n/60 = \pi^2 D_r^2 l_r n \sigma / 60 \quad (2)$$

где D_r и r наружный диаметр и радиус ротора в метрах, S_r — площадь ротора, V_r — объем ротора, l_r — максимальная длина магнитной системы ротора, σ — тангенциальное напряжение сдвига в зазоре между ротором и статором, ω — угловая скорость в рад/с, n — частота вращения в об/мин.

Как видно из формул (1)–(2), при фиксированных геометрических размерах ротора, величины крутящего момента M и мощности P прямо пропорциональны значениям σ и σn , соответственно, что и используется конструкторами на практике для увеличения величины плотности мощности. Так, например, расчеты для низкооборотных электромашин, выполненные в работе [16], показывают, что объем и масса 19 МВт-ной электромашины могут быть снижены в 1,73 и 1,53 раза соответственно при увеличении частоты вращения от 150 до 250 об/мин (в 1,66 раза) и при увеличении величины плотности мощности в 1,75 раза (с 0,28 до 0,49 МВт/м³). Отметим, что, вследствие низкой частоты вращения, данные значения на более чем на порядок величины ниже упоминавшихся выше величин, достигнутых для высокооборотных автомобильных электроприводов.

Более того, в линейке асинхронных электромашин компании Converteam при увеличении частоты вращения от 127 об/мин (18,25 МВт, 115 т, 75 м³), до 150 об/мин (19 МВт, 119 т, 54,6 м³) и до 180 об./мин (20 МВт, 89 т, 35,6 м³) плотность мощности увеличивается от 0,24 до 0,35 и 0,56 МВт/м³; при этом удельная величина мощности в расчете на кг лежит в диапазоне 0,16–0,22 кВт/кг, что также как минимум на порядок величины ниже значений, достигнутых в настоящее время в автомобильной промышленности для высокооборотных электромашин (18 МВт/м³ в продолжительном режиме [14]).

Вместе с тем, при проектировании судовых электромашин необходимо понимать, на улучшении каких конкретно характеристик надо концентрироваться для увеличения не абсолютных величин крутящего момента и мощности, а плотности крутящего момента и/или плотности мощности и чем определяются предельно достижимые значения данных величин, т.е. какие конкретно значения данных величин должны быть выбраны в качестве ориентиров при планировании дальнейших перспективных работ на долгосрочный период.

Оптимальное соотношение между внутренним и внешним диаметром статора зависит от количества полюсов и наличия ограничений на величину плотности тока и лежит в диапазоне от 0,25 до 0,55 для двухполюсной СЭПМ [17] и, например, увеличивается до 0,65 для четырехполюсной СЭПМ [18]. Принимая во внимание то обстоятельство, что величина максимального отношения внутреннего и внешнего диаметров статора не может достигать единицы (в данном случае, для случая внешнего статора, объем электромашины был бы равен объему ротора), а также то обстоятельство, что зазор между ротором и статором, как правило, не превышает нескольких миллиметров, мы можем сделать важный новый вывод, что предельные величины плотности крутящего момента и плотности мощности для электрических машин с одним внешним статором не могут превосходить значения 2σ и $2\sigma\omega$, соответственно. Сделанное нами допущение является вполне обоснованным, поскольку коллективом конструкторов группы компаний «АМТ&С», под руководством А.Н. Дорошенко, в настоящий момент достигнуто значение величины отношения внутреннего и внешнего диаметров статора равное 0,78.

Таким образом, плотность мощности в первом приближении будет линейно возрастать при увеличении диаметра электромашины, о чем говорилось выше, но ее предельно достижимые значения определяются только величиной произведения угловой скорости вращения ω и напряжения сдвига σ . Поэтому, перспективные работы должны концентрироваться именно на увеличении произведения двух данных параметров и приближении соотношения между внутренним и внешним диаметром статора до максимально близкого к единице. Последнее легко понять, поскольку значение соотношения диаметров, близкое к единице снижает объем машины и, тем самым, увеличивает плотность мощности. При этом, увеличение соотношения между внутренним и внешним диаметром статора должно превышать возможное уменьшение величины σ . В данный вывод укладываются результаты работы [18], где показано, что для $\sigma = 50 \text{ кН/м}^2$ и при учете эмпирического соотношения $P \sim 1/n^3$, мощность электромашины не может превышать 29 МВт. Отметим, что к 2002 г. величины напряжения сдвига для АЭ начали приближаться к значениям для СЭПМ (100 и 120 кН/м² соответственно) [19].

Оценка предельно достижимых значений плотности крутящего момента и плотности мощности

В сделанный в предыдущем разделе вывод укладывается увеличение удельной мощности с 1,11 до 1,6 кВт/кг [20] при увеличении частоты вращения электроприводов для гибридного автотранспорта (частота вращения в Toyota Prius 2010 г. повышена более чем в 2 раза с 6 до 13,5 тыс. об/мин по сравнению с моделью 2004 г. при сохранении количества пар полюсов $p = 4$ и сохранении соотношения внутреннего и внешнего диаметра статора и сокращении его осевой длины в полтора раза). Эта же тенденция просматривается и при проектировании мощных МВт-ных высокоскоростных СЭПМ (см, например, рис. 4).

Однако, сильное повышение частоты вращения электропривода может потребовать использования, например, двухступенчатого механического редуктора, масса которого может в 5–6 раз превосходить массу самой электромашины и для больших мощностей достигать 140 тонн (см. рис. 5), что существенно снижает удельные мощностные характеристики комплектного электропривода и требует проектирования комплектных электроприводов, а не отдельной электромашины.

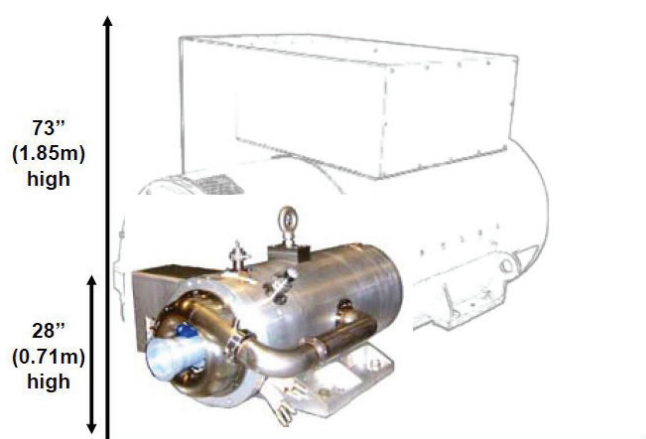


Рис. 4. Сравнение 2 МВт-го высокоскоростного синхронного генератора на постоянных магнитах судового назначения компании Calnetix (фото на первом плане) с традиционным низкоскоростным генератором (на заднем плане) [21]

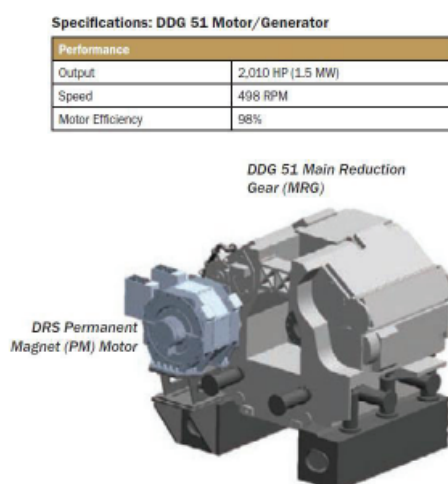


Рис. 5. Эскиз электропривода на основе СЭПМ производства компании DRS для DDG 51 (мотор-генератор мощностью 1,5 МВт 498 об./мин с КПД 98% с механическим редуктором)

При сравнении величин плотности крутящего момента и плотности мощности различных электромашин современные работы, как правило, используют только параметр σ , значение которого, в настоящее время, может достигать для водоохлаждаемых электромашин величины 148 кН/м^2 [22] и 340 кН/м^2 для сверхпроводящих электромашин [19], а также величину ω . Однако рост величины σ должен, по крайней мере, опережать возможное снижение величины соотношения между внутренним и внешним диаметром статора или не приводить к уменьшению данной величины, а в идеальном случае две данные величины должны возрастать, поскольку, повторим еще раз, именно их произведение определяет предельно достижимые величины плотности крутящего момента (2σ). Для увеличения плотности мощности ($2\sigma\omega$) все вышесказанное относится еще и к величине ω .

Например, для $n \sim 10000$ об/мин ($\omega \sim 1000$ рад/с) данные величины могут быть оценены для электромашин с жидкостным охлаждением как ~ 300 кНм/м³ и ~ 310 МВт/м³, соответственно. Для $n \sim 20000$ об/мин ($\omega \sim 2000$ рад/с), что близко к предельно возможным частотам для МВт-ных электромашин с жидкостным охлаждением, данные величины могут быть оценены как ~ 300 кНм/м³ и ~ 620 МВт/м³, соответственно. Однако необходимо учитывать, что даже использование углеродных материалов [23] вряд ли позволит в будущем увеличить соотношение внутреннего и внешнего диаметра статора до величин более чем 0,90–0,95, в противном случае это будет приводить к сильному снижению величины σ . Таким образом плотность момента может быть оценена как ~ 270 – 285 кНм/м³, а плотность мощности – как ~ 279 – 295 МВт/м³ для $n \sim 10000$ об/мин и ~ 560 – 590 МВт/м³ для $n \sim 20000$ об/мин.

Представляет также интерес оценить величину удельной мощности и сравнить полученные значения с данными работы [12]. Проведенный автором настоящей работы анализ более 70 представленных в списке литературы источников показал, что физическая плотность синхронных электромашин на постоянных магнитах приблизительно равна 2.98 т/м³. Таким образом, мы можем оценить предельный удельный момент и удельную мощность усреднено как ~ 90 кНм/т и ~ 190 МВт/т, соответственно. Последняя величина почти в 7 раз превышает данные, полученные в работе [12] (до 26 МВт/т за 30-ти летний период), и показывает потенциал возможного увеличения удельной мощности в более долгосрочной перспективе.

Очевидно, что в настоящий момент, в силу сделанных выше допущений, данные значения не только не могут быть достигнуты на практике, но и существенно превышают востребованный судовой компоновкой величины и могут являться только ориентиром для будущих разработок. Однако в случае дальнейшего развития технологий материаловедения и достижения на временном горизонте 25–30 лет существенно больших величин σ (например, на уровне 200 кН/м² для водоохлаждаемых электромашин) и/или уменьшения диаметра статоров за счет применения новых, практически бездефектных, углеродных материалов на основе углеродных нанотрубок и нанолент с допустимой плотностью тока в 1000 раз [12, 23] превышающих (порядка $4 \cdot 10^9$ А/см²) значения для обычно используемых в высокоскоростных электромашинах многожильных медных проводников, данные значения плотностей момента и мощности могут быть достигнуты не только теоретически. При этом необходимо отметить, что повышение плотности тока в совокупности с применением новых материалов для теплоотвода (например, углеродных пен) автоматически допускает дальнейшее увеличение величины σ и отношения внутреннего диаметра статора к внешнему. Достигнутая на практике (на опытно-промышленной установке) величина удельной электропроводности углеродных проводников уже превышает медные проводники [23]. Кроме того, они сочетают в себе прочность, жесткость и теплопроводность углеродных волокон с удельной электропроводностью металлов. Поскольку ожидается 84% уменьшение веса волокон по сравнению с медью [12], а в настоящее время масса меди может составлять от 20 до 50% от активной массы электромашин в зависимости от конструкции, то это автоматически приведет к дальнейшему увеличению удельной мощности. Поскольку параметры СЭПМ уже приближаются к сверхпроводящим электромашинам (см. рис. 6), то, как отмечалось выше, использование проводников тока на основе углеродных нанотрубок поставило бы также под вопрос целесообразность применения ВТСП материалов и сложного криогенного оборудования для их охлаждения в электромашинах.

Необходимо отметить, что компании General Nano LLC и NanoComp Technologies Inc уже начали поставку материалов различного назначения на основе углеродных нанотрубок для авиации и других отраслей техники. В целом изложение вопроса о проводниках является предметом отдельного рассмотрения, поскольку в последнее время с целью уменьшения веса, цены, повышения прочности и т.д. появились не только проводники с алюминиевой основой и медным покрытием, но и многожильные алюминиевые проводники и проводники из высокопрочных сплавов типа Cu-Be, CuCr, CuZr и т.д.

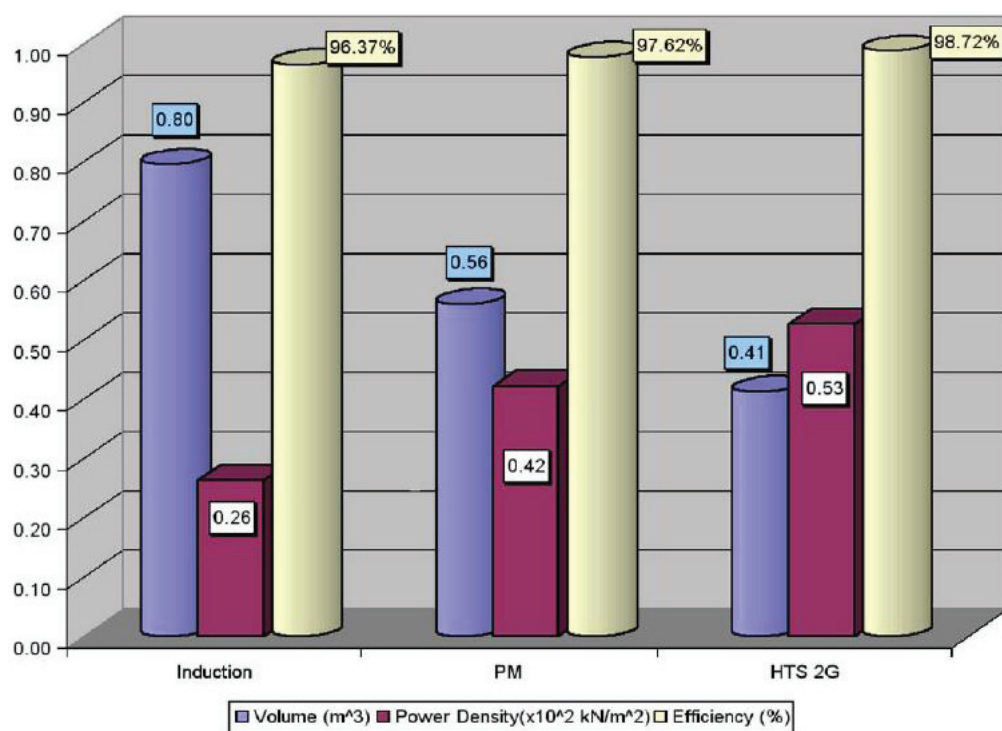


Рис. 6. Сравнение относительных значений объема, удельной мощности и КПД для АЭ, СЭПМ и сверхпроводящей электромашины для 3.68 МВт 1800 об/мин [24]

Влияние количества пар полюсов на величины плотности крутящего момента и плотности мощности

Выше мы концентрировались на предельных значениях плотности крутящего момента и плотности мощности при предельном соотношении объемов ротора и статора, не обсуждая конкретные механизмы возможного увеличения данных величин. Одним из таких механизмов является оптимизация соотношения количества магнитных полюсов ротора и числа зубцов статора. Однако необходимо принимать во внимание существующие в настоящее время ограничения, например, ограничения на количество магнитных полюсов ротора. С одной стороны, общей тенденцией является использование максимально большого количества полюсов, поскольку такие электромашины имеют большую величину крутящего момента, большую плотность мощности, а также лучшие массогабаритные характеристики, являются менее шумными и характеризуются меньшим уровнем вибрации, чем двухполюсные. Так, например, расчеты, выполненные в работе [25], показали снижение массы 20 MVA, 3600 об/мин генератора с 54 до 29 тонн при увеличении количества пар магнитных полюсов ротора, p , с $p = 1$ до 4. С другой стороны, как известно, частота вращения ротора $n = 60f/p$, обратно пропорциональна числу пар магнитных полюсов ротора. При этом величина частоты перемагничивания стали статора, f , в Гц, имеет ограничения для каждого типа стали и, таким образом, накладывает ограничение на количество полюсов высокооборотных электромашин сверху. Необходимо отметить, что в зависимости от режима работы за величину f принимают частоту выходного напряжения инвертора или частоту выходного напряжения генератора $f = \omega p / 2\pi$ ($\omega = 2\pi$; $\nu = 2\pi n / 60$, где ν – частота вращения в Гц).

Большое количество магнитных полюсов в электрической машине позволяет увеличить крутящий момент, M , (величина крутящего момента пропорциональна количеству пар полюсов), уменьшить радиальную толщину ярма статора и ротора, а если величина частоты f

допускает увеличение количества пар полюсов, то высокая частота, вместе с большим количеством полюсов, позволяет уже сейчас повысить удельную мощность электрических машин до величины более $> 13 \text{ кВт/кг}$ (1 МВт , 18000 об/мин) [26], что соответствует плотности мощности 57 МВт/м^3 при активном объеме $0,017 \text{ м}^3$. Данная величина соответствует обсуждаемой в начале данной работы тенденции увеличения величины плотности мощности при увеличении размеров электромашины и сопоставима с полученной нами в начале данной работы оценкой 90 МВт/м^3 с учетом необходимого снижения плотности тока на 20 % и увеличения магнитной индукции в зазоре на 12 % из-за уменьшения площади слотов [13].

При фиксированном внутреннем диаметре статора, увеличение количества полюсов приводит к существенному уменьшению активной массы и объема электромашины (см. рис. 7) и, таким образом, увеличивает плотность мощности.

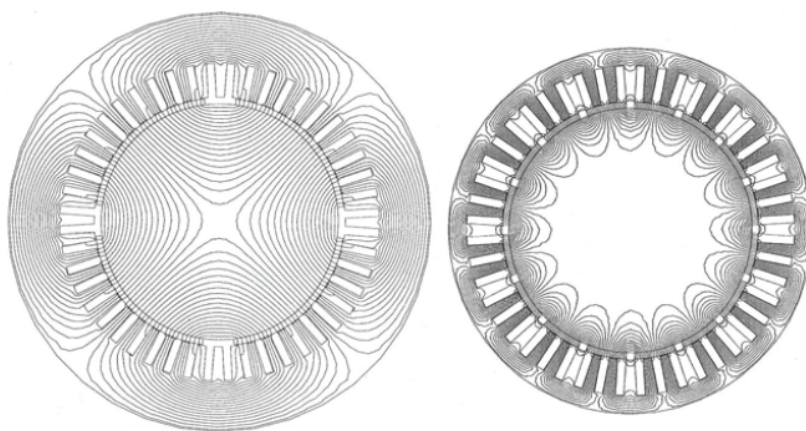


Рис. 7. Влияние количества полюсов ($p=2$ слева, $p=8$ справа) на внешний диаметр статора при фиксированном внутреннем диаметре статора [27]

При этом, при фиксированной плотности магнитного потока в воздушном зазоре, величина магнитного потока в расчете на один полюс уменьшается обратно пропорционально числу полюсов, что и приводит к уменьшению внешнего диаметра статора двигателя с большим количеством полюсов. На рис. 8 представлен характер влияния числа полюсов на активную массу электромашины при фиксированном внутреннем диаметре статора. Из рис. 8 видно, что увеличение полюсов в 4 раза приводит к сокращению массы электромашины на 60 %.

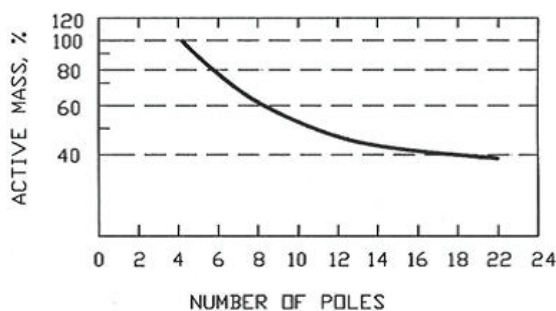


Рис. 8. Зависимость активной массы от количества полюсов электромашины по данным работы [27]

Однако при частоте f в диапазоне до 1 кГц, количество пар полюсов ротора не может быть более $p=6$ для $n=10\,000$ об/мин и $p=1$ для $n=60\,000$ об/мин. При этом СЭПМ спроектированные с $p=1$, в принципе, могут работать и на низких оборотах при уменьшении частоты выходного напряжения инвертора и при условии, что вал ротора и опоры в состоянии выдерживать высокий крутящий момент. При этом при увеличении значения f до 3,5 кГц, что допускают современные IGBT транзисторы, количество пар полюсов ротора не может быть более $p=21$ для $n=10\,000$ об/мин, что в определенной степени компенсируют преимущества электромашин на основе Хальбах структур. Компанией Siemens уже построен СЭПМ мощностью 1,1 МВт, 230 об/мин с $p=16$ [28].

Важно также отметить, как отмечалось выше, что сравнение результатов работ [16, 17] указывает на то, что при увеличении количества полюсов соотношение между внутренним и внешним диаметром статора может быть увеличено от 0,25–0,55 для двухполюсной до величины 0,65 для четырехполюсной СЭПМ. Следовательно, существенное влияние на достижение предельных значений плотности крутящего момента окажет развитие силовой электроники, допускающее увеличение значения f до 10 и более кГц.

Отметим, что повышение частоты перемagnetизования увеличивает потери и, таким образом, требует использования высокремнистых сталей (до 6,5%), например, типа 10JNEX900 производства JFE Steel Corporation с потерями 75 Вт/кг при 1,5 Тл и 1 кГц, что в 2,7 раза меньше, чем у традиционной стали 35A300 [14]. Цена 12,5 долл. за кг стали 10JNEX900 связана с тем, что содержание Si в железе увеличивается методом CVD (химического осаждения и газовой фазы) с первоначальных 3% до 6,5% содержания кремния на поверхности, что позволяет минимизировать магнитострикционные эффекты. При частоте f до 50 Гц и 150 об/мин количество пар полюсов не может превышать 20.

При этом мы не должны забывать, что потери на сопротивление воздуха возрастают пропорционально кубу частоты вращения и четвертой степени диаметра ротора, что особо ярко выражено в синхронных явнополюсных электромашинах (СЭЯП) из-за их большой «парусности».

Оценим величины плотности крутящего момента и плотности мощности для реальной высокоскоростной двухполюсной электромашин ($p=1$). Полагая соотношение между внутренним и внешним диаметром статора лежащим в диапазоне 0,25–0,55 получим, что плотность крутящего момента для двухполюсных электромашин лежит в диапазоне от 0,12 до 0,60 σ . Таким образом, полагая $\sigma = 100$ кН/м², что вполне реалистично, получим, что величина удельного крутящего момента лежит в диапазоне 12–60 кНм/м³ (12–60 Нм/л). Нижняя граница значений близка к величинам удельного момента для серийно выпускаемых моделей автомобильных гибридов, а верхняя лежит в диапазоне значений 35–70 Нм/л, полученных для перспективных моделей автомобильных гибридов со встроенным магнитным редуктором. При скорости вращения $n \sim 10\,000$ об/мин, для плотности мощности получим величины ~ 12 –60 МВт/м³ (12–60 кВт/л). Наши оценки показывают, что достигнутые на практике в настоящее время значения плотности существенно меньше (более чем пять раз) сделанных выше предельных оценок, не только для $p=1$, но и $p=6$, что открывает широкий простор для дальнейшей работы конструкторов и инженеров.

Отметим, что для низкооборотных прямых приводов достигнутые плотности момента еще ниже. А для конструкции с рассматриваемыми выше величинами $p=1$, $f < 1$ кГц, и $n \sim 170$ об/мин, плотность мощности лежит в диапазоне до $\sim 3,5$ МВт/м³, что на два порядка ниже сделанных нами оценок и требует увеличения возможных значений p , например, до 35, для $f < 100$ Гц, и $n \sim 170$ об/мин. Однако, сильно увеличение величины p является также проблематичным с конструкторской точки зрения.

Вместе с тем, текущей целью зарубежных судовых конструкторов электромашин является увеличение значений КПД до 98,5% и удельных энергетических характеристик в 3–4 раза (для электроприводов: удельный крутящий момент до 50 Нм/кг, плотность мощности до

0,9 МВт/м³ или 0,8 кВт/кг при скорости вращения до 170 об/мин; для электрогенераторов: плотность мощности до 3,5–4 МВт/м³ или 1,5–2 кВт/кг). При этом синхронный электропривод, установленный на круизный океанский лайнер Queen Elizabeth 2 в 1987 г., имел следующие характеристики: удельную мощность 0,15 кВт/кг, удельный крутящий момент 10,2 Нм/кг, плотность мощности 0,1 МВт/м³, а прогресс в увеличении данных параметров был крайне незначительным (0,16 кВт/кг; 10 Нм/кг; 0,2 МВт/м³, соответственно, для АЭ компании Alstom в конце прошлого столетия) [29].

Другие пути увеличения величины плотности крутящего момента и плотности мощности

Для проектирования электромашин важно также, по крайней мере, качественно оценить другие пути увеличения плотности крутящего момента и плотности мощности. Существует несколько вариантов формул, описывающих взаимосвязь плотности мощности с плотностью тока в статоре, J , и средней величины магнитной индукции в зазоре, B . Как правило данные выражения включают коэффициенты, описывающие геометрические особенности конструкции. Для оценки плотности мощности, например, может быть использовано следующее наглядное соотношение [30]:

$$\frac{P}{V} = 2JB \omega t(1 - 2\beta t/R), \quad (3)$$

где βt — представляет собой глубину слота плюс толщину магнитопровода (статорного железа за слотом), величина коэффициента β имеет типичное значение 6, t — это эффективная толщина намотки или толщина эквивалентной равномерно распределенной по радиусу воздушного зазора статорной обмотки (эта толщина равна глубине паза, умноженной на плотность упаковки обмотки и умноженной на отношение ширины паза к шагу зубцов. Ориентировочно, это одна четвертая глубины паза [30]).

При этом важно отметить, что, на первый взгляд, из этого выражения следует, что увеличение радиуса воздушного зазора R (увеличение габаритов) является одним из очевидных решений для увеличения плотности мощности, что совпадает с качественными выводами, сделанными нами в конце 1-го раздела настоящей статьи. Таким образом, из выражения (3) следует, что в случаях, когда объем позволяет, в первом приближении проектирования необходимо выбрать внешний радиус СЭПМ максимально возможным в рамках имеющихся габаритных и механических (прочностных) ограничений. Однако, как нами было показано в разделе 2, при фиксированных σ и ω , на самом деле, «бороться» надо за соотношение между внутренним и внешним диаметром статора максимально близкое к единице.

Проведенные нами оценки показывают, что при $\beta = 6$, функция $t\left(1 - \frac{2\beta t}{R}\right)$ имеет максимальное значение равное $\sim 0,03$ для $R = 1,5$ м и для $n = 3000$ об/мин и уменьшается до 0.01 для более реалистичного случая для $R = 0,5$ м для $n = 10000$ об/мин. Таким образом, максимальная величина плотности мощности для высокооборотных машин прямо пропорциональна величинам J и B и определяется по порядку величины как $\sim 20JB$, что, например, для $J = 2445$ кА/м² и $B = 0,4$ Тл дает величину плотности около ~ 20 МВт/м³, что близко к величине ~ 29 МВт/м³ (40 МВт/м³ на активный объем), полученной для данных параметров в работе [18] и, по всей видимости, связано с отклонением величины β от выбранного нами значения, равного 6, и другими конструктивными особенностями электромашин.

Мало того, уменьшение длины полезно сказывается на долговечности подшипников и динамике ротора (жесткости). В процессе проектирования, в рамках имеющихся ограничений на противо-э.д.с., требуется достичь оптимального соотношения осевой длинны и диаметра электромашин, а также максимально увеличить величину значений плотности тока J до 28–30 А/мм² при прямом омывании статора или полых проводниках [29]), индукцию в зазоре (величина ограничена насыщением стали статора и динамическим диапазоном работы электромашин), а также максимально увеличить номинальную величину ω . Оптимальное

соотношение осевой длины и диаметра электромашин влияет как на плотность мощности, так и на себестоимость производства (стоимость меди и магнитных материалов) [20].

При фиксированном объеме воздушного зазора, величина магнитного поля в зазоре прямо пропорциональна квадратному корню из максимального энергетического произведения (BH) тах и объему системы постоянных магнитов [4], таким образом, большие магнитные поля в зазоре синхронной электромашин могут быть созданы только с помощью современных высокомарочных редкоземельных высокотемпературных магнитов [10], что позволяет получить высокий крутящий момент и высокие плотности мощности, по сравнению с традиционными асинхронными и синхронными электромашинами. При этом низкие значения величины магнитного поля в зазоре, например, при использовании ферритовых магнитов, не могут быть компенсированы увеличением плотности тока, что приводит к увеличению массы ферритовых магнитов и меди (увеличению массогабаритных характеристик) или использованию внешнего ротора для увеличения момента сил (последнее перспективно, например, для воздуходувок). Упоминаемый выше анализ НАСА [12] показывает, что только за счет увеличения остаточной магнитной индукции постоянных магнитов марки NdFeB, от достигнутого в настоящее время значения $B_r = 1,51$ Тл [31] на 10% до величины 1,65 Тл в течении ближайших 30 лет (что кажется вполне реальным с учетом увеличения максимального энергетического произведения почти в 100 раз за последние 100 лет [10]), может привести к росту удельной мощности на 9,3%. Потенциальное использование разрабатываемых в настоящее время нанокompозитных постоянных магнитов с энергетическим произведением $B_r = 2$ Тл приведет к дальнейшему увеличению удельной мощности на 32,4% [12].

Необходимо отметить, что в последнее время начали набирать популярность гибридные варианты исполнения электромашин, при разработке которых конструкторы пытаются устранить имеющиеся недостатки АЭ и СЭЯП. На рис. 9 представлены схема работы и фотография синхронного генератора на постоянных магнитах, встроенных в статор [32]. В англоязычной литературе такие машины называются doubly salient permanent magnet (DSPM) machine which introduces permanent magnets.

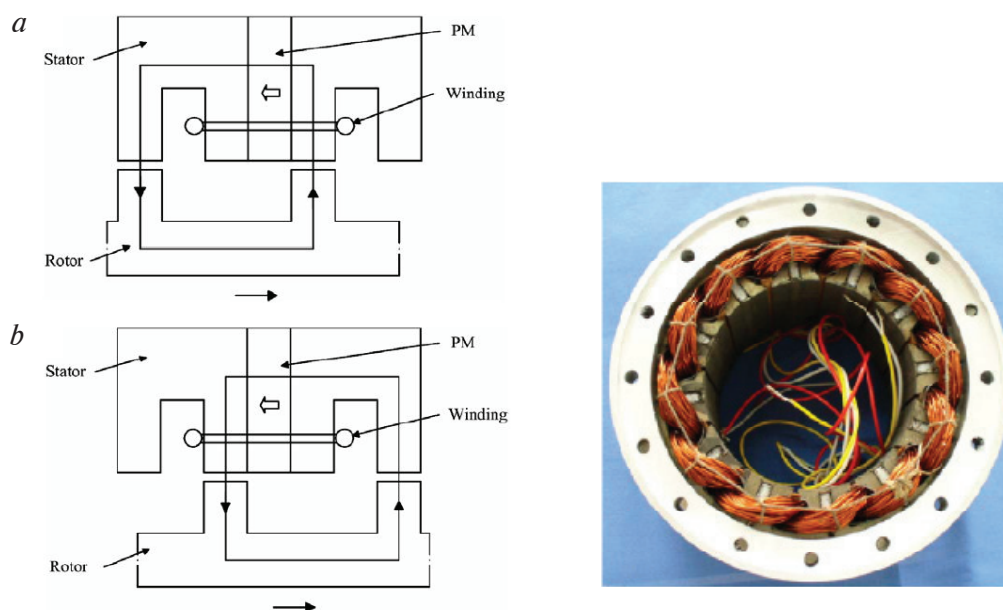


Рис. 9. Схематическое изображение устройства и фотография гибридной синхронной электромашин с явно выраженным полюсом с постоянными магнитами, встроенными в статор

Магнитная индукция в зазоре таких машин может превышать 2 Тл, что в соответствии с формулой (3) ведет к увеличению плотности мощности. Проведенное в работе [32] сравнение для уровня мощности 3 МВт показывает, что подобные машины обладают большей плотностью мощности и на 20 % меньшей стоимостью активных материалов.

Для обеспечения возможности использования индукций свыше 2,35 Тл, делаются попытки увеличить величину насыщения магнитомягких материалов до значений 2,9 Тл, которое было теоретически предсказано для пленок Fe_{16}N_2 и Fe_8N [33], но не получило дальнейшего подтверждения. Однако увеличение величины магнитной индукции ведет к квадратичному нарастанию потерь связанных с перемагничиванием.

Большое значение имеет и тот факт, что помимо чисто механических ограничений на диаметр и длину (массу) ротора, играет роль и целый ряд других факторов. Так, генерируемое током при увеличении размера статора тепло (пропорционально $\sim 1D^2$), возрастает быстрее, чем площадь диссипации [13]. Следовательно, дополнительное внимание требуется уделить повышению КПД, в особенности при высоких температурах, усилению теплоотвода и/или уменьшению плотности тока J (на 20 % при увеличении размера в 2 раза). Теплоотвод может быть улучшен за счет использования графитовой пены или природного графит/эпоксидного композита [34, 35]. Повышению КПД мощных мульти МВт-ных электромашин способствует тот факт, что при масштабировании потери ($\sim LD^2$) на единицу мощности ($\sim LD^3$) будут линейно падать при увеличении диаметра, что также будет сопровождать линейным ростом коэффициента мощности. При этом серьезное внимание должно быть уделено теплопроводности, тепловому расширению и температурной стабильности высоковольтной изоляции. Например, из литературы известно [36], что в соответствии с простой аппроксимацией уравнения Аррениуса, ресурс обмоток статора будет уменьшаться на 50 % при повышении температуры на 10 °С. Именно поэтому, вопрос о разработке изоляции одновременно с улучшенной теплопроводностью и сохраняющей свои свойства при высоких температурах, также является серьезной задачей. Поскольку КПД электромашин зависит от электрического сопротивления статора, которое увеличивается на 0,39 %/°С или на 40 % при нагреве до температуры 120 °С, то применение изоляции с хорошей теплопроводностью позволит улучшить теплоотвод и понизить рабочую температуру статора электромашин, что также приведет к повышению эффективности ее работы. Хорошим потенциальным изолятором являются нанотрубки на основе нитрида бора BN, сохраняющие свои свойства вплоть до 1000 °С [37]. Использование высокотемпературной изоляции позволит также устранить главный потенциальный недостаток СЭПМ, а именно невозможность при возгорании обмоток отключения магнитного потока, создаваемого вращающимся ротором.

Представленные выше рассуждения о масштабировании незначительно изменяются при более детальном рассмотрении, с учетом необходимости корректировки плотности тока и индукции в зазоре. Так, например, мощность будет возрастать с увеличением диаметра пропорционально степени 3,83, а не 4, как обсуждалось выше [13].

Увеличение скорости вращения позволяет, с одной стороны, снизить объем ротора и, таким образом, максимально допустимое увеличение скорости вращения является крайне желательным, а с другой, налагает дополнительные ограничения на подбор провода для намотки и плотность намотки статора, выбор стали статора, динамику ротора, типов подшипников, качество обработки поверхности ротора, а также заставляет учитывать возрастающие с частотой потери в электронном оборудовании. При этом правильный подбор многожильного провода позволяет удерживать отношение потерь за счет скин-эффекта к потерям на постоянном токе практически постоянным в диапазоне частот 100–500 Гц. Поскольку потери от вихревых токов квадратично зависят от частоты, то важным также является оптимизация намотки статора для устранения высокочастотных гармоник.

Определенные надежды возлагаются на использование новых высокочастотных полупроводниковых приборов на основе SiC и GaN, позволяющих снизить потери. GaN полупро-

водники имеют гораздо большую подвижность электронов, рабочую температуру до 300 °С, более низкую цену и высокий потенциал для использования в автомобильных электроприводах.

Конечно, необходимо не забывать о предельных скоростях вращения ротора. Экспериментально показано, что мощность машин обратно пропорциональна n^3 [18] или даже $n^{3.3}$ и, таким образом, на современном уровне развития материаловедения находится на уровне 8 МВт для 15000 об./мин или 22 МВт для 10000 об./мин [18], что вызвано возрастающими с частотой механическими напряжениями, вызванными центробежными силами. Поскольку тангенциальные напряжения прямо пропорциональны плотности материала и квадрату тангенциальной компоненты скорости, то учитывая, что, например, стали с содержанием кремния до 6,5% и с низкими потерями на уровне 5,7 Вт/кг при 1 Т и 400 Гц (типа марки 10JNEX900) имеют предел текучести на уровне 604 МПа, легко получить величину предельной линейной скорости поверхности ротора 298 м/с. Таким образом, положив предельную линейную скорость ротора 300 м/с для $n=10000$ об./мин получим из:

$$V = \omega r = (2\pi n/60) D_r/2, \quad D_r = 60V/\pi n, \quad (4)$$

и положив предельную линейную скорость ротора 300 м/с для $n=10000$ об./мин получим, что максимальный диаметр ротора $D_r=0,573$ м. Используя выражение (2), можно легко оценить значение погонной мощности при $D_r=0,573$ м и $\sigma=148$ кН/м², которую можно на современном уровне развития технологий получить с 1 м осевой длины электромашины $P_{\Pi} \sim 80$ МВт/м. Однако необходимо учитывать, что в отдельных случаях скорости могут достигать и 367 м/с.

Вместе с тем прочностной анализ для роторов СЭПМ с поверхностным и V -образным расположением магнитов приводит к рекомендованным номинальным скоростям вращения на уровне или чуть выше 200 м/с, что дает максимальный диаметр ротора равным 0,599 и 0,382 м при 7000 и 10000 об./мин соответственно. При этом в работе [18] диаметр ротора, например, был выбран равным 0,445 м ($V=232$ м/с) для 10000 об./мин, что, по мнению автора этой работы, позволило добиться оптимального соотношения диаметра и длины и улучшить жесткость и динамику ротора.

Мало того, машина с более высоким диаметром ротора будет иметь избыточные лобовые части обмоток, которые не участвуют в производстве крутящего момента и увеличивают вес меди статора. Так, например, оптимизация соотношения диаметра СЭПМ к ее осевой длине для ряда мощностей от 100 кВт до 20 МВт, выполненная в работе [18], дала диапазон соотношений от 1 до 0,36, соответственно. Вместе с этим продолговатый дизайн ($D/L=1,48$) привода для LS 600h (2008 год) дал практически 50% увеличение удельной мощности на кг и плотности мощности, а также привел к снижению стоимости меди и магнитных материалов в данном электроприводе по сравнению с гибридными силовыми установками автомобилей моделей 2010 Prius и 2007 Camry [20]. Отметим, что увеличение диаметра ротора ведет к уменьшению величины отношения крутящего момента электромашины к моменту инерции ротора и, следовательно, ухудшению ее динамики.

Сравнительный анализ плотности мощности электромашин МВт-го уровня

Выше нами проведены сравнительно простые аналитические оценки предельных плотностей мощности электромашин. Представляет интерес провести сравнение полученных нами значений с известными из литературы данными плотности мощности судовых электромашин. В табл. 1 представлены доступные данные о плотности мощности и удельном крутящем моменте 72х судовых электромашин. Таблица включает как расчетные значения, так и полученные на практике и не включает сведения об электромашинах для ветрогенераторов и данные для сверхпроводящих синхронных и гомополярных электромашин.

Массогабаритные характеристики судовых электромашин

Асинхронная электромашина – АЭ, синхронная электромашина с явнополюсным ротором – СЭЯР, синхронная электромашина на постоянных магнитах – СЭПМ, с аксиальным потоком (АП), с радиальным потоком (РП) и поперечным потоком (ПП), коммерческий судовой генератор (тип электромашин не известен) – КСГ

	Тип машины	Мощность, МВт	Частота вращения, об/мин	Производитель	Плотность мощности, МВт/м ³	Удельный крутящий момент, Нм/кг (на полную массу электромашин)	Ссылка
1	АЭ	15	146	ABB's Azipod	0,23	6,8	[44]
2	АЭ	19,5	133	ABB's Azipod	0,3	8,5	[44]
3	АЭ	19	150		0,22	103	[16]
4	АЭ	40	150		0,33	6,5	[45]
5	АЭ	19	150	Alstom	0,2	10	[29]
6	АЭ	20	150	Alstom, AIM	1,08	18,2	[46]
7	АЭ	18,2	127	Converteam	0,24	11,7	[47]
8	АЭ	20	180	Converteam (formerly Alstom)	0,56	13,3	[47]
9	АЭ	34,6	120	Converteam (formerly Alstom)			[48,49]
10	АЭ	20	180	Alstom	0,56	11,9	[19]
11	АЭ	19	150		0,28	14,9	[16]
12	АЭ	19	190		0,49	18,0	[16]
13	АЭ	8	12000	4,4 hp/lb			[50]
14	АЭ	20		UK Royal Navy's Type 45 Daring Class destroyers are powered by two of Converteam's 20MW AIMs [11]. Further, the Royal Navy's Queen Elizabeth Class and Prince of Wales Class aircraft carriers, which are due to enter service in 2014 and 2016, respectively, will each be powered by four 20 MW AIM			[1,51]
15	СЭЯР	44	144	Queen Elizabeth 2	0,1	10,2	[29]
16	СЭЯР	19		0,083 кВт/к			[52]
17	СЭЯР	40	150		0,22	6,9	[45]
18	СЭЯР	18	7200		1,37		[25]
19	СЭЯР	20	180		0,226	8,8	[46]
20	СЭЯР	2	200	Птах и др	0,098	3,2	[53]
21	СЭЯР	14	195		0,35	6,8	[54]
22	СЭЯР	2	1000	1,2 МВт/м ³ на активную массу	0,56	1,7	[6]
23	СЭПМ	36,5	127	DRS	0,67		[1,55]
24	СЭПМ	1,5	498	DRS			[55]
25	СЭПМ с ПП	20	180	Rolls Royce	0,93	16,3	[46]
26	СЭПМ с ПП	20	180	Rolls Royce	1,18	18,3	[39]
27	СЭПМ с ПП	20	180	Rolls Royce	1,45	27,2	[39]

Продолжение таблицы

	Тип машины	Мощность, МВт	Частота вращения, об/мин	Производитель	Плотность мощности, МВт/м ³	Удельный крутящий момент, Нм/кг (на полную массу электромашины)	Ссылка
28	СЭПМ с ПП	20	180	Rolls Royce	1,45	27,2	[56]
29	СЭПМ с ПП	2	308	Rolls Royce	0,59	4,8	[57]
30	СЭПМ с АП	20	180	Jeumont Industrie, France	1,16	16,3	[46,58]
31	СЭПМ с АП	19	100	Kaman Aerospace Corp.	1,14	36,3	[58]
32	СЭПМ с АП	18,4	100	На момент выхода статьи был изготовлен только прототипы на 74, 515 кВт и 2,2 МВт. 64 Нм/кг получено для 18,4 авторами теоретически	0,72	65,1	[42]
33	СЭПМ с АП	14	195		0,88	15,2	[54]
34	СЭПМ с АП (генератор)	15	5300		20,3		[42]
35	СЭПМ с РП	11,1	6225		11		[59]
36	СЭПМ с РП (генератор)	2	1000		1,9		[6]
37	СЭПМ с РП	14	195		0,47	8,8	[54]
38	СЭПМ с РП	1	195	Siemens	0,69	11,5	[39]
39	СЭПМ с РП	4,3	195	ABB	0,74	13,9	[39]
40	СЭПМ с РП	0,37	325	Azipod, ABB		3,6	[60]
41	СЭПМ с РП	5,0	325	Azipod, ABB		4,8	[60]
42	СЭПМ с РП	2,2	195	Azipod, ABB		5,4	[60]
43	СЭПМ с РП	1,47	80	ABB		5,8	[60]
44	СЭПМ с РП	2	24,5	Azipod		17,3	[60]
45	СЭПМ с РП (генератор)	5	15000		2,13		[61,62]
46	СЭПМ с РП (генератор)	40	15000		1,04		[61,62]
47	СЭПМ с РП (генератор)	20	3600		9,52		[63]
48	СЭПМ с РП (генератор)	20	3600		2,66		[45]
49	СЭПМ с РП (генератор)	5	3600		2,13		[45]
50	СЭПМ с РП (генератор)	40	3600		1,41		[45]
51	СЭПМ с РП (генератор)	2	20000		10		[64]
52	СЭПМ с РП (генератор)	16	13000		11,4		[65]
53	СЭПМ с РП (генератор)	2,5	13700		4,63		[24]

Окончание таблицы

	Тип машины	Мощность, МВт	Частота вращения, об/мин	Производитель	Плотность мощности, МВт/м ³	Удельный крутящий момент, Нм/кг (на полную массу электромашины)	Ссылка
54	СЭПМ с РП (генератор)	14	7000	1,12 кВт/кг; 2,3 кВт/л	2,33		[2]
55	СЭПМ (генератор)	4,2	900		7,12	13,9	[66]
56	СЭПМ с РП (генератор)	2	1000	2,85 МВт/м ³ , 0,97 МВт/тонну	1,43		[21]
57	СЭПМ с РП	21	100	Комп моделирование	2,73	63,3	[41]
58	СЭПМ с РП	40	150		0,4	12,8	[45]
59	СЭПМ с РП	1	15000				[67]
60	СЭПМ с РП	5	15000				[7]
61	СЭПМ с РП	6	10000				[68]
62	СЭПМ с РП	20	10000	4 кВт/кг 40 МВт/м ³ активного объема	28,57	3,8	[18]
63	СЭПМ с РП	6	17000				[8,9]
64	СЭПМ с РП	1.12	18000				[69]
65	СЭПМ с РП	1.5	20000	43,9 МВт/на активный объем	30		[38]
66	СЭПМ с псевдопрямым приводом	15	100	110 кН·м/м ³ (на активный объем) или 36 кН·м/м ³ (полный объем)	0,74	28,6	[40]
67	КСГ	21	3600		0,33		[65,70]
68	КСГ	25	3600		0,38		[65,70]
69	КСГ	26	3600		0,26		[65,70]
70	КСГ	36,5	3600		0,36		[65,70]
71	КСГ	1,44	1800	MAN			[71]
72	КСГ	2,22	1900	MAN			[61]

Можно заключить, что значения величин плотности мощности лежат в диапазоне 0,26–0,37 МВт/м³ для коммерческих судовых генераторов; 0,1–0,56 МВт/м³ для СЭАП; 0,22–1,08 МВт/м³ для АЭ и 0,4–30 МВт/м³ для СЭПМ. Как упоминалось выше, удельная мощность для СЭПМ настоящий момент достигает значения 13 кВт/кг (13 МВт/т) (для электромашины 1 МВт и 18000 об/мин) [26].

При этом, как видно из рис. 10, увеличение частоты вращения действительно приводит к резкому расширению диапазона величин плотности мощности. Представленные данные имеют большой разброс значений и не могут быть хорошо аппроксимированы, что связано с отсутствием в ряде случаев полных данных, а также с большим разнообразием конструкций и с тем, что в представленные данные для высокооборотных электромашин не включен объем, занимаемый редуктором. Вместе с этим масса двухступенчатого механического планетарного редуктора с передаточным числом 1:66 и $M=1,9$ МНм может достигать 20–25 тонн для электромашины 20 МВт и 10000 об/мин [18], что снижает удельную мощность с 4 до 0,73 кВт/кг, без учета массы системы управления.

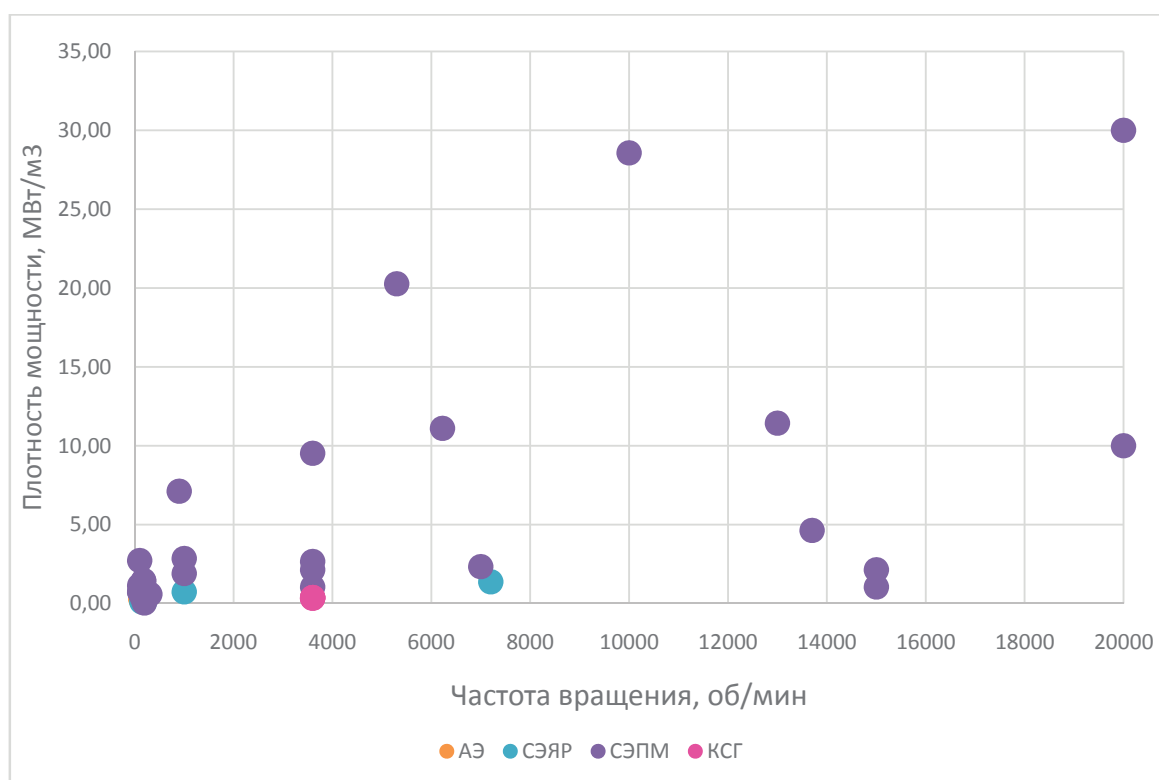
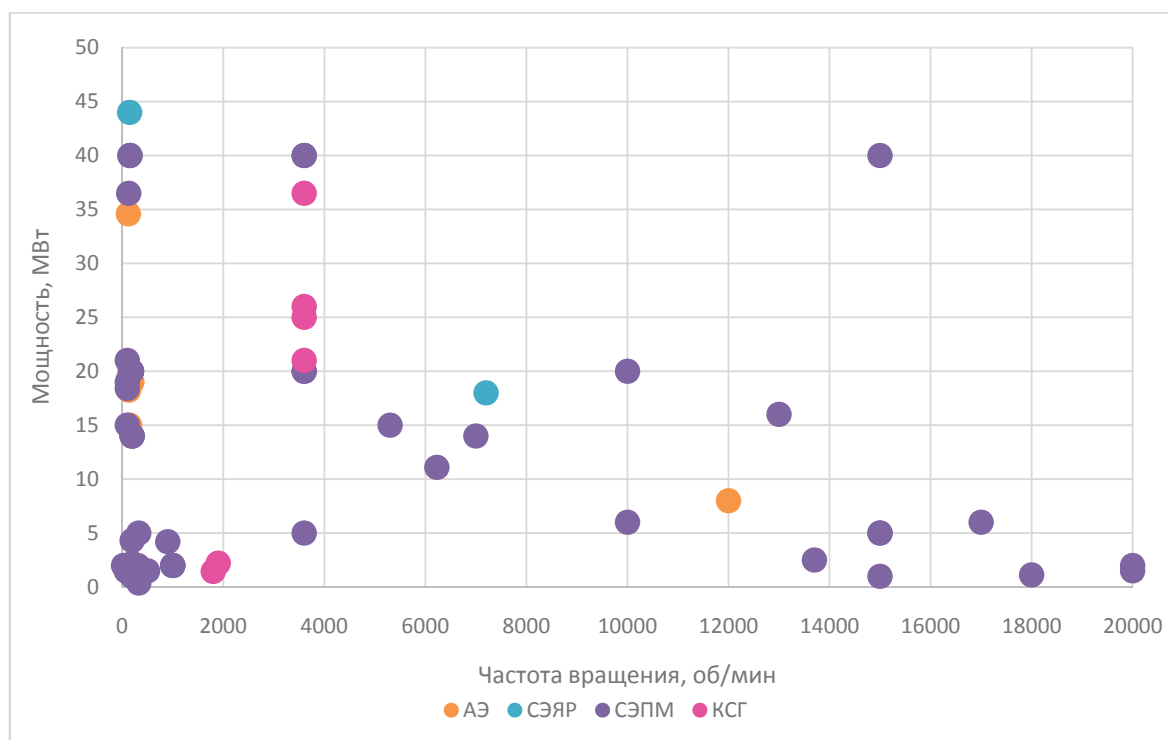


Рис. 10. Зависимость мощности и плотности мощности от частоты вращения судовых электромашин

Заключение

В настоящее время для СЭПМ МВт-го уровня, в процессе численного моделирования, получены значения удельной мощности 5,73 МВт/т на полную массу электромашины (10 000 об/мин) [18] или 8,37 МВт/т на активную массу электромашины (20 000 об/мин) [38], а также плотность мощности до 40 МВт/м³ (10 000 об/мин) [18] на активный объем. Данные величины существенно ниже сделанных нами оценок предельных значений удельной мощности ~ 190 МВт/т и плотности мощности $\sim 279\text{--}295$ МВт/м³ для $n \sim 10\,000$ об/мин, что открывает широкий простор для дальнейшей работы в области как фундаментальной, так и прикладной науки на долгие годы. Полученная нами предельно допустимая величина удельной мощности почти в 7 раз превышает данные, полученные в работе [12] (до 26 МВт/т а 30-ти летний период).

Таким образом, можно сделать вывод, что СЭПМ имеют существенно более высокую плотность мощности. Однако при проектировании необходимо оптимизировать расположение постоянных магнитов и их массу. При массовом производстве необходимо получить максимальную мощность в расчете на 1 кг постоянных магнитов (в настоящее время до 100 кВт/кг в случае редкоземельных магнитов). Так, в работе [39] проведено сравнение массогабаритных параметров двух поперечных (Rolls-Royce) и двух радиальных топологий электромашин (Siemens и ABB). Показано, что поперечная топология имеет до 2 раз меньший объем и большую плотность мощности (0,69–0,74 МВт/м³ для радиального и 1,18–1,45 МВт/м³ для поперечного вариантов). Однако при этом коэффициент мощности уменьшался с 0,94 до 0,4 [39], соответственно, что требовало 50 МВА инвертора для 20 МВт поперечной электромашины.

Список литературы (References)

1. Thongam J.S. et al. (2013) Trends in naval ship propulsion drive motor technology. IEEE Electrical Power Energy Conference (EPEC). Pp. 1–5.
2. Calfo R.M., Smith M.B., Tessaro J.E. (2007) High-Speed Generators for Power-Dense, Medium-Power, Gas Turbine Generator Sets. Naval Engineers Journal. Vol. 119, No. 2. Pp. 63–81.
3. Generating sets. Wärtsilä, 2011.
4. Gieras J.F. (2010) Permanent magnet motor technology. Design and Application. 3 rd edition. CRC Press. 603 p.
5. Kullinger K. (2009) High-megawatt electric drive motors. ABB BU Machines.
6. Balashov S. (2011) Design of marine generators for alternative diesel-electric power systems: Degree of Master of Science in Technology. Lappeenranta University of Technology Faculty of Technology Department of Electrical Engineering.
7. 5 MW [Electronic resource]. Available at: <http://mail.noroffshore.com/web/web.nsf/0/100B2F216BBBF5A6482572A3003E0AB1?OpenDocument>.
8. El-Refaie A. et al. (2012) Testing of advanced permanent magnet machines for a wide range of applications. 2012 XXth International Conference on Electrical Machines (ICEM). Pp. 1860–1867.
9. Weeber K. (2009) Advanced electrical machines technology. 16 p.
10. Tishin A.M. (2017) Перспективы применения редкоземельных постоянных магнитов электроприводах специального назначения. К 100-летию использования постоянных магнитов в технике. [Prospects for the use of rare-earth permanent magnets in electric drives of a special purpose. To the 100 anniversary use of permanent magnets in engineering] Инноватика и экспертиза [Innovatics and expert examination] No. 1(19). Pp. 175–192.
11. Mitcham A., Bolton MTW. (1997) The transverse flux motor: a new approach to naval propulsion. Newport, RI, USA. Pp. 1–8.
12. Dever T.P. et al. (2015) Assessment of Technologies for Noncryogenic Hybrid Electric Propulsion: NASA/TP-2015-216588, 46 p.

13. Li S., Sarlioglu B. (2015) Assessment of high-speed multi-megawatt electric machines. IEEE International Electric Machines Drives Conference (IEMDC). 2015. Pp. 1573–1579.
14. Chiba A., Kiyota K. (2015) Review of research and development of switched reluctance motor for hybrid electrical vehicle. 2015 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD). Pp. 127–131.
15. Paulides J.J.H. et al. (2015) Ultra-light-weight high torque density brushless PM machine design: Considering driving-cycle of a four-wheel drive race car. Tenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). Pp. 1–7.
16. Englebretson S.C., Kirtley J.L. Jr, Chrysostomidis C. (2009) Optimization of Direct Drive Induction Motors for Electric Ship Propulsion with High Speed Propellers. Proceedings of the 2009 Grand Challenges in Modeling & Simulation Conference. Vista, CA: Society for Modeling & Simulation International, pp. 96–103.
17. Lipo T.A. (2011) Introduction to AC Machine Design, Third Edition,. Madison, USA. Wisconsin Power Electronics Research Center, University of Wisconsin.
18. Bogomolov M.D. (2013) Concept study of 20 MW highspeed permanent magnet synchronous motor for marine Propulsion: PhD Thesis. The department of Electrical Engineering of the Eindhoven University of Technology.
19. Lewis C. (2002) The Advanced Induction Motor. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Vol. 1. Pp. 250–253.
20. Burrell T.A., Campbell S.L., et al. (2011) Evaluation of the 2010 Toyota prius hybrid synergy drive system: ORNL/TM-2010/253. USA: Oak Ridge National Laboratory. P. 88.
21. Huynh C. et al. (2006) Flywheel Energy Storage System for Naval Applications. Barcelona, Spain. Pp. 25–33.
22. Pyrhonen J., Jokinen T., Hrabovcova V. (2014) Design of Rotating Electrical Machines. Second Edition. Wiley.
23. Behabtu N., et al. (2013) Strong, Light, Multifunctional Fibers of Carbon Nanotubes With Ultrahigh Conductivity. Science. Vol. 339, No. 182, pp. 182–186.
24. Karmaker H. et al. (2015) High-Power Dense Electric Propulsion Motor. IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 51, No. 2. Pp. 1341–1347.
25. Calfo R.M., Fulmer J.A., Tessaro J.E. (2002) Generators for use in electric marine ship propulsion systems. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Vol. 1. Pp. 254–259.
26. Yoon A. et al. (2016) A high-speed, high-frequency, air-core PM machine for aircraft application. IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI). Pp. 1–4.
27. Eriksson S. (1995) Drive systems with permanent magnet synchronous motors. Automot. Eng. Vol. 2. Pp. 75–81.
28. Bausch H. (1990) Large power variable speed a.c. machines with permanent magnet excitation. J of Electr and Electron Eng (Australia). Vol. 10, No. 2. Pp. 102–109.
29. Gieras J.F. (2008) Advancements in Electric Machines. Dordrecht: Springer Netherlands.
30. Hebner R.E. et al. (2006) Some benefits of pulsed alternators as electromagnetic gun power supplies on power systems for future electric ships. London, UK. Pp. 1–16.
31. Вебсайт группы компаний АМТ&С [Electronic resource]. 2017. Available at: <http://www.amtc.ru/upload/ndfeb.pdf>.
32. Zhang J., Cheng M., Chen Z. (2008) Optimal design of stator interior permanent magnet machine with minimized cogging torque for wind power application. Energy Conversion and Management. Vol. 49, No. 8. Pp. 2100–2105.
33. Liu X. et al. (2009) Discovery of localized states of Fe 3d electrons in Fe₁₆N₂ and Fe₈N films: an evidence of the existence of giant saturation magnetization. ArXiv Prepr. ArXiv09094478.
34. Shin E.E., Johnston J.C., Haas D. (2011) Advances in the Lightweight Air-Liquid Composite Heat Exchanger Development for Space Exploration: AIAA 2011-5206.
35. Jacobi A.M., et al. (2008) Novel Materials for Heat Exchangers: ARTI Report No. 06030–01.

36. Stone G.C. et al. (2004) *Electrical Insulation for Rotating Machines: Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair*, 2nd Edition. Wiley-Interscience. 390 p.
37. Zhi Chunyi, et al. (2009) Towards Thermoconductive, Electrically Insulating Polymeric Composites With Boron Nitride Nanotubes as Fillers. *Adv. Func. Mater.* Vol. 19. Pp. 1857–1862.
38. Paulides J.J.H., Jewell G.W., Howe D. (2004) An evaluation of alternative stator lamination materials for a high-speed, 1.5 MW, permanent magnet generator. *IEEE Trans. Magn.* 2004. Vol. 40, No. 4. Pp. 2041–2043.
39. Hodge C.G., Mattick OBE D.J. (1999) The electric warship V. *Trans.-Inst. Mar. Eng.* Pp. 1–22.
40. Powell D.J. et al. (2010) Design and analysis of a Pseudo Direct-Drive propulsion motor. 5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010). Pp. 1–2.
41. Harbour J.P. (2001) *Evaluation and Comparison of Electric Propulsion Motors for Submarines: Master of science*. Massachusetts Institute of Technology.
42. Dade T.B. (1994) *Advanced Electric Propulsion, Power Generation, and Power Distribution*. Naval Engineers Journal. Vol. 106, No. 2. Pp. 83–92.
43. Galea M. (2013) *High Performance, Direct Drive Machines for Aerospace Applications: Ph.D.* 2013: The University of Nottingham, Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering.
44. Azipod XO2100 Product Introduction. ABB Oy, Marine, Helsinki, Finland, 2009.
45. Ouroua A. et al. (2007) Modeling and Simulation of Electric Ships' Power System Components and Their Interaction. *Proceedings of the 2007 Summer Computer Simulation Conference*. San Diego, CA, USA: Society for Computer Simulation International. Pp. 250–257.
46. Hodge C.G., Mattick (2000) The electric warship VI. *Trans.-Inst. Mar. Eng.* Vol. 112, No. 1. Pp. 27–39. OBE D.J.
47. Gully B.H. (2012) *Hybrid Powertrain Performance Analysis for Naval and Commercial Ocean-Going Vessels: Doctor of philosophy*. The University of Texas at Austin.
48. Converteam. (2007) *Solutions for Naval Vessels*. [Electronic resource]. Available at: http://www.converteam.com/converteam/1/doc/Markets/Navy/Final_NAVAL.pdf.
49. Hawbaker B.F. (2008) *Analyzing the Effects of Component Reliability on Naval Integrated Power System Quality of Service: Submitted to the Department of Mechanical Engineering and the System Design and Management Fellows Program in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degrees of Naval Engineer And Master of Science in Engineering and Management*. Massachusetts Institute of Technology. 90 p.
50. Pyrhonen J. et al. (2010) High-Speed High-Output Solid-Rotor Induction-Motor Technology for Gas Compression. *IEEE Trans. Ind. Electron.* Vol. 57, No. 1. Pp. 272–280.
51. Propulsion, Transmission and Engine Room Equipment – Naval Technology [Electronic resource]. 2012. Available at: <http://www.naval-technology.com/contractors/propulsion/converteam> (accessed: 04.06.2016).
52. Ciezki J.G., Ashton R.W. (2000) *A Survey of AC Drive Propulsion Options*.
53. Ptakh G.K. et al. (2014) Experience of developing and prospects of application of switched reluctance drives in Russian Navy Fleet. *Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, 2014 IEEE Conference and Expo. Pp. 1–4.
54. Caricchi F., Crescimbeni F., Honrati O. (1999) Modular axial-flux permanent-magnet motor for ship propulsion drives. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. Vol. 14, No. 3. Pp. 673–679.
55. DRS Technologies. 2012. Available at: <http://www.drs.com/Products/PESG/PDF/PMMS.pdf>.
56. Mitcham A.J. Transverse flux motors for electric propulsion of ships. *IEE Colloquium on New Topologies for Permanent Magnet Machines (Digest No: 1997/090)*. 1997. Pp. 3/1–3/6.
57. Husband S.M., Hodge C.G. The Rolls-Royce transverse flux motor development // *Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03. IEEE International*. 2003. Vol. 3. Pp. 1435–1440.
58. Bassham B.A. (2003) *An evaluation of electric motors for ship propulsion: master of science in electrical engineering*. Monterey, California: Naval postgraduate school, Department of Electrical and Computer Engineering.

59. Smith J.S., Watson A.P. (2006) Design, Manufacture, and Testing of a high speed 10MW permanent magnet motors and discussion of potential application. Proceeding of the 35 turbomachinery symposium. Pp. 19–23.
60. Haring T. et al. (2003) Direct drive-opening a new era in many applications. Pulp and Paper Industry Technical Conference. Conference Record of the 2003 Annual. Pp. 171–179.
61. Vijlee S.Z. et al. (2007) Directly-Coupled Gas Turbine Permanent Magnet Generator Sets for Prime Power Generation On Board Electric Ships. IEEE Electric Ship Technologies Symposium. Pp. 340–347.
62. Vijlee S.Z. (2006) Optimizing a system of gas turbine engines and generators for marine power generation: Master Thesis. The University of Texas at Austin.
63. Davey K.R. (2004) Ship component optimization. Marine Technology Society Journal. Pp. 1–16.
64. Huynh C. et al. (2005) Design and Development of a Two-Megawatt, High Speed Permanent Magnet Alternator for Shipboard Application. Naval Engineers Journal. Vol. 117, No. 4, pp. 23–29.
65. Rucker J.E., Kirtley J.L., McCoy T.J. (2005) Design and analysis of a permanent magnet generator for naval applications. IEEE Electric Ship Technologies Symposium. Pp. 451–458.
66. 4.2 MW Generator [Electronic resource]. Available at: http://www.evtglobal.com/EVT_Global_Inc/Home.html.
67. Rahman M.A., Chiba A., Fukao T. (2004) Super high speed electrical machines – summary. IEEE Power Engineering Society General Meeting. Vol. 2. Pp. 1272–1275.
68. Song-Manguelle J., Nyobe-Yome J.M., Ekemb G. (2010) Pulsating Torques in PWM Multi-Megawatt Drives for Torsional Analysis of Large Shafts. IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 46, No. 1, pp. 130–138.
69. Wang T. et al. (2013) Design and develop of a MW direct drive high-speed permanent-magnet machine for compression. International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). Pp. 892–895.
70. Pepi J., Mongeau P. (2004) High Power Density Permanent Magnet Generators. DRS Electric Power Technologies, Inc.
71. MAN. 1.44-2.22MW [Electronic resource]. 2016. Available at: www.175D.man.eu.

ПРИЧИНЫ ВЗРЫВОВ МЕТАНА В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА

В.А. Скрицкий, вед. научн. сотр. ФГБУН Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, д-р техн. наук, scritsky@mail.ru

Взрывы метана, зачастую протекающие с катастрофическими последствиями, в последние годы стали происходить в угольных шахтах при высокопроизводительной отработке пологих и наклонных пластов. Причина подобных аварий обусловлена переходом с возвратноточного способа проветривания выемочных участков на комбинированный способ проветривания.

Ключевые слова: угольный пласт, выемочный участок, способ проветривания, метан, схема отработки, опорное горное давление, механодеструкция, выработанное пространство, самовозгорание, взрыв метана.

CAUSES OF METHANE EXPLOSIONS IN HIGHLY PRODUCTIVE COAL MINES OF KUZBASS

V.A. Skritsky, Leading Researcher, Federal State Budget Institution «N.A. Chinakal Institute of Mining», SB RAS, Ph.D. of Engineering, scritsky@mail.ru

Methane gas explosions which have often occurred with catastrophic consequences in recent years, began to occur in coal mines with high-performance developing of sloping and inclined beds. The reason for such accidents is due to the transition from reflexively accurate method of ventilation excavation sites to the combined method of ventilation.

Keywords: coal seam, coal-mining area, method of ventilation, methane, the scheme of mining, bearing rock pressure, mechanical destruction, mined-out space, spontaneous combustion, methane explosion.

За период с 16.06.1992 г. по 24.08.2010 г. в шахтах Кузбасса произошло 40 аварий различного вида, при которых погибло 538 человек из них при 23 взрывах метана — 492 человека (91,4%) [1–4]. Из 23 произошедших за рассматриваемый период взрывов метана 13 произошло в шахтах, отрабатывавших пологие пласты, при которых погибло 456 человек (в среднем 35,1 чел./взрыв). А в шахтах, отрабатывавших крутые пласты произошло 10 взрывов метана, при которых погибло 36 человек (в среднем 3,6 чел./взрыв). При этом следует отметить, что к настоящему времени практически все шахты в Кузбассе, отрабатывавшие крутые угольные пласты, как наиболее опасные и не эффективные уже ликвидированы.

В 70–80 годы прошедшего столетия в шахтах Кузбасса взрывы и воспламенения метана происходили преимущественно при отработке крутых пластов. Источником огня, инициировавшим воспламенение метана, как правило, являлись очаги самовозгорания угля, возникающие в выработанном пространстве. Из-за особенностей технологических схем отработки крутых угольных пластов очаги самовозгорания угля в выработанном пространстве зачастую выявлялось не на ранней стадии их возникновения, а проявлялись вспышками метана в выработанном пространстве, либо выделяющимся дымом. Локальные объемы метана взрывоопасной концентрации образовывались в вышерасположенном выработанном пространстве вне зоны ведения очистных работ. Когда в эти локальные скопления метана из очагов самовозгорания угля по выработанному пространству перепускался горящий уголь,

то происходили вспышки, либо взрывы метана. Люди, находящиеся в очистном забое, могли подвергнуться воздействию ударной волны, но взрыв метана по очистному забою и по прилегающим к ним выработкам, как правило, не распространялся.

В те же годы, как и в настоящее время, пологие и наклонные угольные пласты отрабатываются преимущественно системой ДСО (длинные столбы по простиранию с обрушением пород кровли). Причем при отработке пластов, уголь которых склонен к самовозгоранию, проветривание выемочных участков осуществлялось возвратноточным способом, как это представлено на рис. 1.

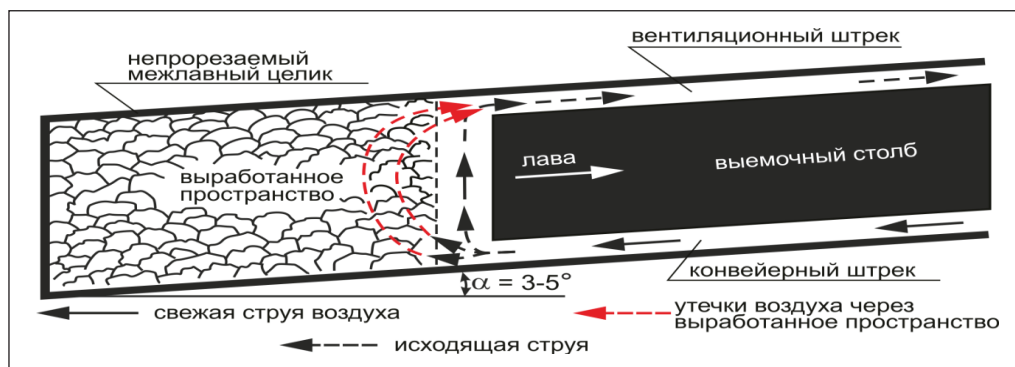


Рис. 1. Схема отработки выемочных столбов системой ДСО с возвратноточным способом проветривания очистного забоя

Выработанное пространство ранее отработанного выемочного столба отделялось от отрабатываемого выемочного столба межлавыми целиками, которые горными выработками не прорезались. Поэтому отсутствовала аэродинамическая связь между выработанными пространствами отрабатываемого выемочного столба и ранее отработанными. Воздух для проветривания очистного забоя (лавы) подавался по конвейерному штреку. Исходящая из лава струя воздуха отводилась по вентиляционному штреку. На сопряжении вентиляционного штрека с выработанным пространством, помимо замеров концентрации метана, осуществляется анализ проб газов, поступающих из выработанного пространства на предмет обнаружения в них оксида углерода (СО). Благодаря такому контролю, осуществляемому за составом газов в утечках воздуха, проходящих через выработанное пространство, очаги самонагрева угля в выработанном пространстве выявлялись в начальной стадии их возникновения. В случае выявления в утечках воздуха, проходящих через выработанное пространство, превышения концентрации СО и иных индикаторных газов, оперативно принимались меры по локализации и подавлению возникающих в выработанном пространстве очагов самонагрева угля. Благодаря такому контролю в выемочных участках, проветриваемых возвратноточным способом, взрывы метана не происходили. Именно поэтому при отработке пологих пластов, уголь которых склонен к самовозгоранию, проветривание очистных забоев производилось только возвратноточным способом.

До тех пор пока производительность очистных забоев, проветриваемых возвратноточным способом, не превышала 1 тыс. т угля в сутки проблем с проветриванием выемочных участков не возникало. Однако когда производительность горно-выемочных машин и оборудования, достигла 3–5 тыс. т угля в сутки и более, то в проветриваемых возвратноточным способом выемочных участках, возникли сложности с соблюдением нормативных требований, предъявляемым Правилами безопасности (ПБ), к скорости воздуха и к предельной концентрации метана (1 %) в исходящем из очистного забоя воздухе. Поэтому, чтобы обеспечить

высокую производительность выемочных участков, и при этом соблюсти требования ПБ технологическая система отработки ДСО, представленная на рис. 1, была существенно трансформирована переходом на комбинированный способ проветривания выемочных участков с прямоточным проветриванием выработанного пространства на ограниченном участке. Одна из типовых схема отработки выемочного участка, проветриваемого комбинированным способом, представлена на рис. 2 [5].

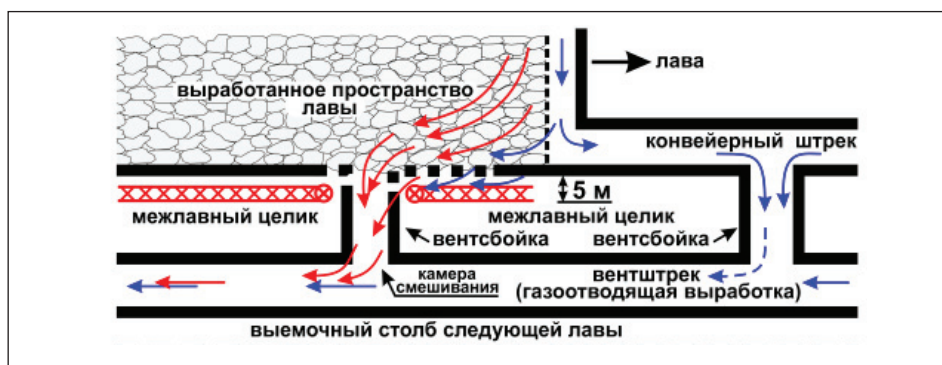


Рис. 2. Трансформированная система ДСО отработки пологих пластов, обеспечивающая производительность лавы до 5–10 тыс. т. угля в сутки

В процессе подготовки к отработке лавами выемочных столбов межлавы угольные целики стали прорезать вентиляционными сбойками (вентсбойки). В зависимости от длины выемочного столба число вентсбоек может достигать 5–7 и более. Через сбойки, прорезающие межлавы целики, возникла аэродинамическая связь между выработанными пространствами отработываемого выемочного столба и ранее отработанными.

Направление движения воздуха по лаве изменено с восходящего на нисходящее проветривание — воздух для проветривания очистного забоя (лавы) подается не по конвейерному штреку, а по вентиляционному. Из выработанного пространства отработываемого выемочного столба метан через вентсбойку в межлавы целике потоком утечек воздуха перепускается на вентштрек ниже подготавливаемого к отработке следующего выемочного столба, минуя очистной забой. Для этого до 30 %, а порой и более, от всего количества воздуха (на шахте «Распадская» до 40 %), поступающего по вентштреку, напрямую направляется через выработанное пространство для выноса из него выделяющегося там метана. В результате проветривание выемочных участков с возвратноточного способа изменено на комбинированный способ, при котором в процессе отработки выемочного столба выработанное пространство на протяжении 100–150 м от очистного забоя постоянно интенсивно продувается воздухом.

Из-за необходимости удаления средствами вентиляции всего метана, выделяющегося как в очистном забое, так и в выработанном пространстве, количество воздуха, подаваемого для проветривания высокопроизводительных выемочных участков, как правило, достаточно большое. Например, для проветривания лавы № 50-11^{бис} в шахте «Ульяновская» (в которой 19.03.07 г. произошел взрыв метана) расчетное количество воздуха, поступающего только по вентштреку 50-11^{бис}, достигало 1742 м³/мин [6].

Подобные технологические схемы подготовки и отработки выемочных столбов, получившие название «многоштрековые», в опытно-поисковом порядке в шахтах Кузбасса начали использоваться с 1999 г. К повсеместному использованию «Технологические схемы многоштрековой подготовки выемочных столбов для отработки высокогазоносных и самовозгорающихся по-

логих угольных пластов », были допущены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору после утверждения их приказом № 735 от 22 декабря 2011 г. [7].

Весьма симптоматично, что после перевода выемочных участков на комбинированный способ проветривания, в высокопроизводительных шахтах Кузбасса, отрабатывающих пологие и наклонные угольные пласты системой ДСО, взрывы метана стали происходить почти ежегодно, причем с катастрофическими последствиями (смотри нижеприведенную таблицу).

Взрывы метана в высокопроизводительных шахтах Кузбасса

Дата	Шахта. Место аварии. Число пострадавших, чел.	Схема проветривания	Горнотехнические параметры пласта	Причина взрыва – по заключению комиссии, расследовавшей аварию
30.03. 2001 г.	«Распадская». Лавы 3-10-7 и 4-10-3. Пострадало 7 чел., в т.ч. 4 – смерт.	Комбинированная – с использованием ВМЦГ-7 для отвода метана из выработанного пространства	Пласт – 10. Мощность – 1,9–2,4 м. Глубина от поверхности – 148 м. Газообильность 25 м ³ /т	Искрение в перебитом бронированном кабеле
11.02. 2003 г.	«Алардинская». Лава 21-1-52, Пострадало 27 чел, в т.ч. 2 – смерт., 11 – тяж.	Комбинированная – с использованием ВМЦГ-7 для отвода метана из выработанного пространства	Пласт – 21. Мощность – 6,6 м Глубина от поверхности – 200 м. Газообильность – сверхкатегорийная	Источник воспламенения – повреждение бронированного кабеля резервного ВМЦГ-7
10.04. 2004 г.	«Тайжина». Лава 1-1-5-5, к/ш 1-1-5-6. Пострадавших 53 чел., в т.ч. 47 – смерт.	Комбинированная – отвод метана на газодрен. штрек через заднюю сбойку на конвейерном штреке	Пласт – Е-5. Мощность – 2,8 м. Глубина от поверхности – 320 м. Газообильн. – сверхкатегорийная	Искрение при повреждении высоковольтного кабеля на к/ш 1-1-5-6
08.02. 2005 г.	«Есаульская». Лава 29-26. Пострадало 29 чел., в т.ч. 25 – смерт.	Комбинированная – с использованием ВМЦГ-7 для отвода метана из выработанного пространства	Пласт – 29. Глубина от поверхности – 353 м. Газообильность – сверхкатегорийная	Самовозгорание угля в выработанном пространстве лавы
19.03. 2007 г.	«Ульяновская». Лава 50-11. Погибло 110 чел.	Комбинированная – отвод метана на газодрен. штрек через заднюю сбойку на конвейерном штреке	Пласт – 50. Мощность – 2,2×2,6 м. Газообильн. – 9,8 м ³ /т. Глубина от поверхности – 220 м	Искрение в лаве при сдавливании и повреждении силового комбайнового кабеля
24.05. 2007 г.	«Юбилейная». Лава 15-16. Погибло 39 чел.	Комбинированная – с использованием ВМЦГ-7 для отвода метана из выработанного пространства	Пласт – 15. Глубина от поверхности – 450 м. Газообильность – сверхкатегорийная	Искрение между жилами в силовом комбайновом кабеле, при его натяжении

Пунктом 2.2.2 Инструкции по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса [8] регламентировано, что при скорости подвигания очистного забоя более 90 м/мес. в выработанном пространстве очаги самовозгорания угля не успевают возникнуть. А так как скорость подвигания высокопроизводительных очистных забоев существенно превышает 100 м/мес., то, основываясь на п. 2.2.2. «Инструкции» [8], при расследовании причин произошедших взрывов метана вопрос о возникновении в выработанном пространстве очагов самовозгорания угля, которые могли являться источником огня, вос-

пламенившим метан, как правило, даже не рассматривается. И это притом, что вывод о пожаробезопасных скоростях отработки выемочных столбов был сформулирован на основании результатов исследований, выполненных еще в 70-тые годы прошедшего века, и распространялся на выемочные участки, проветриваемые возвратноточным способом.

Нагрузка на выемочные участки при отработке пологих и наклонных угольных пластов высокомеханизированными очистными комплексами достигает 5–6 тыс. т угля в сутки, а в отдельных случаях — доходит до 10–15 тыс. т/сут. (например, в ОАО «Шахта Распадская»). Для обеспечения такой производительности длина очистных забоев возросла со 100 м до 300 м, а скорость подвигания очистных забоев достигла 200–300 м/мес. Вследствие такой интенсификации очистных работ существенно возросло опорное горное давление, воздействующее на краевые части угольных целиков, в том числе и оконтуривающих выработанное пространство. Однако до настоящего времени ни при планировании горных работ, ни при расследовании произошедших в шахтах аварий не принимается во внимание влияние горного давления на возникновение очагов самонагрева угля. При этом, опорным горным давлением, воздействующим на краевую часть пласта (целика), совершается механическая работа по ее деформации и разрушению. В процессе этой работы по механодеструкции пласта, совершаемой опорным горным давлением, температура угля внутри краевой части пласта (угольного целика) на глубине 4–5 м, возрастает на 25–35 °С и более, в зависимости от величины опорного горного давления [9].

Через раздавленный и перемятый уголь вовнутрь краевой части пласта воздух беспрепятственно может поступать к нагретому и раздавленному в процессе механодеструкции углю. В этом не окисленном и нагретом в процессе механодеструкции угля, при поступлении воздуха, процесс окисления ускоряется. На рис. 3 показано, где в местах сопряжения вентиляционных сбоек, прорезающих межластный целик, с выработанным пространством уголь в процессе механодеструкции нагревается до температуры не менее 40–50 °С.

Так как через эти вентсбойки из выработанного пространства потоком утечек воздуха перепускается метан, то воздух поступает и к углю, первичный нагрев которого инициирован опорным горным давлением. Происходит окисление угля с выделением тепла, в результате чего развиваются очаги самонагрева угля.

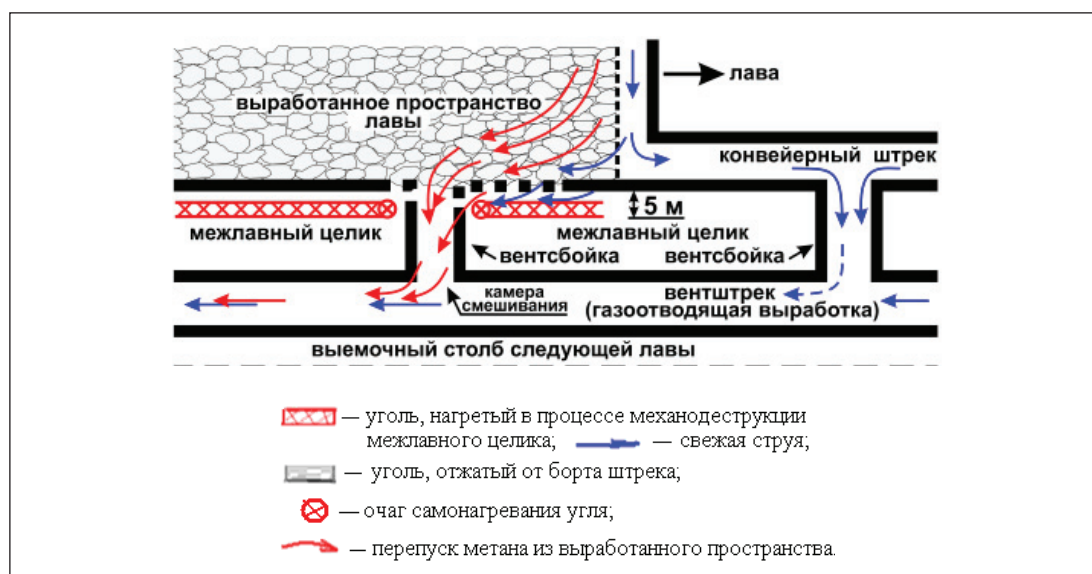


Рис. 3. Очаги самонагрева угля, возникающие в краевой части межластного целика на сопряжении вентсбоек с выработанным пространством действующей лавы

В процессе отработки выемочного столба через каждую вентсбойку, прорезающую межлаважный целик, утечки воздуха, проветривающие выработанное пространство, перепускаются в течение ~1 месяца. За такой период в результате поступления воздуха к нагретому внутри краевой части пласта угля, его температура в процессе окисления возрастает, и может достигнуть высоких значений — 100 °С и более.

Размеры очагов самонагрева, возникающие и развивающиеся внутри раздавленной краевой части угольного пласта (целика), обычно не превышают 0,2×0,3 м, в диаметре [10]. Поэтому количество СО, выделяющегося в вентсбойку из очага самонагрева, незначительно. В большом количестве воздуха (до 500 м³/мин), выносящего из выработанного пространства лавы метан, концентрация СО настолько снижается, что в отбираемых пробах газа не обнаруживается. Поэтому считается, что при высокопроизводительной отработке выемочных участков, очаги самонагрева угля не возникают. Однако, после изоляции вентсбоек, возникшие очаги самонагрева, с горячим в них углем, сохраняются, хотя из-за прекращения поступления воздуха, рост температуры в них приостанавливается.

После перехода к отработке очередного, ниже расположенного, выемочного столба, в возникшие и развившиеся ранее, еще при отработке предыдущего выемочного столба, очаги самонагрева угля, показанные на рис. 3, вновь начинают поступать утечки воздуха, но уже из вентштрека, по которому подается свежая струя для проветривания нового очистного забоя (лавы). Большое количество воздуха, проходящее по вентиляционному штреку (о чем выше сказано на примере шахты «Ульяновская»), предопределяет высокий действующий напор, развиваемый поступающей по нему струей воздуха. Так как междулаважный целик прорезан вентиляционными сбойками, то через эти сбойки, несмотря на возведенные в них изолирующие перемычки, сохраняется аэродинамическая связь выработанного пространства ранее отработанного выемочного столба с вентиляционным штреком отрабатываемой лавы. Обусловлено это тем, что при проходке горных выработок вокруг каждой из пройденных выработок образуются зоны разупрочнения и расслоения угле-породного массива (зоны дезинтеграции) [11]. В местах пересечения горных выработок зоны дезинтеграции массива вокруг каждой из этих выработок накладываются друг на друга. В месте пересечения вентиляционного штрека с вентсбойками угле-породный массив вокруг возведенной изоляционной перемычки также становится воздухопроницаемым. Поэтому даже если тело самой возведенной в сбойке монолитной взрывоустойчивой перемычки оказывается непроницаемым для воздуха, то через вмещающий ее угле-породный массив утечки воздуха могут проникать к ранее возникшим и сохранившимся очагам самонагрева с нагретым в них углем. На рис. 4 показано, как утечки воздуха, минуя изоляционную перемычку на сопряжении вентсбойки с вентиляционным штреком, поступают к ранее возникшим и сохранившимся очагам самонагрева угля на сопряжении выработанного пространства ранее отработанного выемочного столба (лавы) с вентсбойками прорезающих межлаважный целик.

В результате поступления воздуха в эти сохранившиеся очаги с нагретым в них ранее углем процесс окисления и самонагрева активизируется. В случае если во время отработки выемочного столба, в каком либо из находящихся в краевой части межлаважного целика очагов самонагрева угля процесс окисления угля разовьется до стадии пламенного горения, то огонь выходит на кромку целика, в том числе и в вентсбойку, прорезающую межлаважный целик. В вентсбойке от горящего угля воспламеняется метан и в выработанном пространстве действующего очистного забоя происходит взрыв метана.

Из выработанного пространства взрывная волна распространяется по лаве и по примыкающим к ней горным выработкам, где отложения угольной пыли переводятся во взвешенное состояние. Одновременно туда же взрывной волной из-под купола обрушения пород выработанного пространства вместе с огнем выносятся и метан. От горящего метана детонирует взвесь угольной пыли. Происходят повторные взрывы метана и угольной пыли, которые распространяются по сети горных выработок, в которых под действием взрывной волны обра-

зовалась взрывоопасная концентрация взвеси угольной пыли. На примере шахты «Ульяновская», на рис. 6 представлена схема распространения взрыва метана из выработанного пространства по примыкающим к действующему очистному забою горным выработкам [12].

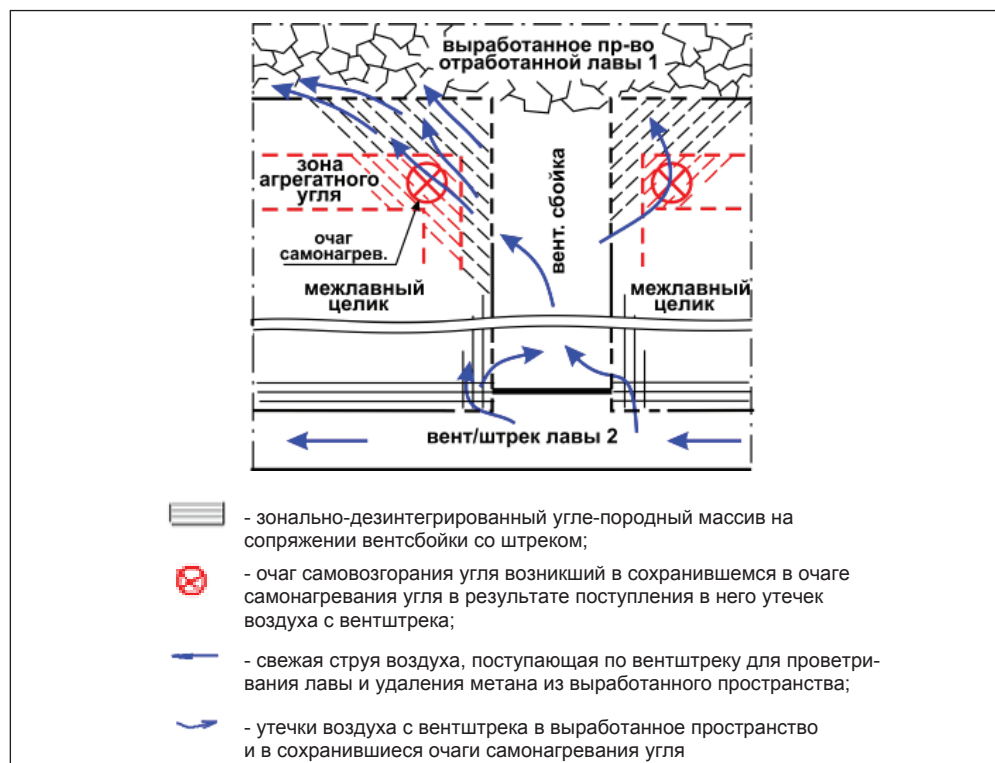


Рис. 4. Развитие ранее возникших очагов самонагрева угля при поступлении к ним утечек воздуха по сбойке с воздухоподающего вентиляционного штрека

Из-за технологических особенностей выемочных участков, проветриваемых комбинированным способом, очаги самонагрева и самовозгорания угля, возникающие в краевых частях межлавных целиков, остающиеся в выработанном пространстве, как правило, не обнаруживаются. В результате возникшие в выработанном пространстве очаги самовозгорания угля неожиданно проявляются взрывами метана. Именно неожиданностью происходящих взрывов метана обусловлены их катастрофические последствия, сопровождающиеся групповым производственным травматизмом со смертельным исходом.

При взрывах метана, особенно с участием в них угольной пыли, происходят повреждения креплений горных выработок и находящегося в них оборудования, в том числе и кабельных сетей. В выработках также можно обнаружить самоспасатели с пробитыми корпусами, из которых произошло выгорание кислородосодержащего продукта. Наличие таких разрушений и поврежденного оборудования позволяет объяснить практически любой произошедший взрыв метана случайным стечением обстоятельств, в том числе сочетающихся с нарушениями Правил безопасности, допущенными самими пострадавшими. К сожалению, именно к таким стереотипным выводам об источниках воспламенения и взрывов метана в высокопроизводительных выемочных участках, как правило, сводятся результаты расследований аварий. Поэтому источником воспламенения метана в одних случаях называлось искрение, образующееся при фрикционном трении обрушающихся пород кровли, а в других (чаще) — искрение при повреждении электрических кабелей.

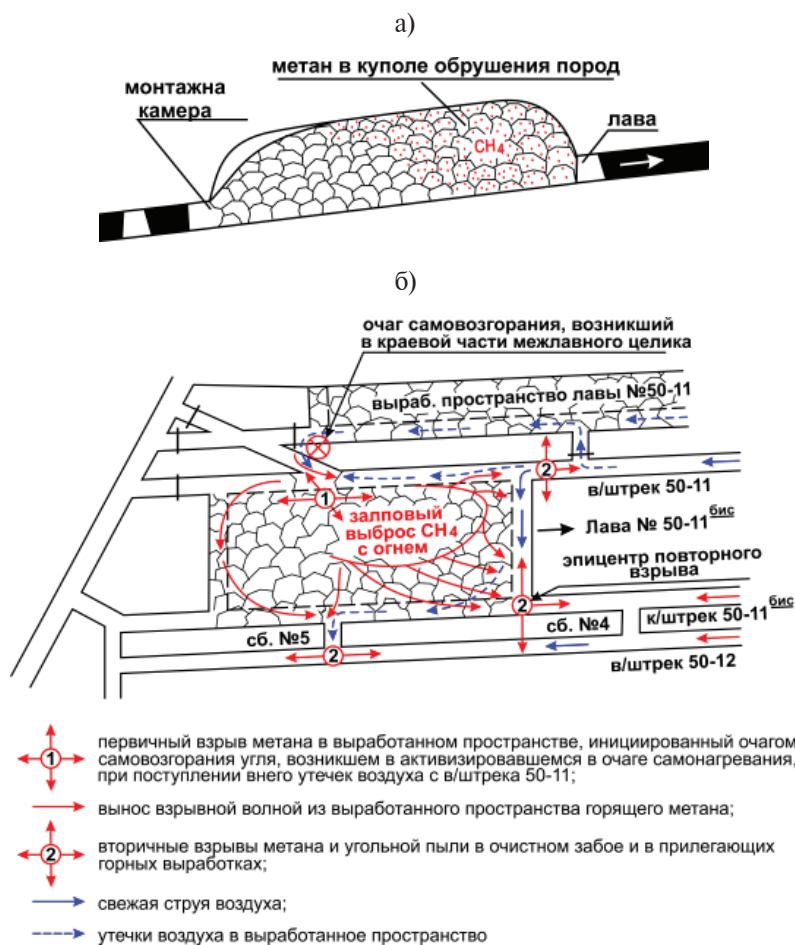


Рис. 5. Схема возникновения и развития взрыва метана по лаве № 50-11^{бис} шахты «Ульяновская»

а) — формирование метанового «облака» в куполе обрушения пород непосредственно за очистным забоем (до взрыва метана в выработанном пространстве);

б) — залповый выброс метана и пламени в лаву из-под купола обрушения пород под действием взрывной волны от взрыва метановоздушной смеси, произошедшего в выработанном пространстве

Из подобных заключений о причинах взрывов метана произошедших в шахтах следует, что для предотвращения подобных аварий отсутствует необходимость в проведении специальных исследований и внесении изменений в действующие нормативные документы, регламентирующие безопасный порядок ведения горных работ при отработке системой ДСО пологих и наклонных угольных пластов. К тому же «Технологические схемы многоштрековой подготовки выемочных столбов для отработки высокогазоносных и самовозгорающихся пологих угольных пластов, обеспечивающих высокопроизводительную и безопасную работу комплексно-механизированных забоев» [7], утвержденные приказом № 735 от 22 декабря 2011 г. Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, являются опасными по возникновению очагов самовозгорания угля и по взрывам метана в действующих выемочных участках. Вследствие этого взрывы метана, происходящие в шахтах России, превратились в повторяющиеся однотипные аварии, на предотвращение которых не оказали и не оказывают влияния результаты расследований происходящих взрывов метана.

Выводы

«Технологические схемы многоштрековой подготовки выемочных столбов для отработки высокогазоносных и самовозгорающихся пологих угольных пластов, обеспечивающих высокопроизводительную и безопасную работу комплексно-механизированных забоев» [7] следует отменить, либо внести в них изменения с учетом следующих положений:

— исключить аэродинамическую связь между действующим выемочным участком и выработанными пространствами ранее отработанных выемочных столбов;

— в оконтуренном выемочном столбе монтажную камеру лавы следует располагать на высшей геодезической отметке, а демонтажную камеру на низшей отметке, чтобы в процессе отработки выемочного столба метан, выделяющийся в выработанном пространстве, мигрировал по выработанному пространству в направлении монтажной камеры, а не скапливался в куполе обрушения пород кровли, примыкающем к очистному забою;

— при разработке мероприятий по предотвращению в выработанном пространстве очагов самовозгорания угля следует учитывать повышение температуры угля внутри краевой части угольного пласта в процессе ее механодеструкции под воздействием сил опорного горного давления.

Список литературы

1. Анализ аварийности на предприятиях угольной промышленности России за 1998 год / А.С. Голлик, И.Г. Федоров, В.А. Скрицкий и др. // РосНИИГД. Кемерово, 1999. 77 с.
2. Анализ аварийности на предприятиях угольной промышленности России за 1999 год / А.С. Голлик, И.Г. Федоров, В.А. Скрицкий и др. // РосНИИГД. Кемерово, 2000. 80 с.
3. Анализ аварийности на предприятиях угольной промышленности России за 2000 год / А.С. Голлик, И.Г. Федоров, В.А. Скрицкий и др. // РосНИИГД. Кемерово, 2001. 107 с.
4. Анализ аварийности на предприятиях угольной промышленности России за 2002 год / А.С. Голлик, В.А. Зубарева, И.Г. Федоров и др. // РосНИИГД. Кемерово, 2002. 123 с.
5. Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс». Альбом / В.Н. Демура, С.В. Ясученя, К.Н. Копылов и др. // Горное дело ООО «Киммерийский центр», (Библиотека горного инженера. Т. 3. «Подземные горные работы». Кн. 12). М: 2014. 256 с.
6. Акты расследования взрывов на шахтах «Ульяновская» и «Юбилейная».
7. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 22 декабря 2011 г. № 735 «Об утверждении Технологических схем многоштрековой подготовки выемочных столбов для отработки высокогазоносных и самовозгорающихся пологих угольных пластов, обеспечивающих высокопроизводительную и безопасную работу комплексно-механизированных забоев».
8. Инструкция по предупреждению и тушению эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса. Кемерово, 1983. 77 с.
9. Скрицкий В.А. Роль горного давления в возникновении эндогенных пожаров в угольных шахтах / В.А. Скрицкий // Материалы научн. конгресса (15–17.10.2009 г.): «Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения». Новосибирск. СГГА. 2009. С. 162–164.
10. Попов В.Б. Новые представления о природе начального теплового импульса при возникновении очагов самовозгорания угля в шахтах [Текст] / В.Б. Попов, В.А. Скрицкий, В.И. Храмцов, С.В. Обидов // Безопасность труда в промышленности. 2002. № 3. С. 36–38.
11. Опарин В.Н. О зонально-дезинтеграционных процессах в углепородных массивах и проблеме изоляции выработанного пространства от поступления воздуха / В.Н. Опарин, В.А. Скрицкий // В сб. трудов конференции (28.06–2.07.2010 г.): «Фундаментальные проблемы формирования техногенной среды». Том II «Геотехнология». Новосибирск. ИГД СО РАН. 2010. С. 19–23.
12. Скрицкий В.А. Взрывы метана в шахтах: трагедия на «Ульяновской» / В.А. Скрицкий // Горная промышленность. 2008. № 3. С. 63–67.

References

1. Golik A.S., Fedorov I.G., Skritsky V.A. (1999) Analysis of accidents at the enterprises of coal industry of Russia for the year 1998. Scientific Research Institute of Mining Rescue. Kemerovo, 77 p.
2. Golik A.S., Fedorov I.G., Skritsky V.A. (2000) Analysis of accidents at the enterprises of coal industry of Russia, 1999. Scientific Research Institute of Mining Rescue. Kemerovo. 80 p.
3. Golik A.S., Fedorov I.G., Skritsky V.A. (2001) Analysis of accidents at the enterprises of coal industry of Russia for 2000. Scientific Research Institute of Mining Rescue. Kemerovo, 107 p.
4. Golik A.S., Fedorov I.G., Skritsky V.A. (2002) Analysis of accidents at the enterprises of coal industry of Russia for 2002. Scientific Research Institute of Mining Rescue. Kemerovo, 2002. 123 p.
5. Demura V.N., Yasyuchenya S.V., Kopylov K.N. et al. (2014) The technological scheme of preparation and mining sections in the mines of JSC «SUEK-Kuzbass». Album. Mining OOO «Cimmerian Cente» (Library of mining engineer. Vol. 3. «Underground mining». KN. 12). Moscow. 256 p.
6. The acts of the investigation of the explosions on mines «Ulyanovsk» and «Jubileynaya».
7. The Order of the Federal service for ecological, technological and nuclear supervision, dated 22 December 2011 No. 735 «On approval of the Technological multi-drift preparation schemes of the poles for testing highly developed flammable and shallow coal seams that ensure high performance and safe operation of fully mechanized faces».
8. Manual on the prevention and suppression of endogenous fires in coal mines of Kuzbass. Kemerovo, 1983. 77 p.
9. Skritsky V.A. (2009) The Role of rock pressure occurrence of endogenous fires in coal mines. Materials science. Congress (15×17.10.2009 g): «Improvement of the management system, prevention and damping of consequences of emergency situations of the regions and the problems of life safety of the population». Novosibirsk. SSGA. Pp. 162–164.
10. Popov V.B. (2002) New ideas about the nature of the initial heat pulse at the appearance of coal self-ignition spots in mines. Ed. V.B. Popov, V.A. Skritsky, I.V. Khrantsov, S.V. Obydov. Labour Safety in industry. No. 3, pp. 36–38.
11. Oparin V.N. (2010) On zonal-disintegration processes in coal massifs and the problem of isolation of mined spaces from air flow. Ed. V.N. Oparin, V.A. Skritsky. Papers of the Conference (28.06–2.07.2010): «Fundamental problems of technogenic environment formation». Vol. II «Geotechnology». Novosibirsk. IGD SB RAS. 2010, pp. 19–23.
12. Skritsky V.A. (2008) Explosions of methane in mines: the tragedy on «Ulyanovsk» Mine. Ed. Skritsky V.A. Mining engineering. No. 3, pp. 63–67.

МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

А.М. Цыпук, проф. Петрозаводского государственного университета Института лесных, горных и строительных наук, д-р техн. наук, tsypouk@mail.ru

А.В. Родионов, доц. Петрозаводского государственного университета Института лесных, горных и строительных наук, канд. техн. наук, andrey.rodionov@mail.ru

В Петрозаводском государственном университете разработан комплекс машин и технологий для восстановления леса в условиях интенсивного лесопользования. Базой для комплекса машин является лесопосадочный лункообразователь динамического действия типа Л-2У. Лункообразователь в агрегате с трактором заменяет собой шлейф машин: обеспечивает механизацию работ по посадке леса, посеву или обработке почвы, в зависимости от условий вырубки. Помимо лункообразователя Л-2У, в комплекс машин входят: сеялка СВУ-1,2 и корнеподрезчик ПК-1,2, которые предназначены для выращивания в лесных питомниках укрупненных сеянцев с открытой корневой системой. Однако техническое перевооружение отрасли лесного хозяйства не может быть реализовано отдельными лесопользователями и является прерогативой государства, как собственника лесов.

Ключевые слова: интенсивное лесопользование, лесовосстановление, технология, лункообразователь, сеялка, корнеподрезчик, комплекс машин.

MACHINES AND TECHNOLOGIES FOR RESTORATION OF FORESTS IN CONDITIONS OF INTENSIVE FOREST MANAGEMENT

A.M. Tsypuk, Professor, Petrozavodsk State University, Institute of forestry, Mining and Construction, Ph. D. of Engineering, tsypouk@mail.ru

A.V. Rodionov, Associate Professor, Petrozavodsk State University, Institute of forestry, Mining and Construction, Doctor of Engineering, andrey.rodionov@mail.ru

Abstract: Petrozavodsk State University has developed a complex of machines and technologies for forest restoration in conditions of intensive forest management. The basis for a complex of machines is the type L-2U forest planting hole digger of dynamic action. The hole digger united with the tractor replaces the train of machines: it provides mechanization of work on planting, sowing or tillage, depending on the conditions of cutting. In addition to the L-2U hole digger, the complex of machines includes: the SVU-1,2 seeder and the PC-1,2 root cutter, which are intended for growing enlarged seedlings in the forest nurseries with an open root system. However, the technological re-equipment of the forestry sector cannot be realized by individual forest users and is the prerogative of the state as the forest owner.

Keywords: intensive forest management, reforestation, technology, hole digger, seeder, root-cutter, machine complex.

Истощение доступных эксплуатационных лесов России приводит к необходимости изменения сложившейся модели ведения лесного хозяйства и лесопользования, в т.ч. более интенсивного использования неоднократно пройденных рубками вторичных лесов Европейской части страны за счет развития различных видов рубок ухода, а также активизации искусственного лесовосстановления (т.е. посева и посадки леса) [1].

«Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года» (утв. распоряжением Правительства РФ № 1724-р от 26.09.2013 г.) среди прочих мер прямо предусматривают интенсификацию использования и воспроизводства лесов, сохранение экологического потенциала лесов.

Однако, по данным Рослесхоза, ежегодно в России сплошные рубки леса проводятся на площади порядка 1 млн га, при этом работы по лесовосстановлению в 2016 г. были выполнены на общей площади 781,1 тыс. га, из них только 195,7 тыс. га — искусственное и комбинированное лесовосстановление (т.е. примерно 25 % от площади рубок). Проблема носит системный характер: 40–50 лет назад в России лес вырубался на площади около 3 млн га ежегодно, а соотношение площадей, восстанавливаемых лесными культурами и оставляемых на естественное зарастание, было таким же.

Успешность воспроизводства лесных ресурсов (т.е. выращивание насаждений необходимого породного состава) зависит не только от способа лесовосстановления, но и от объема и качества последующих рубок ухода за лесными молодняками. При этом рубки ухода в молодняках надо проводить минимум дважды — сначала «осветление» (в возрасте до 10 лет), затем «прочистки» (в возрасте 11–20 лет).

По официальным данным, в 2012–2015 гг. суммарная площадь рубок ухода в молодняках в среднем составила 300 тыс. га в год, что почти в 2,5 раза ниже, чем площадь лесовосстановления. Рубки ухода в более старших насаждениях (где можно получить коммерчески ценное сырье) не превысили 70 % от площади лесовосстановления, что также многократно ниже необходимого.

При этом, по данным [2], в период с 1983 по 2003 гг. в России погибло более 50 % созданных лесных культур, что является рекордной величиной за последние 50–60 лет. Основная причина гибели — невыполнении в полном объеме необходимых рубок ухода в лесных молодняках.

Результатом такой многолетней практики является сокращение в России площадей ценных хвойных насаждений, при формальном обилии лесов [3, 4].

По опыту таких стран-лидеров в лесном хозяйстве как Финляндия и Швеция, интенсификация использования и воспроизводства лесов невозможна без существенного (в 3–4 раза) увеличения объемов работ по искусственному восстановлению лесов и уходу за растущими молодняками.

По нашей оценке, применение лесопользователями известных машин для подготовки почвы на вырубках (дисковые покровосдиратели типа ПДН-1, Враске и проч.) в сочетании с ручной посадкой под меч Колесова или посадочную трубу не обеспечит необходимые объемы и качество лесовосстановительных работ в условиях интенсификации. По опыту Финляндии, применение более сложных и дорогих машин также не даст ожидаемого российскими лесопромышленниками скачка в производительности и качестве выполнения работ по искусственному лесовосстановлению.

Не следует также забывать о необходимости резкого увеличения объемов ухода за посадками, без которых вложенные в лесные культуры деньги можно считать потраченными впустую. В настоящее время в РФ такие ухода выполняются преимущественно с применением моторизированного инструмента (ручных мотокусторезов); существенное увеличение таких уходов сдерживается в т.ч. дефицитом необходимой рабочей силы и неразвитостью сети лесных дорог [5].

В этих условиях необходимо искать технологии и машины, которые не только сократят затраты времени и труда при создании лесных культур, но и позволят снизить потребность в последующих уходах за культурами.

В Петрозаводском государственном университете (ПетрГУ) совместно со специалистами Института леса Карельского научного центра РАН разработан комплекс машин и техноло-

гий их применения для интенсивного восстановления лесов на вырубках в условиях Европейской части России. Базовой машиной этого комплекса является лесопосадочный лункообразователь динамического действия типа Л-2У (рис. 1, табл. 1).



Рис. 1. Лункообразователь Л-2У

Л-2У заменяет шлейф лесовосстановительных машин: обеспечивает механизацию работ по посадке леса, посеву или обработке почвы, в зависимости от условий вырубки [6].

Лункообразователь Л-2У агрегируется с гусеничными или колесными тракторами (в т. ч. лесохозяйственной модификацией трактора ТЛТ-100), оснащенными задней навесной системой, механическим валом отбора мощности (ВОМ) или гидромотором.

Применение лункообразователя Л-2У позволяет механизировать процесс подготовки посадочных мест (лунок) под лесные культуры на нераскорчеванных вырубках. Посадка под лункообразователь Л-2У крупномерных сеянцев или саженцев также дает возможность радикально сократить количество последующих лесоводственных уходов.

Основное назначение лункообразователя Л-2У — подготовка лунок глубиной до 23 см для посадки саженцев и укрупненных сеянцев, норма посадки для которых снижена до 2500 шт./га по сравнению с 4000 шт./га для обычных сеянцев. Для подготовки лунок под обычные сеянцы (глубиной до 16 см) лункообразователь комплектуется сменными рабочими органами. Лункообразователи Л-2У можно использовать для посадки леса сеянцами и саженцами с открытой или закрытой корневой системой.

Лункообразователь оснащается высевальным приспособлением Л-2УС (рис. 2, табл. 2) обеспечивающим поверхностную обработку почвы удалением подстилки полосами шириной 30, 40 и 50 см и посев лесных семян [6].

Применение Л-2У для подготовки посадочных мест (лунок) снижает затраты энергии по сравнению с машинами, образующими в почве непрерывную борозду примерно в 3 раза, что обеспечивает значительную экономию топлива на лесовосстановительных работах. При проверке в лесных условиях выяснилось, что при работе в тяжелых почвенных условиях бака трактора, работающего с машиной для непрерывной подготовки почвы, хватает примерно на день, в нормальных условиях — до 3-х дней; при работе трактора в агрегате с лункообразователем бака топлива хватает на неделю.



Рис. 2. Сменное приспособление для посева семян Л-2УС

Таблица 1

Техническая характеристика лункообразователя Л-2У

Показатель	Значение
Габаритные размеры, мм	2400 × 2250 × 1800
Масса, кг	800 ± 50
Частота вращения входного вала червячного редуктора, об/мин: – с трактором МТЗ-82 – с трактором ЛХТ-100	540 или 1000 540
Крутящий момент на входном валу червячного редуктора, Н·м, не более	300
Обслуживающий персонал, чел., в т.ч.: тракторист 5-го разряда сажальщик 4-го разряда	1 4–6
Скорость движения агрегата, км/ч: – рабочая – транспортная	1–2,5 10–20
Производительность (количество лунок) за 1 час, шт., не менее	3000
Годовая выработка, га, не менее	150
Ширина междурядья, м	1,8 ± 0,1
Шаг подготовки лунок в ряду, м при агрегатировании с тракторами: – МТЗ-82 – ЛХТ-55 (без ходоуменьшителя) – ЛХТ-100 (с ходоуменьшителем)	0,43–1,18 0,88–1,18 0,43–1,18
Размеры посадочных лунок, мм: – глубина – ширина на поверхности почвы – длина на поверхности почвы	230 ± 20 90 ± 30 120 ± 30
Посадочный материал (сеянцы и саженцы)	ГОСТ 24835-81, ГОСТ 3317-77

Таблица 2

Техническая характеристика приспособления Л-2УС

Показатель	Значение
Габаритные размеры, мм	800 × 700 × 800
Масса, кг	100
Обслуживающий персонал, чел., в т.ч. тракторист 5-го разряда	1
Скорость движения агрегата, км/ч: рабочая транспортная	1–2,5 10–20
Производительность (количество посевных мест) за 1 час, шт., не менее	4000
Годовая выработка, га, не менее	150
Ширина междурядья в одном проходе (по центрам рядов), м	1,6 ± 0,05
Ширина минерализованной полосы в одном ряду, м	0,1; 0,3; 0,4; 0,5
Расстояние между смежными посевными местами (шаг посева), м	0,37; 0,74; 1,48
Посевной материал (семена чистые, сыпучие)	ГОСТ 14161-86, ТУ-56-226-83

Производительность труда при посадке сеянцев и саженцев в лунки, подготовленные Л-2У, повышается в 2,53 раза по сравнению с ручными инструментами: норма выработки при посадке под меч Колесова составляет 800 900 шт. в горных условиях — не выше 500 шт.), при посадке под лункообразователь — 18 002 800 шт. в смену [6].

При применении лункообразователя Л-2У возможна комбинированная посадка — сочетание на вырубке саженцев или укрупненных сеянцев (т.н. «крупномера») с обычными сеянцами. Для таежных условий РФ рекомендуемое соотношение крупномера и обычных сеянцев — в среднем 2:1.

В ПетрГУ также разработан комплект машин, состоящий из сеялки вибрационной СВУ-1,2 и корнеподрезчика ПК-1,2, для выращивания в лесных питомниках укрупненных сеянцев с открытой корневой системой [7]. Посадка укрупненных сеянцев под Л-2У сокращает затраты на восстановление леса и радикально снижает затраты на последующие уходы за посадками.

Сеялка вибрационная универсальная СВУ-1,2 (рис. 3, табл. 3) предназначена для разбросного (сплошного) и широкострочного посева семян хвойных пород с целью получения крупномерного посадочного материала (укрупненных сеянцев) без разреженной пересадки сеянцев (перешколивания).

Сеялка за один проход выравнивает поверхность поля, рыхлит почву на глубину заделки семян, уплотняет посевное ложе, распределяет семена разбросным или широкострочным способом, заделывает семена почвой и может при необходимости проводить полное или частичное уплотнение почвы над семенами [7].

При использовании в питомнике разбросной сеялки СВУ-1,2 выход укрупненного посадочного материала с 1 га повышается в 2,6 раза по сравнению с рядовыми сеялками. На 1 га площади питомника можно выращивать 1 млн шт. крупномера, т.е. в 4 раза больше, чем при выращивании саженцев в «школе» по традиционной технологии. Экономия семян при посеве под сеялку СВУ-1,2 также может быть весьма значительной: 30 кг/га против 70 кг/га по традиционной технологии (т.е. расход семян в 2,5 раза меньше).

Корнеподрезчик ПК-1,2 (рис. 4, табл. 4), состоящий из передних вертикальных и задних горизонтальных ножей, предназначен для формирования корневой системы укрупненных сеянцев с открытой корневой системой, при их выращивании без перешколивания [7].



Рис. 3. Сеялка СВУ-1,2



Рис. 4. Корнеподрезчик ПК-1,2

Исследования приживаемости и хода роста лесных культур, созданных посадочным материалом (однолетние сеянцы) с закрытой корневой системой под лункообразователь Л-2У, выполненные учеными Института леса Карельского научного центра РАН и ПетрГУ, подтвердили возможность успешного использования Л-2У для лесовосстановления с применением такого материала (подробнее — см. [8]).

В 1988 г. в Юркостровском лесничестве (Кондопожский район Республики Карелия) были заложены опытные лесные культуры ели путем посадки саженцами высотой 20–40 см с открытой корневой системой в лунки, подготовленные лункообразователем. При каменистости почвы около 50 %, лункообразователь на нераскорчеванной вырубке обеспечил подготовку качественных лунок для создания культур с густотой 4,5 тыс. шт/га (рис. 5).

Таблица 3

Техническая характеристика сеялки СВУ-1,2

Показатель	Значение
Габаритные размеры, мм	2190 × 1550 × 750
Масса, кг	400
Частота вращения вала отбора мощности, об/мин: – с трактором МТЗ-82	545–560
Крутящий момент на входном валу червячного редуктора, Н·м, не более	170
Обслуживающий персонал, чел., в т. ч.: тракторист 5-го разряда	1
Скорость движения агрегата, км/ч: – рабочая – транспортная	6,5–6,7 10–20
Производительность, га/час, не менее	0,7
Ширина захвата (по колее трактора), м	1,2–1,5
Глубина заделки семян (регулируемая), см	0–4
Норма высева (регулируемая), кг/га	20–70
Посевной материал	Семена сосны и ели, чистые, сыпучие

Таблица 4

Техническая характеристика корнеподрезчика ПК-1,2

Показатель	Значение
Габаритные размеры (с трактором МТЗ-82), мм	5400 × 2000 × 2500
Масса (без трактора), кг	480
Частота вращения вала отбора мощности, об/мин: – с трактором МТЗ-82	1013
Крутящий момент на входном валу червячного редуктора, Н·м, не более	60
Обслуживающий персонал, чел., в т. ч.: тракторист 5-го разряда	1
Скорость движения агрегата, км/ч: – рабочая – транспортная	4,26 10–20
Производительность, га/час, не менее	0,5
Ширина захвата (по колее трактора), м	1,2–1,5
Количество обрабатываемых рядов, не более	5
Возраст посадочного материала в период подрезки, лет	2–4
Порода посадочного материала	Сосна, ель

Следует отметить, что для создания лесных культур достаточно подготовить 2,0–3,0 тыс. шт/га качественных посадочных мест, с чем лункообразователь легко справляется за 1 час рабочего времени.

Наблюдения за развитием опытных культур в Юрковском лесничестве ведут специалисты Института леса Карельского научного центра РАН, под руководством д-ра с.-х. наук Соколова А.И.



Рис. 5. Опытные лесные культуры ели в Юркостровском лесничестве Карелии

По данным Соколова А.И., лесные культуры выращивались все эти годы без агротехнических и лесоводственных уходов, сохранность культур к настоящему времени составляет около 90%. Уже к 11-му году жизни культуры не уступали по высоте лиственным породам (береза, осина), растущим на контрольном участке с естественным лесовозобновлением.

По оценке Соколова А.И., лункообразователь может найти применение при создании лесных культур с использованием крупномерного посадочного материала на заготовочных вырубках, для обработки почвы под содействие естественному возобновлению леса и механизированного посева на вырубках из-под сосняков лишайниковых, вересковых и брусничных, а также на влажных почвах для создания культур посадкой по пластам. При замене рабочих органов (игл) на меньший размер Л-2У может применяться для подготовки лунок для посадки семян.

Выполненные в ПетрГУ расчеты показали, что применение лункообразователя Л-2У для механизации подготовки лунок повышает производительность труда в 2,4 раза по комплексу выполняемых работ «подготовка почвы – посадка» по сравнению с ручной посадкой под меч Колесова в условиях каменистых почв, что снижает потребность в рабочей силе (особенно – в «сезонных» сажальщиках) в 1,5 раза [9].

Представленный комплекс машин был создан по государственным заказам более 30 лет тому назад, успешно прошел испытания (в т.ч. с участием иностранных специалистов) и первоначальное внедрение в производство; комплекс непрерывно совершенствуется силами работников. К сожалению, широкого распространения в лесах РФ эти машины не получили.

В статье не ставилась задача объяснить, по каким причинам лункообразователь Л-2У и другие машины комплекса оказались не востребованными в период коренного изменения всех сфер жизни страны, вызвавших в частности развал системы лесного хозяйства.

Прошло время. Ужесточаются требования государства как собственника лесов к частным лесопользователям, ведущим хозяйствование в лесах на условиях аренды. Вырубленные площади необходимо восстанавливать ценными в хозяйственном отношении породами деревьев. Для таежной зоны, где ведутся основные лесозаготовки, это сосна и ель.

Для лесопользователей, вырубивших лес, восстановить – буквально означает разместить на вырубленной площади жизнеспособные деревья в необходимом количестве, о чем уже

говорилось в статье. Интерес государства как собственника лесов заключается в том, чтобы выросли полноценные деревья ценных пород, которые снова можно передать в рубку. Промежуток между реализацией устремлений лесопользователей и собственника в условиях таежной зоны России составляет не менее 80–100 лет.

Опыт показал, что никакими экономическими или административными санкциями невозможно мотивировать арендаторов к реализации конечных интересов государства как собственника лесов.

Однако этого можно добиться, используя технологический подход, а именно внедряя интенсивное лесопользование и соответствующие ему технологии, машины и материалы для лесовосстановления.

Установлено, что деревья, посаженные крупномерным материалом в оптимальном количестве на единицу площади, успешно конкурируют в росте с нежелательной растительностью и при минимальных затратах образуют вновь покрытую лесом площадь. Заботы владельца леса в лице государственных организаций (лесничеств) в этом случае понадобятся для наблюдения за ходом роста нового леса и организации его хозяйственного использования.

Отдельные лесопользователи не располагают возможностями для решения государственной проблемы – технологического обеспечения и технического перевооружения такой отрасли общественного производства как лесное хозяйство. Однако лесопользователи охотно инвестируют в приобретение машин и технологий, удовлетворяющих их потребности в рамках принадлежащего им производства.

Таким образом, забота о технологическом обеспечении отрасли в целом остается, как и в дореформенной России, прерогативой государства, в т.ч. и как доминирующего собственника лесов.

Предлагаемый комплекс машин и технологий для восстановления леса предоставляет государству и многочисленным лесопользователям технологическую основу для эффективной механизации воспроизводства лесов в условиях интенсификации лесопользования.

С рекомендациями по практическому применению предлагаемого комплекса в различных условиях можно ознакомиться в работах [6, 7, 9].

Выводы

Таким образом, для эффективной механизации лесовосстановительных работ в условиях интенсификации использования и воспроизводства лесов созданы достаточные технологические и технические предпосылки.

Применение разработанного в ПетрГУ комплекса машин на базе лункообразователя Л-2У позволяет:

- снизить расходы бюджета и бизнеса на восстановление леса;
- снизить затраты труда и времени на восстановление леса;
- повысить долю лучших отечественных машин в лесу;
- реализовать идею интенсификации лесопользования.

Следует признать, что внедрение представленного комплекса машин в практику лесного хозяйства требует поддержки со стороны государства.

Список литературы

1. Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов. СПб.: ФБУ «СПбНИИЛХ», 2015. 16 с.
2. Романов Е.М. Состояние и проблемы воспроизводства лесов России / Е.М. Романов, Н.В. Еремин, Т.В. Нуреева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2007. № 1. С. 5–14.
3. Ежегодный доклад о состоянии и использовании лесов Российской Федерации за 2012 год. М., 2012. 123 с.

4. Романюк Б.Д. Создание стратегии разработки системы лесохозяйственных и природоохранных нормативов для Средне-таежного лесного района северо-запада России для внедрения модели устойчивого интенсивного лесного хозяйства / Б.Д. Романюк // Стратегия разработки системы лесохозяйственных и природоохранных нормативов для Средне-таежного лесного района с целью внедрения модели устойчивого интенсивного лесного хозяйства. Материалы «круглого стола», 18 марта 2013 г., г. Санкт-Петербург. Сост. Н.М. Шматков. М., 2013. С. 29–42.
5. Лопатин Е. Методика выявления лесных участков, наиболее перспективных для ведения интенсивного устойчивого лесного хозяйства / Е. Лопатин // Устойчивое лесопользование. 2016. № 2. С. 16–24.
6. Рекомендации по восстановлению леса на вырубках с использованием лункообразователя Л-2У / А.В. Родионов, А.И. Соколов, В.А. Харитонов, А.М. Цыпук, А.Э. Эгипти. ПетрГУ. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. 52 с.
7. Цыпук А.М. Повышение эффективности лесовосстановительных работ ресурсосберегающей технологией: Дис. д-ра техн. наук / А.М. Цыпук; ПетрГУ. СПб., 1996. 299 с.
8. Опыт реконструкции лиственных малоценных молодняков без обработки почвы в условиях Южной Карелии / О.И. Гаврилова, М.Н. Тришкин, А.И. Соколов, А.М. Цыпук, А.Л. Юрьева // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2008 № 2. С. 75–79.
9. Родионов А.В. Рубка и восстановление леса на основе ресурсосберегающей технологии / А.В. Родионов. М.: Флинта: Наука, 2006. 276 с.

References

1. The concept of intensive use and reproduction of forests. SPb. FBE SPbFRI, 2015. 16 p.
2. Romanov E.M. (2007) State and problems of reproduction of forests in Russia. Ed. E.M. Romanov, N.V. Eremin, T.V. Nureyev. Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management. № 1, pp. 5–14.
3. Annual report on the state and use of forests of the Russian Federation for 2012. Moscow, 2012. 123 p.
4. Romanyuk B.D. (2013) Creation of a strategy for the development of a system of forestry and environmental standards for the Middle Taiga Forest Region of North-West Russia for the introduction of the model of sustainable intensive forestry. B.D. Romanyuk. Strategy for the development of a system of forestry and environmental standards for the Middle Taiga Forest Region with the aim of introducing a model of sustainable intensive forestry. Materials of the round table, March 18, St. Petersburg. Comp. N.M. Shmatkov. Moscow, 2013, pp. 29–42.
5. Lopatin E.A. (2016) Method for identifying forest areas that are most promising for conducting intensive sustainable forestry. E. Lopatin. Sustainable forest management. № 2, pp. 16–24.
6. Rodionov A.V., Sokolov A.I., Kharitonov V.A., Tsypuk A.M., Egipiti A.E. (2006) Recommendations for the restoration of forests on fellings using the hole digger L-2U. PetrSU. Petrozavodsk: Publishing house PetrSU, 52 p.
7. Tsypuk A.M. (1996) Increase of efficiency of reforestation works by resource-saving technology: Thesis of Ph. D. of Engineering A.M. Tsypuk; PetrSU. SPb., 299 p.
8. Gavrilova O.I., Trishkin M.N., Sokolov A.I., Tsypuk A.M., Yurieva A.L. (2008) Experience of reconstruction of deciduous low-value young growth plants without soil treatment in the conditions of South Karelia. Scientific Papers of Petrozavodsk State University. No. 2, pp. 75–79.
9. Rodionov A.V. (2006) Felling and restoration of forests based on resource-saving technology. Moscow: Flint: Science, 2006. 276 pp.

ТОПЛИВНЫЕ КОМПОЗИТЫ ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕГО ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Н.И. Буравчук, зав. лаб. ФГАОУ ВО «Южный Федеральный Университет»,
канд. хим. наук

Обобщены результаты экспериментальных исследований технологии брикетирования различных по физической природе, структуре, составу, свойствам углеродсодержащих материалов, имеющих определенный энергетический потенциал. Брикетирование позволяет утилизировать невостребованные мелкозернистые углеродсодержащие отходы, повысить полноту их сгорания, снизить уровень загрязнения окружающей природной среды.

Ключевые слова: брикетирование, связующее, мелкозернистые угольные отходы, горючие древесно-растительные остатки, топливные брикеты.

FUEL COMPOSITES OF FINELY-GRANULAR CARBON-CONTAINING TECHNOGENIC RAW MATERIAL

N.I. Buravchuk, Head of Laboratory, Federal STATE Autonomous Educational Institution «Southern Federal University», Doctor of Chemistry

Summarizes the results of theoretical and experimental researches the technology of briquetting of different the physical nature, structure, composition, properties of carbonaceous materials having a certain energy potential. Briquetting allows to dispose of unclaimed fine-grained carbonaceous waste, to increase the completeness of combustion, reduce the level of pollution of the natural environment.

Keywords: briquetting, binder, fine-granular coal waste, combustible wood-vegetable residues, fuel briquettes.

Экологическая напряженность в угледобывающих регионах страны во многом определяется высоким уровнем отходов добычи и переработки угля. Практически во всех угледобывающих районах на углеобогащательных фабриках, на шахтах накапливаются штыбы, угольная мелочь, шламы, энергетический потенциал которых трудно использовать из-за их мелкодисперсности и пылевидности. Неиспользованные отходы угледобывающей промышленности складываются в отвалы. Продолжительное хранение значительных объемов мелкозернистой и тонкодисперсной мелочи на открытом воздухе приводит к попаданию ее с паводковыми и ливневыми водами в бассейны близлежащих рек. В то же время изучение качественных характеристик углеродсодержащих материалов позволило установить их перспективность для использования после соответствующей переработки в качестве полноценного бытового топлива. Запасы таких отходов, имеющих определенный энергетический потенциал, велики.

В программе «Энергетическая стратегия России» в части угольной промышленности и углей как энергетического топлива стратегия состоит в том, что поставка угольного топлива на потребительский рынок должна осуществляться не в виде природного «горючего камня», а в виде угольной продукции, облагороженной до необходимой кондиции по золе, влаге, сере и гранулометрическому составу [1]. Потребность в твердом топливе неуклонно возрастает, топливный рынок практически пуст. Наиболее обоснованным технологическим направлением, которое может обеспечить получение топлива с удовлетворительными потре-

бительскими характеристиками, является брикетирование некондиционных углеродсодержащих отходов со связующими. Это универсальный способ получения брикетов практически из любых материалов. Организация производств по выпуску кондиционного брикетированного топлива дает возможность хотя бы частично уменьшить возрастающий дефицит угля и прежде всего для топочных устройств коммунально-бытового сектора и тепловых агрегатов промышленной энергетики. В отечественной практике практически нет предприятий по производству топливных брикетов из антрацитовых штыбов, каменноугольной и коксовой мелочи, шламов. Есть и другие горючие отходы. Это твердые сельскохозяйственные остатки (солома от зерновых культур, стебли и лузга подсолнечника, кукурузные початки и др.), отходы переработки древесины (опилки, обрезки от переработки первичной древесины, паркетная пыль и др.). Запасы некондиционных горючих отходов велики. Одна из причин — отсутствие экологически чистых, доступных и недорогих связующих веществ. Цель данных исследований — разработка универсальной технологии брикетирования, применимой как для углеотходов, так и других горючих отходов, например, растительной продукции сельского хозяйства и деревообрабатывающей отрасли.

Экспериментальная часть

При разработке технологии брикетирования исходной посылкой явилось положение о том, что создание топливной композиции представляет собой по-существу, процесс формирования в материале системы контактов и силовых связей в объеме брикета по критериям оптимальной их сопротивляемости атмосферным воздействиям в процессе хранения и температурно-механическим нагрузкам при их использовании. В рамках решения этой задачи осуществлялось обоснование требований к размерам зерен углеродсодержащего компонента (масштабный критерий структуры композита). Придавалось значение соотношению объемов твердофазовой (каркасообразующей) составляющей композиции и затворяющей смеси, условиям пространственного их размещения в объеме (плотность и оптимальная упаковка различной дисперсности зерен и пористых включений, толщина клеящей прослойки, параметры структурной их однородности и др.). Обоснование указанных требований отвечает условию управления параметрами однородности композиции, от чего зависит эффективность работы связей при действии на топливный брикет различных факторов в условиях их хранения и стабильность процесса горения.

Способность углей брикетироваться зависит от принадлежности угля к тому или иному классу. Нет строгих критериев оценки брикетируемости углей и углеродсодержащих материалов. При исследовании брикетирующей способности углей изучают влияние фракционного состава порошкообразного угля, давления прессования, температуры сушки исходного угля. Повысить эффективность брикетирования угля можно путем активации поверхности угольных частиц. Одним из способов активации является измельчение — механоактивация. При дроблении и измельчении под воздействием механических сил интенсифицируются физико-химические процессы, приводящие к изменению реакционной способности угля. Под действием ударных нагрузок или трения в твердом теле накапливаются разнообразные дефекты структуры, происходят полиморфные превращения и аморфизация. Полиморфные превращения или аморфизация при механоактивации объясняют качественные изменения реакционной способности угля. При этом обрабатываемый материал запасается свободной энергией. Качественной экспрессной оценкой брикетируемости углей может быть наиболее простой способ: определение брикетируемости шихты по установлению минимального количества связующего, которое требуется ввести в шихту, для получения механически прочного брикета при минимальном давлении прессования.

В экспериментальном исследовании брикетированию подвергались мелкозернистые угли: антрацитовые штыбы, коксовая, каменноугольная мелочь, угольные шламы, растительные отходы сельского хозяйства и деревообрабатывающей отрасли. Элементарный состав (углерод — C^{daf} , водород — H^{daf} , кислород + азот — $O^{daf} + N^{daf}$, сера — S^{daf}) и технические характери-

стики (зольность — A^d , массовая доля влаги рабочего топлива — W_t^r , выход летучих веществ — V^{daf} , низшая теплота сгорания — Q_s^{daf}) углеродсодержащего техногенного сырья приведены в табл. 1.

При разработке технологии брикетирования изучено [2Г7] влияние на технологичность процесса и качество топливных брикетов таких факторов, как влажность и гранулометрический состав исходных углеродсодержащих материалов, соотношение компонентов шихты, состав и температура затворяющей смеси, давление прессования, режим упрочнения брикетов. Приведена оценка качества топливных брикетов по разработанной технологии.

Таблица 1

Характеристика углеродсодержащих продуктов

Компонент	Элементный состав, %				Технический анализ			
	C^{daf}	H^{daf}	$O^{daf}+N^{daf}$	S^{daf}	$A^d, \%$	$W_t^r, \%$	$V^{daf}, \%$	$Q_s^{daf}, \text{МДж/кг}$
Штыб антрацитовый	94,4	1,4	1,6	2,6	19,0	4,7	3,8	34,25
Шлам угольный	83,2	4,3	2,3	10,2	29,9	20,6	19,7	22,16
Лузга подсолнечная	49,8	6,6	43,4	0,20	2,7	5,7	78,9	18,5
Опилки	51,7	5,9	42,23	0,17	0,6	7,2	77,3	17,1
Мякина	43,7	5,8	50,27	0,23	4,8	15,3	68,8	15,7

Планирование эксперимента и опытно-экспериментальная проверка пригодности шихты топливных композиций для брикетирования позволили определиться с составом связующего и оптимальным фракционным составом ингредиентов как наиболее важным фактором, определяющим возможность получения брикетов с заданными физико-механическими свойствами. На стадии проектирования критерием пригодности состава для топливных брикетов являлась прочность брикета-сырца. В исследованиях при подборе связующего для брикетирования исходили из следующих принципов: связующее должно быть доступным, обеспечивать технологичность процесса, обеспечивать необходимую и достаточную механическую прочность брикетов при их изготовлении, хранении и использовании.

В качестве основы связующего вещества для брикетирования углеродсодержащего сырья была выбрана меласса — побочный продукт сахарно-свекловичного производства. Меласса представляет собой густую сиропообразную непрозрачную вязкую жидкость темно-бурого цвета. Усредненный состав золы мелассы приведен в табл. 2

Таблица 2

Химический состав мелассы, вес. %

K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	SO_3	Прочие оксиды
76,4	11,2	3,5	0,5	3,7	0,2	4,5

Гидрофобизирующей добавкой к мелассе были кубовые остатки термокрекинга парафинов. Кубовые остатки представляют собой высоковязкие, часто застывающие продукты темного цвета; температура плавления 35–38 °С. Действие гидрофобизатора проявляется в снижении вредного влияния воды, проникающей в брикетную композицию диффузионным путем. В качестве добавок-отвердителей к мелассе использовали карбидный ил, образующийся в виде мелкодисперсной пасты как отход при производстве ацетилена из карбида кальция. Это известь 2-го сорта, синеватого оттенка. Массовая доля гидроксида кальция не менее 35,0 %. Другая добавка-отвердитель — фильтрационный осадок, отход свеклосахарного производства, содержащий в основном карбонат кальция и гашеную известь. Содержание гашеной извести составляет 50–60 %.

Сложность брикетирования углесодержащих отходов связана с нестабильностью их свойств: морфологического и фракционного состава, влажности, плотности, содержания органического вещества, теплоты сгорания и др. Наибольшая трудность при утилизации таких отходов – высокая влажность и зольность. Изменение содержания влаги в углеотходах влияет на силы сцепления между частицами [8].

Антрацитовый штыб, получаемый при обогащении угля, имеет влажность 12–16 %. Влажность угольных шламов из отстойников более 20 %. Брикетирование таких переувлажненных отходов без предварительной сушки невозможно. Обезвоживание углеотходов чрезвычайно трудоемкая и затратная операция. Расширить диапазон влажности утилизируемых отходов можно, используя древесно-растительные волокнистые остатки, которые одновременно являются углеродсодержащим компонентом. Смешивание переувлажненных угольных отходов с растительными остатками (мякина, подсолнечная лузга, дробленая солома, листья и стебли подсолнечника и др.), древесными и паркетными опилками позволяет существенно сократить расходы на подготовку влажного сырья, т.е. исключить операцию обезвоживания. Влажность растительных отходов в естественном состоянии находится в пределах 4–28 %. При такой влажности при визуальном осмотре опилки и растительные остатки воспринимаются как сухие, в отличие от шлама, у которого при такой влажности практически отсутствует удерживающая способность в отношении свободной воды и наблюдается ее самопроизвольное отделение. Древесные опилки и мякина содержат в полостях клеток свободную и в оболочках клеток связанную влагу. Максимальное количество связанной влаги при отсутствии свободной может составлять до 50–60 %. В растительных остатках и опилках благодаря структурным особенностям этого сырья свободная вода является иммобилизованным структурным элементом материала и в смеси со шламом не оказывает дополнительного увлажнения смеси. Напротив, эти материалы способны адсорбировать воду из шлама, способствуя его обезвоживанию [5]. Брикетирование переувлажненных угольных отходов с древесно-растительными остатками принципиально меняет подход к технологии обезвоживания мелкозернистых влажных отходов. Из отечественного и зарубежного опыта следует, что оптимальным содержанием влаги угля мелких классов, предназначенного для брикетирования, считается 2–3 % [8, 9]. Применение в составе шихты для брикетирования древесно-растительных остатков расширяет диапазон исходной влажности для угольных компонентов до 6–10 %.

На качество брикета и его характеристики влияет крупность исходных компонентов и зерновой состав шихты. На рис. 1 показано изменение прочности брикетов от крупности частиц угольного компонента шихты. Наибольшее значение прочности на сжатие получено в образцах, содержащих уголь с фракцией 0–1 мм. У тонкодисперсного угля на твердой поверхности больше активных центров, взаимодействующих со связующим. В этом случае при формировании брикета эффективнее проникает связующее в поры и трещины угля (механическое защемление связующего), и усиливается адсорбционное взаимодействие на границе твердой и жидкой фаз. Эти процессы способствуют повышению прочности брикета.

Экспериментальным путем было установлено, что антрацитовый штыб крупностью 0–6 мм, должен включать частиц >6 мм – 5–7 %; 3–6 мм – 25–30 %; 1–3 мм – 30–33 %; 0–1 мм – 35–45 %. Для повышения пластичности, технологичности и улучшения зернового состава шихты для брикетирования вводили угольный шлам крупностью 0–3 мм. В угольном шламе содержание фракций 1–3 и 0–1 мм – по 40–45 %, частиц свыше 3 мм – не более 10 %. Пылевидные фракции угольного шлама заполняют пустоты каркаса, который создают более крупные фракции. Стабилизация крупных частиц мелкими основана на способности последних фиксирования за счет дальнедействующих межмолекулярных сил около крупных частиц, создавая более плотную упаковку частиц дисперсной фазы. Такая упаковка частиц характеризуется большой площадью контакта зерен. Растительные отходы сельского хозяйства, такие как солома, стебли и лузга подсолнечника обязательно подлежат дроблению.

Зерновой состав дробленых растительных остатков — 0–3 мм. Мякину можно не измельчать, отделив при необходимости частицы (стебли) крупнее 3 см.

Содержание связующего оказывает существенное влияние на брикетируемость угольной мелочи и на прочность, как брикета-сырца, так и качество конечной продукции. На рис. 2 показана зависимость прочности топливных брикетов от содержания связующего — мелассы при различных влажностях брикетируемого антрацитового штыба. Установлено, что при расходе мелассы от 6 до 7 % отформованные брикеты имеют прочность, достаточную для того, чтобы брикет не разрушился при транспортировке к месту упрочнения и складирования.

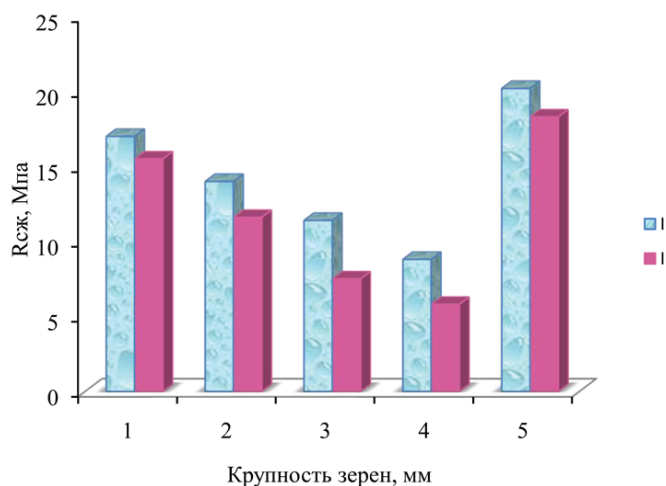


Рис. 1. Влияние крупности зерен угля на прочность брикетов

1 — 0–1 мм; 2 — 0–3 мм; 3 — 1–3 мм; 4 — оптимальный зерновой состав;
I — связующее: меласса; II — связующее: меласса + карбидный ил

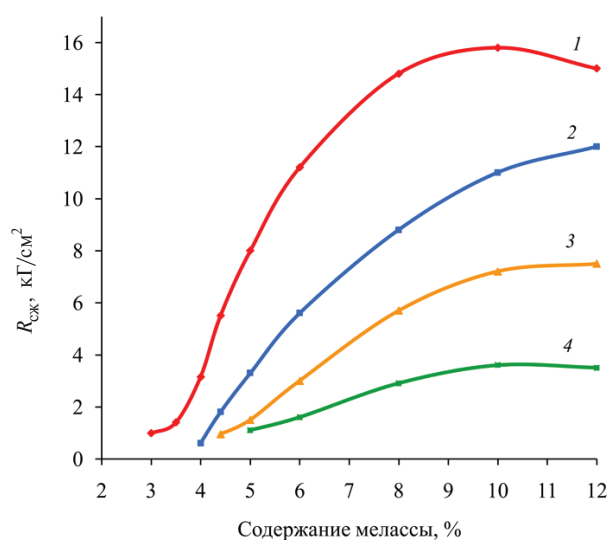


Рис. 2. Зависимость прочности брикетов от содержания связующего при разных влажностях антрацитового штыба (%)

1 — 2,0; 2 — 4,0; 3 — 6,0; 4 — 8,0

Формирование брикета из рыхлой шихты в плотное камнеподобное тело одинаковой формы и веса происходит при прессовании. Образование брикетов в прессе происходит в результате двухстороннего обжатия материала, что позволяет получать брикеты с высокой и равномерной плотностью. Давление прессования создает условия для проявления сил межмолекулярного взаимодействия при сближении поверхности угольных частиц. Уплотнение шихты в момент прессования является одним из важных факторов для получения прочного брикета. С приложением давления прессования происходит сближение зерен и активное взаимодействие контактирующих адсорбционно-сольватных слоев. Прочность брикета обусловлена проявлением сил механического, молекулярного, электрического, капиллярного взаимодействия и сил поверхностного натяжения. При брикетировании происходит изменение структуры и свойств мелкозернистых материалов: увеличивается площадь контактов между частицами, повышается плотность, уменьшается пористость, разрушаются конгломераты частиц, и даже сами частицы. Давление прессования изменяли в пределах 25–45 МПа.

Как связующее меласса проявляет высокие клеящие способности. Однако брикеты на этом связующем неводостойкие. Для обеспечения водостойкости топливных брикетов применена гидрофобизирующая добавка – кубовые остатки органического синтеза. Гидрофобизатор хорошо сочетается со связующим, образуя гомогенный раствор. Проникновение макромолекул кубовых остатков в адсорбционные слои связующего приводит к гидрофобным взаимодействиям, вследствие которых блокируются гидрофильные центры системы «твердая поверхность – связующее». В результате сродство к воде у такой системы понижается. Результаты исследования водопоглощения брикетов в зависимости от содержания кубовых остатков при различных расходах мелассы представлены на рис. 3. Полученные данные [3] позволяют определить наиболее оптимальный диапазон расхода мелассы (6–8 %) и гидрофобизатора (0,6–0,8 %) для получения брикетов, имеющих водопоглощение не более 2,0 %. Наличие гидрофобизатора в составе связующего обеспечивает объемную гидрофобизацию брикетной композиции и, как следствие, водостойкость брикетов. В лабораторных условиях изготовление топливных брикетов включало подготовку твердых компонентов, приготовление связующего, шихты и прессование. Антрацитовый штыб и угольный шлам определенного зернового состава и влажности подогревают до 50 °С и смешивают. В подогретую мелассу (40–45 °С) вводят кубовые остатки органического синтеза, подогретые до 45 °С. Смесь тщательно перемешивают. Подготовленным таким образом связующим затворяют смесь углесодержащих компонентов и тщательно перемешивают до равномерного распределения компонентов во всем объеме.

Полученную шихту с температурой 40–45 °С прессуют. Брикеты формуют на прессе с двухсторонним усилием прессования. Давление прессования 25–30 МПа. Доупрочнение брикетов происходит по мере охлаждения до температуры окружающего воздуха и в условиях хранения при температуре окружающего воздуха 18–20 °С и относительной влажности 55–60 %. Естественная сушка дает возможность получить брикеты с минимальным количеством дефектов, так как при этом происходит медленная усадка материала. Оптимальное соотношение компонентов шихты и технологических режимов изготовления топливных брикетов отражены в техническом решении [10].

Введение гидрофобизирующей добавки обеспечивает водостойкость брикетной композиции. Однако из-за гигроскопичности мелассы брикет хорошо сорбирует влагу из воздуха. При длительном хранении брикетов (более 20 дней) в условиях высокой влажности (90–95 %) брикеты теряют прочность. Процесс снижения прочности брикетов носит обратимый характер, и при уменьшении влажности окружающего воздуха наблюдается упрочнение брикетов и приобретение ими первоначальных свойств.

Для стабилизации свойств топливных композиций вводили специальные добавки – отвердители для блокировки сахаров, содержащихся в мелассе и отрицательно влияющих на свойства брикетов при длительном хранении во влажных условиях. Одна из таких добавок – уже

упоминавшийся карбидный ил. Карбидный ил используется как пластифицирующий и структурирующий реагент. Он не требует предварительной подготовки, смешивается с мелассой в любых соотношениях, понижает вязкость мелассы. Образующаяся затворяющая смесь равномерно распределяется на поверхности частиц, обволакивая все компоненты, придает пластичность шихте и обеспечивает хорошую формуемость при невысоком давлении прессования и высокую прочность брикета—сырца после изготовления. При нахождении брикетов, изготовленных связующим, состоящем из мелассы с добавкой карбидного ила, в течение года в условиях повышенной влажности наблюдается снижение их прочности в пределах 2,6–9,3%, прирост влаги у брикетов составил 3,3–4,7%. Некоторое снижение прочности и увеличение влагосодержания не повлияло на качество брикетов. Это подтверждается испытанием брикетов на сбрасывание на металлическую плиту по стандартной методике [11]. Прочность на сбрасывание брикетов, находившихся в климатической камере в условиях повышенной влажности, составляет 87–92%. В качестве другой добавки рекомендовано использовать фильтрационный осадок — отход свеклосахарного производства. Содержание гашеной извести в фильтрационном осадке составляет 50–60%. Замена карбидного ила на фильтрационный осадок приводит к улучшению прочностных показателей топливных брикетов. Это объясняется тем, что в отличие от карбидного ила в фильтрационном осадке содержатся кальциевые соли органических кислот, участвующие в формировании дополнительных комплексных органоминеральных соединений, устойчивых к различного рода воздействиям и улучшающим физико-механические свойства топливных брикетов. Связующее, состоящее из мелассы с фильтрационным осадком, имеет меньшую зольность в сравнении со связующим, содержащим карбидный ил (рис. 4).

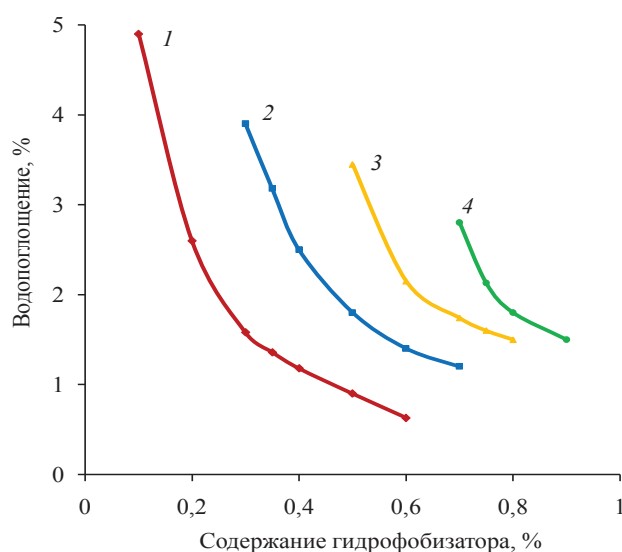


Рис. 3. Изменение водопоглощения брикетов от содержания гидрофобизатора и мелассы, %
1 — 4,0; 2 — 6,0; 3 — 8,0; 4 — 10,0

Замена карбидного ила на фильтрационный осадок позволяет снизить расход известьесодержащего компонента, так как в фильтрационном осадке его содержание примерно в 1,5 раза больше, чем в карбидном иле. В итоге зольность связующего, как и топливного брикета, уменьшается [13]. Таким образом, замена карбидного ила на фильтрационный осадок

приводит к снижению зольности топливных брикетов, повышению их прочностных свойств и улучшению условий окружающей среды при использовании топливных брикетов, снижению выделения вредных летучих веществ при их сжигании.

Топливные брикеты могут быть как чисто угольные, так и содержать кроме угля другие горючие материалы. Разработанное связующее и технология брикетирования пригодны как для изготовления чисто угольных или древесных, так и смешанных брикетов, содержащих углеотходы, древесные или растительные остатки. Проведены исследования [5] по брикетированию различных по влажности и физической природе отходов, имеющих энергетический потенциал, и получению брикетов с заданным набором свойств и характеристик. Свойства отходов растительного происхождения приведены выше в табл. 1. В составах многокомпонентных брикетов могут использоваться антрацитовый штыб, угольные шламы, коксовая или каменноугольная мелочь. Древесные опилки и древесная мука паркетных опилок, отходы растительного происхождения в технологии используются не только как энергонесущие компоненты, но и как наполнители, выполняющие роль армирующего и структурирующего компонентов шихты, и как адсорбенты избыточной влаги. Совместная переработка мелкодисперсных угольных отходов и древесно-растительных остатков позволяет брикетировать шихту, не проводя предварительную подготовку влажного дисперсного сырья.

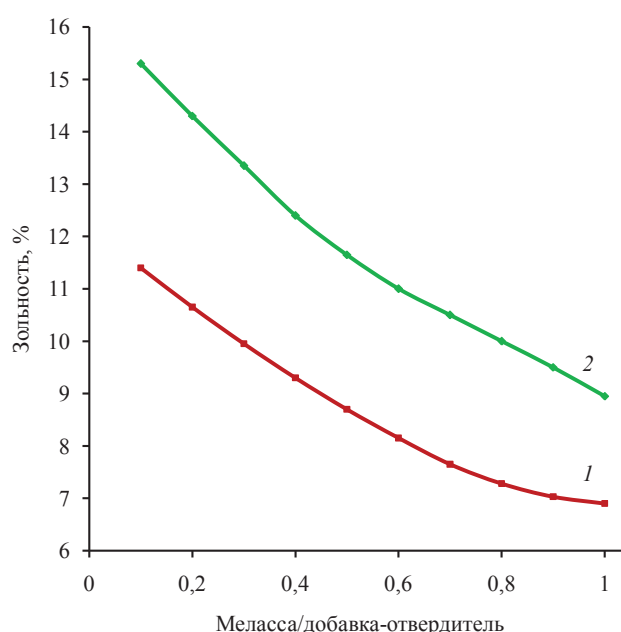


Рис. 4. Влияние содержания добавки-отвердителя на зольность связующего

1 — меласса + фильтрационный осадок; 2 — меласса + карбидный ил

В составе многокомпонентной шихты соотношение между растительными или древесными отходами, угольным шламом и антрацитовым штыбом выдерживалось по весу в пределах 1:1:3 соответственно. Подобранные соотношения антрацитового штыба, угольного шлама или коксового концентрата, установленный зерновой состава угольной смеси, выбранные добавки, выявленные расход связующего и величина давления прессования обеспечивают получение качественного топливного брикета. В лабораторных условиях технология приготовления шихты включала тщательное перемешивание антрацитового штыба и угольного шлама до равномерного распределения компонентов (оценка визуальная); последующее до-

бавление растительных остатков (опилок или мякины, или лузги подсолнечной) и тщательное перемешивание. Затворение смеси твердых компонентов предварительно приготовленным связующим (меласса + карбидный ил) и тщательное перемешивание до получения однородной массы. Перемешивание компонентов (углеотходов, растительных остатков и связующего) сопровождается перераспределением влаги между ними. Угольные частицы оказываются в каркасе растительных остатков. Прессование приготовленной шихты при давлении 25 МПа. Прочность отформованного брикета-сырца достаточна для сохранения его целостности после выхода из пресса и перемещения к месту складирования. На рис. 5 показано изменение прочности при сжатии испытываемых образцов с разными древесно-растительными остатками в зависимости от соотношения между мелассой и карбидным илом в составе связующего.

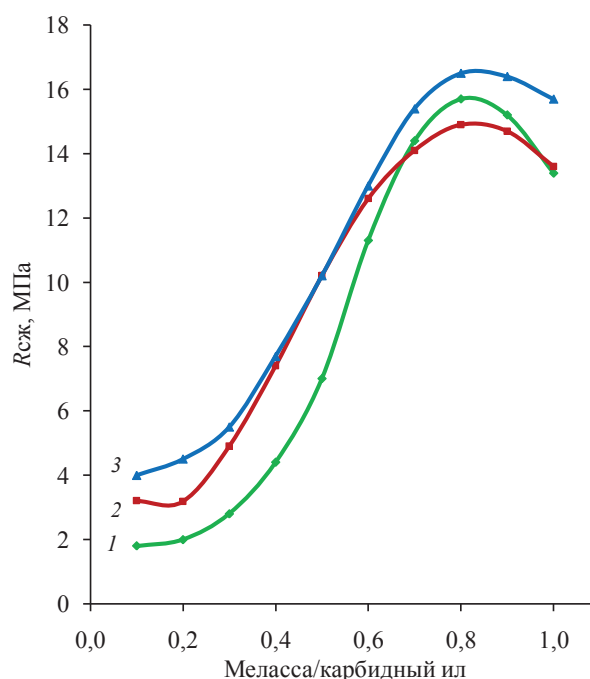


Рис. 5. Влияние многокомпонентного состава шихты на прочность топливных брикетов

1 — опилки; 2 — подсолнечная лузга; 3 — мякина (полова)

Как следует из рисунка, приемлемые по прочности составы шихты приходятся на область соотношений 0,4–0,8. В этом диапазоне прочность брикетов изменяется от 5,0 до 16,0 МПа. Максимум прочности для всех составов брикетов достигается при соотношении: меласса: карбидный ил, равном 0,8. По абсолютной величине прочности при сжатии наибольшие значения имеют образцы, содержащие мякину. По-видимому, податливость и эластичность («текучесть») мякины повышают пластичность шихты. Наличие пылевой фракции придает дополнительную плотность упаковке частиц. Удлиненные плоские чешуйки от зерен создают армирующий эффект. В результате образуется высокопрочная композиция. В образцах с опилками армирующий эффект опилок снижается наличием упругих деформаций. Подсолнечная лузга при приложенном давлении прессования вследствие своей хрупкости частично измельчается и выпрямляется. Образцы с таким компонентом по структуре менее плотные, чем с мякиной и опилками, но достаточно прочные. Положительную роль в по-

вышении влагоустойчивости и технических характеристик топливных брикетов сыграло использование кальцийсодержащих добавок, отходов растительного происхождения, оптимальное соотношение компонентов и технологических приемов изготовления брикетов [14]. Способность древесно-растительных остатков содержать максимальное количество гигроскопической влаги в связанном состоянии, нивелировала снижение прочности брикетов за счет гигроскопичности мелассы. При длительном хранении (более трех месяцев) топливных брикетов в условиях высокой влажности окружающего воздуха (98–100 %) отмечалось снижение прочности брикетов не более чем на 1,0 %.

В табл. 3 приведены характеристики, в табл. 4 – результаты сравнительного сжигания опытной партии топливных брикетов.

Топливные брикеты воспламенялись от зажженных дров (как обыкновенный уголь крупных классов), горение не сопровождалось треском, выделением запахов, искр. Характер горения брикетов на связующем из мелассы с добавками и сортового угля сорта АМ практически идентичен. Термостойкость брикетов характеризуется как «хорошая», брикеты в процессе горения не рассыпаются, сохраняют свою форму, зольный остаток не спекается, по структуре пылевидный.

Таблица 3

Характеристики топливных брикетов экспериментальных партий

$R_{сбр}$	$R_{сж}$, МПа	W_t^r , %	A^d	V^{daf}	S_t^d	Теплота сгорания, МДж/кг	
						Qs^{daf}	Qi^r
Угольные брикеты							
100	12.0	7.9	8.5	6.3	1.00	27.75	33.44
Угольно-древесные брикеты							
100	16.6	4.4	197	29.0	0.81	21.55	28.60
Древесные брикеты							
100	17.5	1.0	9.5	76.4	0.08	15.92	18.09

Таблица 4

Результаты сравнительного сжигания топливных брикетов и угля

Вид топлива	Зольность A^d , %	Массовая доля влаги рабочего топлива W_t^r , %	Вес неперегоревшего остатка, %		Количество топлива, %	
			из топки	из поддувала	сгоревшего	несгоревшего (остаток)
Брикеты	13,9	4,0	1,05	12,95	64,5	35,5
Уголь, сорт АМ	9,0	3,2	1,5	8,7	75,2	24,8

Механизм образования прочных брикетов основывается на положениях физико-химической механики дисперсных систем [15]. Формирование структуры и свойств брикетов включает комплекс сложных протекающих одновременно физико-химических и физико-механических процессов. Основная роль при формировании структуры брикета принадлежит связующему. Под влиянием процессов, протекающих на границе контакта связующего с поверхностью адсорбента, происходит формирование структурирующих слоев вокруг углеродсодержащего компонента. При формировании структуры и прочности брикета важную

роль играет толщина адсорбционного слоя и когезия связующего в тонких слоях [16]. Взаимодействие углеродсодержащих частиц происходит через эти адсорбционные клеевые слои высокой степени упорядоченности. Прочность связи достигает максимума в том случае, когда клеевые прослойки в местах контакта становятся равными толщине адсорбционного слоя. Проявление сложных физико-химических процессов [17] на поверхности твердых углеродсодержащих частиц при смешивании со связующим усиливается в процессе прессования шихты. В начальной стадии формирования структуры прочность системы связана с возникновением коагуляционных структур. Дальнейшее упрочнение сопровождается превращением коагуляционных структур в конденсационно—кристаллизационные, обеспечивающие механическую прочность топливных композиций.

Вводимые кальцийсодержащие добавки интенсифицируют процесс отверждения, блокируют сахара и образуют с мелассой соединения, способствующие уплотнению и упрочнению структуры, созданию наиболее прочных связей, устойчивых к колебаниям влажностного и температурного режима окружающей среды. Присутствие в шихте волокнистых и игольчатых растительных остатков или древесных опилок, которые можно рассматривать как элементы короткой арматуры, влияет на прочность сцепления между частицами, способствуя их взаимному переплетению, создает эффект дисперсного армирования. Армирующий эффект наполнителей проявляется в формировании пространственных и компактных гетерополярных структурных связей, в дополнительном приросте прочности топливной композиции. Увеличение количества и площади контактов между частицами и интенсивность их сцепления усиливается при приложении давления прессования, когда имеет место максимальное контактирование и проявление адгезионно-когезионных свойств связующего к поверхности частиц составляющих компонентов шихты.

Заключение

Разработанная технология изготовления топливных брикетов не требует выполнения сложных операций и дорогостоящего уникального оборудования. Она включает следующие операции: подготовку материалов для брикетирования по гранулометрическому составу и влажности, приготовление связующего, смешивание всех ингредиентов в заданном соотношении, приготовление и прессование шихты, подсушка отформованных брикетов в естественных условиях, упаковка и складирование брикетов. Влажность отходов углеобогащения регулируется смешением их с древесно-растительными отходами. Особенности технологии — исключается принудительная сушка антрацитового штыба и угольного шлама, используется экологически чистое связующее, упрочнение отформованных брикетов происходит в естественных условиях окружающей среды, утилизируются угольные и древесностружечные отходы, растительные остатки сельскохозяйственной отрасли.

Топливные брикеты по всем показателям входит в число самых востребованных материалов. Масштабность решения проблем утилизации отходов, имеющих определенный энергетический потенциал, и дефицита угля позволяет рекомендовать разработанную технологию брикетирования мелкозернистых углеродсодержащих материалов и продукцию на их основе к широкому освоению в производстве и использованию в энергетических установках производственного и бытового назначения. По предложенной технологии брикетирования можно получать топливные брикеты с высокими потребительскими свойствами, конкурентоспособные на отечественном и мировом рынке.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
2. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Влияние технологических параметров на качество топливных брикетов из мелкозернистых угольных отходов // Химия твердого топлива. 2015. № 5. С. 25—29.

3. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Получение топливных брикетов из мелких фракций антрацитов // Химия твердого топлива. 2014. № 4. С. 49–53.
4. Buravchuk N.I. and Guryanova O.V. Briquetting of Coal Products with a Binding Agent, published in Khimiya Tverdogo Topliva, 2016. No 6, pp. 352–356.
5. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Брикетирование угольных продуктов со связующим // Химия твердого топлива. 2016. № 6. С. 19–24.
6. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В., Огороков Е.П. и др. Влияние структурных и технологических факторов на прочность дисперсно-зернистых композитов на основе отходов углеобогащения // Труды III Всероссийской конференции по теории упругости с международным участием. Ростов-на-Дону. Азов. 13–16.10. Ростов-на-Дону. Новая книга. 2004. С. 101–103.
7. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Брикетирование антрацитовых штыбов со связующими. Сб. статей Международной научной конференции «Научные задачи технических наук и пути их решения» (20 февраля 2015 г.). Уфа. С. 16–23. Available at: aeterna-ufa.ru.
8. Елишевич А.Т. Брикетирование угля со связующими. М.: Недра. 1972. 180 с.
9. Воларович М.П., Гамаюнов Н.И., Цеплаков О.А. Роль влаги в процессе брикетирования гидрофильных дисперсных материалов. В сб. «Физико-химическая механика дисперсных структур». М.: Наука. 1966. С. 265–269.
10. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Пат. РФ 2149889 // Б.И. 2000. № 15.
11. Тайц Е.М., Андреева И.А. Методы анализа и испытания углей. М.: Недра. 1983. 301 с.
12. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В., Огороков Е.П. и др. Топливный брикет. Пат. РФ. 2205204 // Б.И. 2003. № 15.
13. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Состав для получения топливного брикета. Заявка на изобретение № 2016128381. 2016 г.
14. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Пат. РФ 2396306 // Б.И. 2010 г. № 22.
15. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды. М.: Наука, 1979. 384 с.
16. Елишевич А.Т. Исследование механизма структурообразования в процессе брикетирования // Химия твердого топлива. 1978. № 6. С. 60–68.
17. Петровская Н.И. Брикетирование шламов станций нейтрализации рудничных вод медьдобывающих предприятий на основе брикетирования: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. Екатеринбург. 2002. 21 с.

References

1. Energy strategy of Russia for the period until 2030. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009, No. 1715-р.
2. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. (2015) Influence of technological parameters on the quality of fuel briquettes from fine-grained coal waste. Chemistry of Solid Fuel. No. 5, pp. 25–29.
3. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. (2014) Obtaining fuel briquettes from small fractions of anthracites. Chemistry of solid fuels. No. 4, pp. 49–53.
4. Buravchuk N.I. And Guryanova O.V. (2016) Briquetting of Coal Products with a Binding Agent, published in Chemistry of solid fuels. No 6, pp. 352–356.
5. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. (2016) Briquetting of coal products with a binder. Chemistry of solid fuels. No. 6. With. 19–24.
6. Buravchuk N.I., Guryanova O.V., Okorokov E.P. et al. (2004) Influence of structural and technological factors on the strength of dispersed-granular composites based on coal enrichment waste. Proceedings of the III All-Russian Conference on the Theory of Elasticity with International Participation. Rostov-on-Don. Azov. 13–16.10. Rostov-on-Don. A new book, pp. 101–103.
7. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. (2015) Briquetting of anthracite scraps with binders. Collection of Articles of the International Scientific Conference «Scientific problems of engineering sciences and ways to solve them» (February 20, 2015). Ufa, pp. 16–23, Website: aeterna-ufa.ru.

8. Elishevich A.T. (1972) Briquetting of coal with binders. Moscow. Nedra. 180 p.
9. Volarovich M.P., Gamayunov N.I., Tseplakov O.A. (1966) The role of moisture in the process of briquetting of hydrophilic dispersed materials. Collection: «Physico-chemical mechanics of disperse structures». Moscow. Science, pp. 265–269.
10. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. Pat. RF 2149889 // B.I. 2000. № 15.
11. Taitis E.M., Andreeva I.A. (1983) Methods of analysis and testing of coals. Moscow. Nedra. 301 p.
12. Buravchuk N.I., Guryanova O.V., Okorokov E.P. Fuel briquette. Pat. RF. 2205204 // B.I. 2003. No. 15.
13. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. (2016) Composition for the production of fuel briquette. Application for invention No. 2016128381.
14. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. Pat. RF 2396306 // B.I. 2010 No. 22.
15. Rebinder P.A. (1979) Surface phenomena in disperse systems. Physico-chemical mechanics. Selected works. Moscow: Nauka, 384 p.
16. Elishevich A.T. Investigation of the mechanism of structure formation in the process of briquetting. Chemistry of solid fuel. 1978. No. 6, pp. 60–68.
17. Petrovskaya N.I. (2002) Briquetting of slimes of neutralization stations of mine waters of copper-mining enterprises on the basis of briquetting: Abstract of Thesis for the degree of Ph.D. of Engineering. Ekaterinburg, 21 p.

МЕХАНИЗАЦИЯ ПОСЕВА РАСТЕНИЙ ФИТОМЕЛИОРАНТОВ

Н.П. Крючин, зав. каф. ФГБОУ ВО Самарская государственная сельскохозяйственная академия, проф., д-р техн. наук, miignik@mail.ru

В материалах статьи рассмотрен наиболее эффективный способ рекультивации земель загрязненных углеводородами и гербицидами путем применения растений фитомелиорантов. Определены основные многолетние травы для биорекультивации почвы. Разработана пневматическая сеялка для посева растений фитомелиорантов, оснащенная высевальной системой централизованного дозирования с дисково-штифтовым высевальным аппаратом. Рассмотрен технологический процесс работы сеялки с дисково-штифтовым высевальным аппаратом. Представлены результаты оценки качества работы разработанной сеялки. Обоснована целесообразность применения разработанной сеялки для посева костреца прямого и других труднорастущих культур с подобными физико-механическими свойствами их семян при проведении фитомелиоративных мероприятий.

Ключевые слова: пневматическая сеялка, посев, растения фитомелиоранты, высевальной аппарат, равномерность посева.

MECHANIZATION OF SOWING OF PHYTOMELORANT PLANTS

N.P. Kryuchin, Head of Department, Samara State Agricultural Academy, Professor, Ph.D. of Engineering, miignik@mail.ru

The most effective method of reclamation of lands contaminated with hydrocarbons and herbicides by using phyto-meliorant plants is considered in the article. The main long-term herbs for bio reclamation of soils are determined. A pneumatic seeder for planting of phyto-meliorants has been developed, equipped with a sowing system of centralized dosing with a disk-pin seeder. The technological process of the seed drill with a disk-pin seeder is considered. The results of the evaluation of the quality of the developed seeder are presented. The expediency of using the developed seeder for sowing a rump of direct and other hard-flowing crops with similar physico-mechanical properties of their seeds during phyto-meliorative measures is justified.

Keywords: pneumatic seeder, sowing, plants, phyto-meliorants, sowing apparatus, uniformity of sowing.

В условиях загрязнения почв углеводородами, а также при интенсивном ведении сельскохозяйственного производства часто возникает проблема восстановления плодородия земель.

Естественное восстановление плодородия почв при загрязнении нефтью происходит значительно дольше, чем при других техногенных загрязнениях. Попадая в почву, нефть увеличивает общее количество углерода. В составе гумуса возрастает нерастворимый остаток, что является одной из причин ухудшения плодородия. Это, в свою очередь, наносит ощутимый экономический ущерб земледелию [1].

Одним из наиболее эффективных и экономически выгодных методов восстановления почв является применение растений фитомелиорантов.

Растения и микроорганизмы могут совместно, либо отдельно очищать загрязненные нефтепродуктами почвы и грунтовые воды путем деструкции загрязняющих веществ, их перевода в недоступную для биоты форму.

Зеленые растения также используются для нейтрализации загрязненной материнской породы после применения гербицидов и специальных методов улучшения почвы.

По данным журнала «Сельскохозяйственная биология», список перспективных травянистых растений фитомелиорантов включает более 30 видов [2].

Из всего разнообразия растений фитомелиорантов применительно к лесостепной зоне Поволжья наиболее пригодными являются разновидности костреца, и овсяницы.

Также согласно инструкции РД 39-00147105-006-97, по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов, кострец и овсяница луговая рекомендованы в качестве основных культур при биорекультивации почвы [3].

Однако посев этих культур имеет определенные трудности, связанные с особенностью физико-механических свойств семян, которые обладают низкой сыпучестью, что относит их к категории трудновысеваемых.

Данную проблему не всегда способны решить не только обычные, но и специальные машины для посева несипучих семенных материалов (СЗТ-3.6, СО-4.2, и другие) из-за низкого качества распределения семян по площади поля.

Разработка пневматической сеялки для посева растений фитомелиорантов

На кафедре «Механика и инженерная графика» Самарской ГСХА разработана пневматическая сеялка для посева растений фитомелиорантов, оснащенная высевашей системой централизованного дозирования с дисково-штифтовым высевашим аппаратом [4, 5].

Технологическая схема процесса посева трудносипучих семян представлена на рис. 1-а.

Сеялка имеет ширину захвата 1,75 м и ширину междурядий 12,5 см, агрегируется с тракторами класса – 0,6.

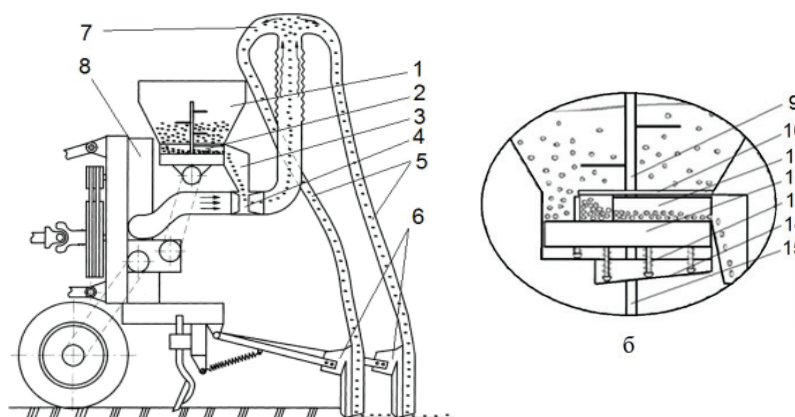


Рис. 1. Технологическая схема посева пневматической сеялки (а) с дисково-штифтовым высевашим аппаратом (б)

- 1 – бункер; 2 – высеваший аппарат; 3 – воронка семяпровода; 4 – эжектор; 5 – пневмосемяпроводы; 6 – сошники; 7 – распределитель; 8 – вентилятор; 9 – ворощитель; 10 – козырек; 11 – скребок; 12 – высеваший диск; 13 – подвижные штифты; 14 – направляющая шайба; 15 – приводной вал

Распределительная система включает цилиндрический распределитель с пневмосемяпроводами, эжекторное устройство и источник избыточного давления с приводом от вала отбора мощности трактора.

Норма посева (от 8 до 50 кг/га) устанавливается за счет изменения передаточного отношения в редукторе привода.

Основным технологическим элементом высевальной системы пневматической сеялки, обеспечивающим устойчивый процесс дозирования трудносыпучих посевных материалов, является высевной аппарат дисково-штифтового типа [4].

Высевной аппарат (рис. 1 а, б) состоит из семенного бункера 1, козырька 10 расположенного над скребком 11, высевного окна, высевного диска 12 с подвижными штифтами 13 связанного с приводным валом 15 и направляющей шайбы 14 в виде геликоида.

Процесс работы дисково-штифтового высевного аппарата осуществляется следующим образом: при вращении высевного диска 12, подвижные штифты 13, скользя нижним окончанием по поверхности направляющей шайбы 14, выдвигаются, выступая над поверхностью высевного диска 12, при этом они увлекают за собой семена, транспортируя их в подкозырьковую зону, где выделенные порции семян за счет сил внутреннего трения и трения о поверхность высевного диска движутся в направлении криволинейного скребка 11, а штифты под действием пружин возвращаются в исходное положение. Порции семян, движущиеся вдоль криволинейного скребка 11, образуют непрерывный семенной поток, после чего сбрасываются через высевное окно в воронку семяпровода 3. После прохождения штифтами скребка 11 рабочий цикл повторяется.

Оценка качества работы разработанной сеялки (рис. 2) проведена при посеве кострца прямого на площади 2 га на полях Поволжского НИИСС им. П.Н. Константинова. Результаты приведены в таблице.



Рис. 2. Общий вид пневматическая сеялка для посева растений фитомелиорантов

Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что предлагаемый дисково-штифтовый высевной аппарат обеспечивает равномерное распределение семян вдоль

Показатели	Эксп. сеялка	СЗТ-3,6
Коэффициент вариации интервалов между семенами вдоль рядка, %	68	111
Коэффициент вариации интервалов между растениями вдоль рядка, %	73,5	125
Глубина заделки семян, см.	34	1,56
Количество дней до получения полных всходов	10	12
Урожайность зеленой массы, ц/га	205	148

рядка, а пневмотранспортирующая система в совокупности с килевидными сошниками обеспечивает плотный контакт семян с почвой и равномерную глубину их заделки [6]. Такие благоприятные условия для прорастания и развития растений способствовали получению более дружных всходов, сохранению посевов и получению большего урожая зеленой массы.

Сравнительный анализ результатов агротехнической оценки пневматической сеялки с дисково-штифтовым высевальным аппаратом и серийной сеялки СЗТ-3,6 показал, что применение предлагаемой сеялки позволило получить более качественные посевы костреца прямого. Что делает целесообразным применение разработанной сеялки для посева костреца прямого и других труднораспространяемых культур с подобными физико-механическими свойствами их семян при проведении фитомелиоративных мероприятий.

Статья подготовлена в ФГБОУ ВО «Самарская ГСХА» в рамках выполнения НИР зарегистрированной в ФГАНУ «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти» Минобрнауки России. № государственной регистрации 01.201351670.

Список литературы

1. Восстановление земель после промышленных разработок. М.: Колос 1967. 143 с.
2. Буравцев В.Н. Современные технологические схемы фиторемедиации загрязненных почв / В.Н. Буравцев, Н.П. Крылова // Сельскохозяйственная биология. 2005. № 5. С. 67–73.
3. РД 39-00147105-006-97 Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов [Электронный ресурс]. Available at: <http://www.gosthelp.ru/text/RD390014710500697Instrukc.html>.
4. Патент 2288564 РФ: МПК А01С7/16. Высевальный аппарат / Крючин Н.П., Ларионов Ю.В., Петров А.М., Сафонов С.В. № 2005112647/12; заяв. 26.04.2005; опубл. 10.12.2006, Бюл. № 34.
5. Крючин Н.П. Пневматическая сеялка для посева труднораспространяемых семян фитомелиорантов / Н.П. Крючин, С.В. Сафонов // Экологическая культура: право, образование, просвещение: сборник научных трудов региональной научно-практической конференции. Самара: РИЦ СГСХА, 2008. С. 230–231.
6. Крючин, Н.П. Результаты экспериментальных исследований дисково-штифтового высевального аппарата / Н.П. Крючин, С.В. Сафонов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. Самара, 2007. Вып. 3. С. 36–37.

References

1. Land reclamation after industrial developments. Moscow. Kolos 1967. 143 p.
2. Buravtsev V.N. (2005) Modern technological schemes of phytoremediation of contaminated soils. Ed. V.N. Buravtsev, N.P. Krylova. Agricultural biology. 2005. No. 5, pp. 67–73.
3. RD 39-00147105-006-97 Manual for the reclamation of land disturbed and contaminated during emergency and major repair of pipelines [Electronic resource]. Available at: <http://www.gosthelp.ru/text/RD390014710500697Instrukc.html>.
4. Patent 2288564 of the Russian Federation: MPK A01C7/16. Sowing machine. Kryuchin N.P., Lariонов Y.V., Petrov A.M., Safonov S.V. No. 2005112647/12; stated. 26.04.2005; publ. As of 10.12.2006, bull. No. 34.
5. Kryuchin N.P. (2008) Pneumatic seeder for seeding of non-free-flowing seed phytomeliorants. Ed. N.P. Kryuchin, S.V. Safonov. Ecological culture: law, education, enlightenment: collection of scientific articles of regional scientific-practical conference. Samara: RIC SGSKHA, pp. 230–231.
6. Kryuchin N.P. (2007) The results of experimental studies of disc-pin sowing device. Ed. N.P. Kryuchin, S.V. Safonov. Bulletin of Samara state agricultural Academy. Samara, 2007. Vol. 3, pp. 36–37.

ЭКСТРАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ, ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В.А. Бабкин, зав. лаб. ФГБУН Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, проф., д-р хим. наук, babkin@irioch.irk.ru

Углубляющийся кризис органического сырья способствует привлечению внимания исследователей к использованию возобновляемых растительных ресурсов, к их глубокой переработке с целью получения максимального выхода полезных продуктов. Древесина является наиболее распространенным и непрерывно возобновляемым продуктом биосферы. Современные тенденции переработки древесины свидетельствуют о переходе в недалеком будущем на ее использование в качестве основного органического сырья для химической промышленности, включая производство полимеров, новых композиционных материалов, медицинских и ветеринарных препаратов и стимуляторов роста растений.

Ключевые слова: переработка древесины лиственницы, экстрактивные вещества древесины лиственницы, кризис органического сырья, возобновляемые продукты.

EXTRACTIVE SUBSTANCES OF LARCH WOOD: CHEMICAL COMPOSITION, BIOLOGICAL ACTIVITY AND PROSPECTS FOR PRACTICAL USE

V.A. Babkin, Head of Laboratory, A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, SB RAS, Professor, Ph.D. of Chemistry, babkin@irioch.irk.ru

The deepening crisis of organic raw materials helps to attract the attention of researchers to the use of renewable plant resources, to their deep processing in order to obtain the maximum yield of useful products. Wood is the most common and continuously renewed product of the biosphere. Current trends in the processing of wood indicate the transition in the near future to its use as the main organic raw material for the chemical industry, including the production of polymers, new composite materials, medical and veterinary drugs and plant growth stimulants.

Keywords: processing of Larch Wood, extractive substances of Larch Wood, crisis of organic raw materials, renewed product.

Россия располагает громадной площадью лесного фонда, где хвойные леса составляют половину мировых запасов и активно используются лесоперерабатывающей промышленностью. Особое место среди различных пород занимает лиственница — основная лесообразующая порода, которая ускоренными темпами вовлекается в промышленную переработку. Наиболее богаты лиственничными лесами республики Саха Якутия и Тыва, Иркутская область, Забайкальский и Красноярский края и почти все регионы Дальнего Востока.

Экономическое значение хвойных лесов должно определяться, в первую очередь, широким использованием древесины и коры, представляющих по ряду физических и химических свойств ценнейшие объекты для переработки. Однако в процессах заготовки древесины и ее механической переработки в пиломатериалы в нашей стране до сих пор допускаются громадные потери, как самой древесины, так и коры, которая вместе с древесиной ежегодно вывозится из леса в объемах более 45 млн³ и практически никак не используется.

Комплексная переработка лиственницы является одним из направлений био-рефайнинга древесины — глубокой переработки древесины с превращением ее основных компонентов в

товарные продукты с высокой добавленной стоимостью. Лесная Технологическая Платформа, в которую входит био-рефайнинг, является частью Технологической Платформы по биотехнологиям (Био-Тех 2030), отнесенной к приоритетным направлениям Комиссией по высоким технологиям при Правительстве РФ в апреле 2011 г.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день огромный потенциал глубокой химической переработки биомассы лиственницы не исчерпан и способен дать в будущем новые инновационные медицинские и ветеринарные препараты, стимуляторы роста растений, биологически активные добавки к пище и новые композиционные материалы.

К экстрактивным веществам древесины относят преимущественно низкомолекулярные вещества вторичного метаболизма, не входящие в состав клеточных стенок, иногда пропитывающие их, но, главным образом, содержащиеся в полостях клеток и в межклеточном пространстве.

Экстрактивные вещества — чрезвычайно разнообразная группа соединений со сложным строением, для которой, подчас, невозможно применить какую-либо универсальную классификацию. Они извлекаются из сырья нейтральными органическими растворителями и водой в отсутствие каких-либо активирующих добавок. По химической природе это вещества, представленные терпенами и их производными, смоляными кислотами, липидами, жирными кислотами, фитостеринами, полифенолами и танинами. К экстрактивным веществам можно отнести и некоторые высокомолекулярные соединения, например, водорастворимые полисахариды (камеди, пектины) или их комплексы с белками, которые легко извлекаются из сырья с помощью водной экстракции.

Практически все экстрактивные вещества обладают какой-либо биологической активностью, выполняют важные функции в жизнедеятельности древесного растения. В химии древесины их принято подразделять на группы по особенностям химического строения и физических свойств.

Существует много схем извлечения экстрактивных веществ из растительного сырья: последовательная экстракция растворителями с возрастающей полярностью, получение общего экстракта с последующим делением его на отдельные классы веществ и другие. Имея определенный практический опыт и предварительные знания по составу экстрактивных веществ древесины лиственницы, в соответствии с поставленной задачей выделения и исследования наиболее интересных в практическом плане экстрактивных веществ с полным сохранением их нативных характеристик, мы разработали наиболее приемлемую схему экстракции, включающую использование мягкого и пригодного для наших целей растворителя этилацетата. Схема экстракции представлена на рис 1.

Особенность химического состава живицы лиственницы заключается в том, что в ней, по сравнению с живицей сосны, содержится относительно небольшое содержание смоляных кислот. По этой причине из такой живицы практически невозможно производить канифоль. Вместе с тем в данной живице содержится довольно большое количество нейтральных дитерпеноидов — спиртов и углеводов.

Мы исследовали состав смолистых веществ.

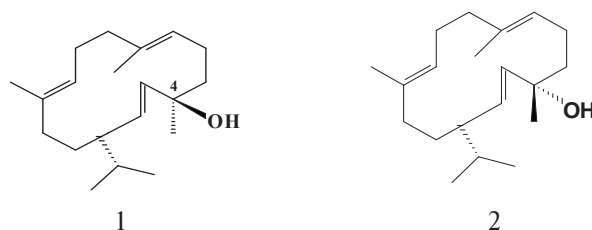
Этилацетатный экстракт смолистых веществ, выделенных из ядровой древесины, был разделен на твердую и жидкую смолу, из которых в свою очередь обработкой растворителями с возрастающей полярностью получены отдельные фракции. Следует заметить, что соотношение твердой и жидкой фракции смолы непостоянно и изменяется в зависимости от времени года заготовки сырья. При изучении динамики накопления экстрактивных веществ нами было установлено, что минимальное содержание экстрактивных веществ в древесине наблюдается в ноябре-декабре, возрастает к июлю, достигая максимума в августе (рис. 2). Наибольшее содержание жидкой смолы наблюдается в весенне-летний период.



Рис. 1. Схема экстракции древесины лиственницы

В нейтральной части смолистых веществ лиственницы впервые обнаружено неизвестное ранее для лиственницы diterпеновое соединение – изоцеброл, имеющее структуру 2 и обладающее свойствами гормонального регулятора роста растений [1]. Это необычное по структуре вещество характерно для кедра сибирского и способ его выделения из кедровой смолы (живицы) был защищен ранее авторским свидетельством СССР учеными Новосибирского института органической химии [2].

Изоцеброл, выделенный из смолы древесины лиственницы, представляет собой смесь двух соединений одинаковой химической структуры, различающихся только стереохимией при одном из углеродных атомов. Эти вещества тождественны друг другу по своей биологической активности и потребительским свойствам (изоцеброл и 4-эпиизоцеброл, формулы 1 и 2 соответственно).



Фракция твердых смолистых веществ, растворимых в хлороформе, также была разделена на кислую и нейтральную части.

В кислой части во фракции фенолкарбоновых кислот хроматографическими методами (ТСХ, БХ, ВЭЖХ) и сравнением с аутентичными образцами впервые идентифицированы ванилиновая и феруловая кислоты. Следует заметить, что в ядровой части древесины обнаружены только два представителя фенолкарбоновых кислот, в то время как в коре того же вида лиственницы отмечено присутствие 7 оксбензойных кислот и 3 гидроксикоричных [3].

Из нейтральной части смолы выделена фракция лигнанных соединений, состоящая из четырех индивидуальных представителей: конидендрин, пинорезинол, ларицирезинол и секоизоларицирезинол. Среди лигнанных соединений количественно преобладают ларицирезинол и секоизоларицирезинол.

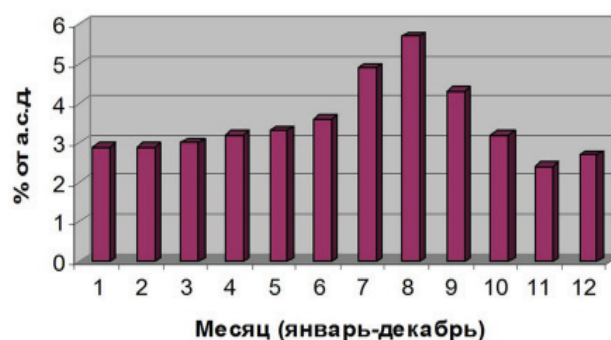
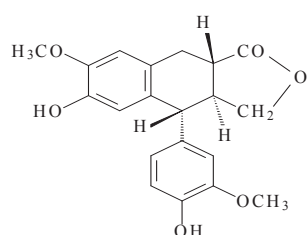


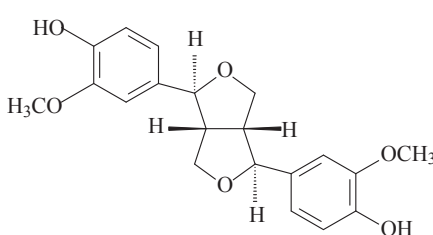
Рис. 2. Динамика содержания экстрактивных веществ в древесине лиственницы

Следует отметить, что выделенные из древесины фенолокислоты и все лигнанные соединения имеют одинаковый гваяцильный тип замещения ароматического фрагмента, это позволяет предположить, что названные выше фенолокислоты являются генетическими предшественниками лигнанов [4].

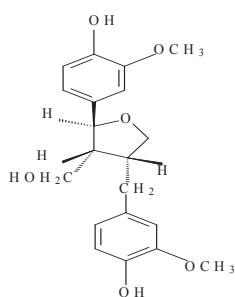
Наличие лигнанных соединений в смолистой фракции древесины лиственницы тем более интересно, что по последним литературным данным большинство лигнанов — мощные антиоксиданты, со степенью воздействия такой же силы, или даже сильнее, чем обладает большинство флавоноидов.



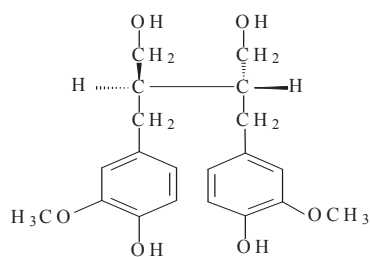
(-)-Конидендрин



(+)-Пинорезинол



(+)-Ларицирезинол



(-)-Секоизоларицирезинол

В институте цитологии и генетики СО РАН была установлена биологическая активность смолы лиственницы: смола обладает не только ростовыми свойствами, но и положительно влияет на силу и рост корневой системы растений [5]. Этот факт позволил разработать на основе лиственничной смолы препарат для роста и защиты растений Лариксин.

Фенольные соединения содержатся во всех органах растения. До сих пор не решен вопрос образуются ли они в отдельных тканях или местом их синтеза являются активно мета-

болизирующие ткани — заболонь, луб, хвоя, откуда они транспортируются в другие части растений. Поэтому представляет интерес сравнительный состав фенольных экстрактивных веществ различных тканей лиственницы. Между фенольными соединениями хвои, ядровой древесины и коры лиственницы имеются существенные различия (табл. 1, 2) и выражаются они в том, что для хвои характерно наличие гликозидированных форм флавоноидов, а для древесины флаванолов в виде агликонов.

Флавоноидные соединения коры представлены гидрированными и гликозидированными флавонолами, но гликозидирование их осуществляется преимущественно арабинозой.

Показанные выше различия в химическом составе фенольных соединений коры, хвои и древесины согласуются с точкой зрения о вероятности синтеза биофлавоноидных соединений в каждом органе *in situ*, а не только в фотосинтезирующих тканях.

Таблица 1

Флавоноиды в различных органах лиственницы [6]

Соединение	Хвоя	Кора	Древесина
<u>Флавоноиды:</u>			
Кемпферол	+	+	+
Кверцетин	+	+	+
Изорамнетин	+	—	—
Мирицетин	+	—	—
Нарингенин	—	+	+
Эриодиктиол	—	+	+
Дигидрокверцетин	—	+	+
Дигидрокемпферол	—	+	+
Пиноцембрин	—	—	+
<u>Гликозиды флавоноидов:</u>			
Кемпферол-3-глюкопиранозид	+	—	—
Кверцетин-3- глюкопиранозид	+	—	—
Кверцетин-3-рамнофуранозид	—	+	—
Кверцетин-3-арабопиранозид	—	+	—
Кверцетин-3-арабофуранозид	—	+	—
Изорамнетин-3—глюкопиранозид	+	—	—
Мирицетин-3- глюкопиранозид	+	—	—
Ларицитрин-3- глюкопиранозид	+	—	—

Флавоноиды

Арилбензо-[b]-пираны — флавоноиды одна из самых многочисленных и широко распространенных групп природных соединений, привлекающих внимание, особенно в последние годы, из-за их необычайно широкого спектра биологической активности. Основным компонентом флавоноидной фракции из древесины лиственниц *L. sibirica* и *L. gmelinii* является (+)-дигидрокверцетин (синоним таксифолин), (2,3-дигидро-3,5,7-тригидрокси-2-(3,4-дигидрокси-фенил)-4Н-1-бензопиран-4-он), который относится к довольно ограниченной по числу представителей группы флаванолов.

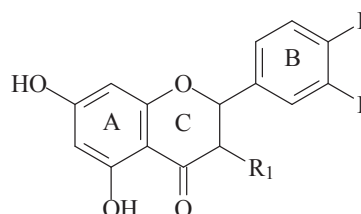
Впервые дигидрокверцетин (ДКВ) был выделен из ядровой древесины дугласовой пихты (*Douglas fir*), а также из ее коры [7, 8].

Таблица 2

Фенолокислоты и лигнаны в различных органах лиственницы [6]

Фенолокислоты	Хвоя	Кора	Древесина
<i>оксibenзойные</i>			
<i>n</i> -Оксибензойная	+	+	
Протокатеховая	—	+	
Ванилиновая	+	+	+
Сиреневой	+	+	—
<i>гидроксикоричные</i>			
<i>n</i> -Кумаровая (цис-, транс-)	+	+	
Феруловая (цис-, транс-)		+	+
Кофейная		+	
Лигнаны			
Секоизоларипрезинол	+	—	+
3,4-Диванилитетрагидрофуран	—	—	+
Конидендрин	+	—	+
Пинорезинол	+	—	+
Ларипрезинол	+	—	+
Изоларипрезинол	+	—	+

В роду *Larix* дигидрокверцетин был выделен из лиственницы японской (*L. leptolepis*) и описан в литературе под названием дистилин, однако, как оказалось позже, речь шла о сумме двух флавоноидов — дигидрокверцетина и дигидрокемпферола (ДКМ).



$R_1=R_2=R_3=OH$ - ДКВ

$R_1=R_3=OH$, $R_2=H$ - ДКМ

$R_1=R_2=H$, $R_3=OH$ - нарингенин

$R_1=H$, $R_3=R_2=OH$ - эриодиктиол

Эти два соединения являются основными флавоноидными соединениями рода *Larix*. В последующем их совместное присутствие было показано для ядровой древесины *L. decidua*, *L. kaempferi*, *L. sinshu*, *L. korean*, *L. kurilian*, произрастающих в Японии, *L. occidentalis*, *L. decidua* и *L. leptolepis* из Новой Зеландии, *L. laricina* и *L. lyalii* из Канады, *L. sibirica*, *L. sukaczewii*, *L. dahurica*, растущих в Восточной Сибири. Таким образом, присутствие этих двух флавоноидов в древесине лиственницы можно считать хемотаксономическим признаком рода *Larix* [9]. Что касается количественного содержания флавоноидов в суммарной фракции, то показано, что их соотношение различно от вида к виду. Из ядровой древесины *L. decidua* суммарный выход ДКВ и ДКМ составляет 0,7 % от древесины, при этом содержание ДКВ в 4 раза меньше, чем ДКМ. В этом же виде лиственницы, произрастающей в Новой Зеландии, соотношение этих двух флавоноидов почти одинаковое — 5:6. Во всех лиственницах, произрастающих в Сибири и на Дальнем Востоке, в ядровой древесине доминирует ДКВ, а количество ДКМ в 7–10 раз меньше по сравнению с ДКВ.

Ранее в составе флавоноидной фракции экстракта древесины лиственницы даурской Н.А. Тюкавкина с соавт. показывают содержание ДКВ, ДКМ, кверцетина и кемпферола, с

существенным преобладанием ДКВ (85 % и более от суммарной флавоноидной фракции) [9]. Отмечено также присутствие в следовых количествах пиностробина, пиноцембина и пинобанксина. В наших исследованиях помимо ДКВ и ДКМ, в суммарном экстракте флавоноидов из древесины отмечаются в небольших количествах эриодиктиол, нарингенин, в минорных количествах кверцетин, кемпферол и пиноцембрин; содержание ДКВ в экстракте также преобладающее (более 80 %). Такое распределение компонентов флавоноидной фракции наблюдается только для лиственниц сибирских пород – сибирской и Гмелина (рис. 3).

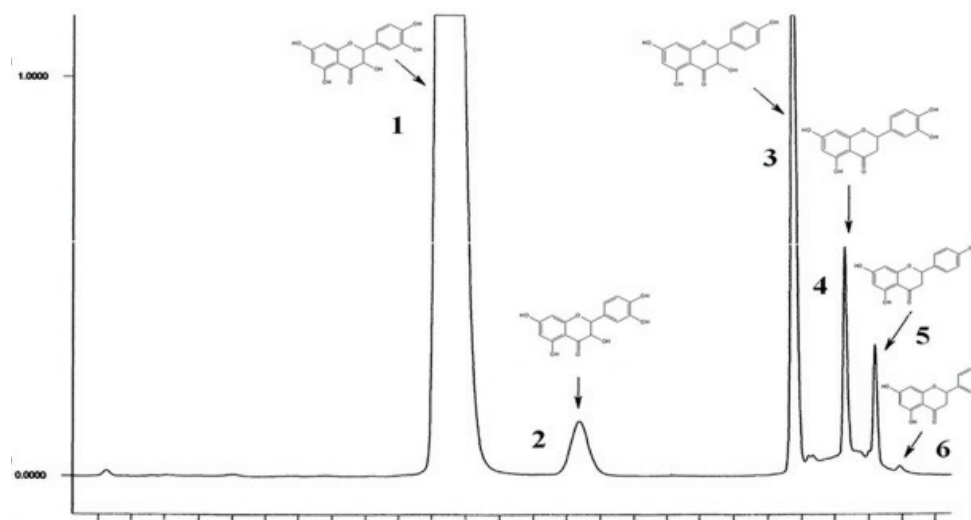


Рис. 3. ВЭЖХ флавоноидов древесины лиственницы ($\lambda = 290$ нм)

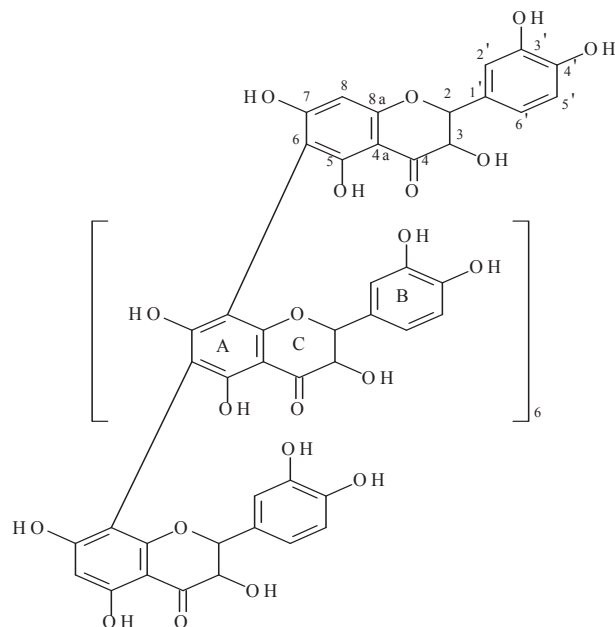
1 – транс-ДКВ; 2 – цис-ДКВ; 3 – дигидрокемпферол; 4 – эриодиктиол;
5 – нарингенин; 6 – пиноцембрин

ДКВ и его гликозиды встречаются в растениях различных семейств достаточно часто, но его содержание не бывает высоким, составляя лишь десятые доли процента. Содержание ДКВ в древесине лиственниц сибирской и Гмелина может достигать 4,5 % от веса абсолютно сухой древесины (а.с.д.), что является достаточно хорошим показателем. Таким образом, благодаря высокому содержанию ДКВ в древесине лиственницы, количественному соотношению флавоноидов с преобладанием ДКВ и обширной сырьевой базе, именно эти два вида лиственниц явились потенциальным источником промышленного получения ДКВ.

Экстракция ДКВ из древесины лиственницы сопровождается выделением олигомерного соединения. Анализ УФ, ИК спектров и сопоставление значений химических сдвигов (ХС) атомов углерода в спектрах ^{13}C ЯМР выделенного олигомера, ДКВ и его ацетатных производных, показали их значительное сходство за исключением небольшого диамагнитного сдвига за счет полимеризации ~ 1 м.д. в спектре олигомерного продукта. ВЭЖХ анализ выявил различия в процессе их хроматографического распределения по колонке с обращенной фазой сепарон C_{18} – время удерживания (ВУ) олигомера почти в 4 раза больше ВУ ДКВ. Это позволило предположить олигомерный характер исследуемого соединения, мономерной единицей которого является ДКВ.

В литературе отсутствуют данные о подобных соединениях с количеством структурных флавонольных единиц более 6–8, тогда как представителей димерных фенольных соединений, образованных флавонами, флаванонами и флаванонолами описано более 80. Установ-

ление местоположения межфлавановой связи в олигомере ДКВ проведено на основании данных ^{13}C ЯМР спектроскопии [10]. Установлено, что олигомер состоит из 8 мономерных звеньев ДКВ, соединенных межфлавановой связью С6–С8. Предложена следующая структура.



Арабиногалактан

Благодаря богатому содержанию в растительном сырье и уникальным свойствам водорастворимый полисахарид арабиногалактан (АГ) занимает особое место среди природных полисахаридов. АГ лиственницы составляет значительную часть компонентов древесины. Так, ядровая древесина некоторых видов лиственницы содержит до 35 % АГ. Систематические исследования этого чрезвычайно ценного продукта ведутся с середины прошлого века, и основные результаты этих исследований отражены в ряде обзоров зарубежных и отечественных авторов [11–13].

Строение арабиногалактанов, выделенных из различных растительных объектов, подробно изучено во второй половине XX в. В последние годы значительно активизировались исследования биологической активности АГ, а также влияния структурных элементов его макромолекул на проявляемые им биологические свойства [12].

Древесина двух видов лиственницы — сибирской и Гмелина, произрастающих в Сибири, содержит до 15 % АГ [16].

Макромолекула АГ из древесины лиственницы имеет высоко разветвленное строение, главная цепь ее состоит из звеньев галактозы, соединенных гликозидными связями β -(1Г3), а боковые цепи со связями β -(1Г6) — из звеньев галактозы и арабинозы, из единичных звеньев арабинозы, а также уроновых кислот, в основном глюкуроновой (рис. 4). Соотношение звеньев галактозы и арабинозы, а также молекулярная масса (м.м.) АГ могут колебаться не только в зависимости от вида лиственницы, но и в пределах одного вида. Состав макромолекул АГ варьирует также в зависимости от условий его выделения из древесины и молекулярной массы [11].

Свойства АГ во многом определяются молекулярной массой его макромолекул. Имеющиеся в литературе данные о молекулярных массах АГ западной лиственницы, произрастающей на севере Американского континента, весьма противоречивы. Определения м.м. различными методами дают результаты, отличающиеся в 2 и более раз [17].

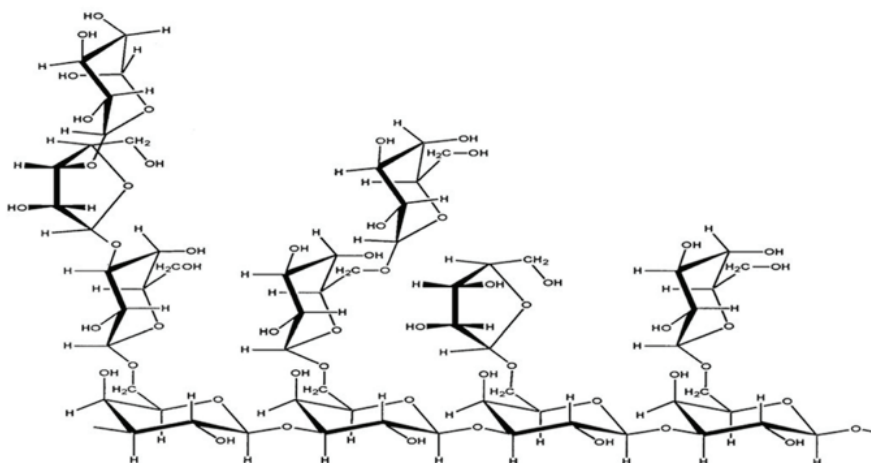


Рис. 4. Фрагмент молекулы арабиногалактана

Столь существенные различия позволили предположить, что макромолекулы АГ существуют в очень компактной, вероятно, сферической форме. В пользу этого свидетельствуют и аномально низкие значения вязкости водных растворов АГ. При использовании гельпроницающей хроматографии (ГПХ) полученные значения м.м. зависят от выбора элюента. Вероятно, это обусловлено образованием ассоциатов и проявлением полиэлектролитного эффекта. Методами ГПХ и спектроскопии ЯМР подтверждено образование ассоциатов и установлен его обратимый характер, при этом степень диссоциации зависит от содержания в макромолекулах АГ звеньев уроновых кислот. Для разрушения ассоциатов и подавления полиэлектролитного эффекта в качестве элюентов при использовании метода ГПХ предложены смеси растворов электролитов [14].

Фракционированием АГ, выделяемого из западной лиственницы установлено, что его м.м. варьирует в пределах от 3000 до 93000 с преобладанием высокомолекулярных фракций [17]. Тот факт, что фракции АГ с различной м.м. имеют близкие значения характеристической вязкости, свидетельствует о большей разветвленности макромолекул с более высокой молекулярной массой. АГ лиственницы сибирской отличается от АГ из других источников тем, что обладает невысокой молекулярной массой (средняя м.м. 9000–15000) и небольшой степенью полидисперсности (1,9–2,3) (рис. 5).

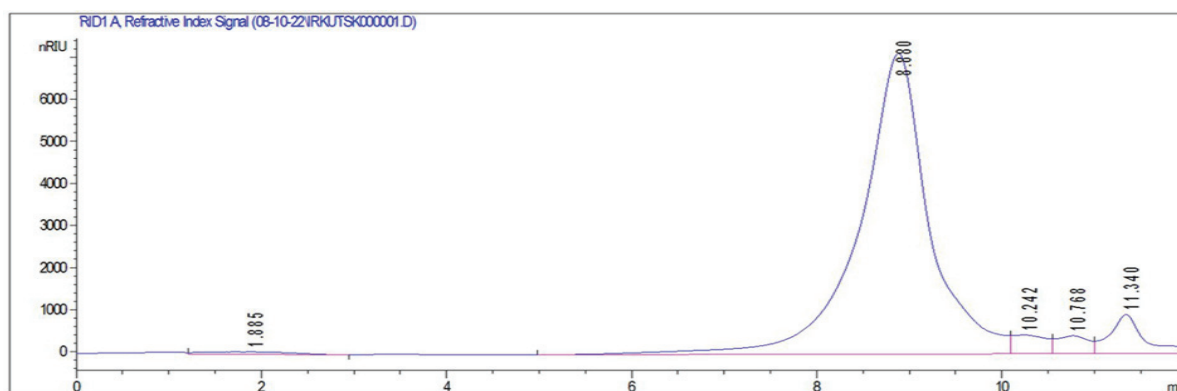


Рис. 5. ВЭЖ хроматограмма (ГПХ) образца арабиногалактана из древесины лиственницы сибирской

Состав углеводной фракции водорастворимых веществ и средние молекулярные массы (ММ) арабиногалактана определены методом ВЭЖХ с помощью хроматографической системы Agilent 1260 на колонке PL aquagel-ОН-40 8 μm , 300 $\times$ 7,5 mm, откалиброванной по растворам стандартов-декстранов с молекулярной массой 25, 12, 5 кДа и D-галактозы. Спектры регистрировали на рефрактометрическом детекторе. Элюент 0,1 М раствор LiNO_3 . Степень полидисперсности макромолекул полисахарида определяли как соотношение средне-массовой и среднечисловой ММ (M_w/M_n) [18].

Дигидрокверцетин

Для решения задачи выделения ДКВ в промышленном масштабе мы предложили принципиально новый способ выделения ДКВ из измельченной ядровой древесины лиственницы, основанный на совмещении процессов дистилляции и жидкостной экстракции с применением бинарной системы несмешивающихся жидкостей [19]. В качестве нерастворимого в воде растворителя был выбран этилацетат. Данный способ позволяет в одну стадию отделить флавоноиды от смолистых веществ и других примесей из этилацетатного экстракта с одновременной регенерацией растворителя. Предлагаемый способ извлечения ДКВ отличается от существующих высокими технологическими и экономическими показателями. Степень извлечения дигидрокверцетина достигает 9–95 % от содержания в исходном сырье. Потери растворителя составляют не более 1%. Все извлекаемые экстрактивные вещества сохраняют свои нативные свойства и обладают высокой биологической активностью.

В качестве сырья используют измельченную комлевую часть ствола лиственницы, наиболее богатую экстрактивными веществами. Экстракцию проводят в аппарате периодического действия с непрерывной циркуляцией экстрагента. В процессе отгонки растворителя в выпарной аппарат добавляют воду для получения бинарной смеси несмешивающихся жидкостей. После завершения отгонки этилацетата ДКВ, растворимый в горячей воде, переходит в водный слой, а нерастворимые в воде примеси легко отделяются от воды. При охлаждении водного слоя выпадает сырой продукт, содержащий 80–85 % дигидрокверцетина, для окончательной очистки которого требуется только стадия перекристаллизации. Перекристаллизацией сырья из горячей воды получают продукт, представляющий собой флавоноидный комплекс с содержанием дигидрокверцетина 90–94 %.

Созданная на основе этого способа технология экономична, проста в реализации и позволяет получать ДКВ с высокой степенью чистоты и хорошим выходом. Экономическая оценка целесообразности организации промышленного производства ДКВ показала его высокую рентабельность. Подготовлен пакет технической документации: технические условия на сырье, на субстанцию ДКВ и на ДКВ-стандартный образец (СО), разработан пусковой технологический регламент на производство ДКВ.

Полученный в промышленном масштабе дигидрокверцетин представляет собой белый с кремовым оттенком кристаллический порошок с т.пл. 220–226 °С. Стандартизация и доказательство подлинности ДКВ проведены с применением ряда спектральных методов. Анализ спектров УФ, ПМР наряду с подлинностью подтверждают и высокую степень чистоты ДКВ.

Установленные спектральные характеристики приведены в разработанной нами нормативной документации на государственный стандартный образец ДКВ и субстанцию Дигидрокверцетин (Фармакопейная статья, Технические условия).

Для аналитического контроля за ходом выделения и чистотой ДКВ разработаны и предложены методы с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Методики оптимизированы по выбору сорбента, составу подвижной фазы, аналитической длине волны детектирования и другим инструментальным показателям.

Технология получения ДКВ успешно совмещена с производством АГ. В процессе отгонки растворителя остается большое количество водного экстракта, содержащего извлеченный из древесины арабиногалактан. Этот процесс также выгодно отличается высокими техноло-

гическими и экономическими показателями, позволяет получать водный экстракт АГ с концентрацией сухих веществ 15–16 % с содержанием в них АГ до 95 %. [20]

Для успешного применения АГ в пищевой и фармацевтической промышленности требуются очищенные концентрированные растворы или сухой продукт высокой степени чистоты. Предложенные ранее в России и за рубежом способы очистки растворов АГ и выделения сухого продукта имеют существенные недостатки (использование ClO_2 , полиамидных сорбентов, большие объемы растворителей).

Наиболее перспективным способом очистки водных экстрактов АГ является флокуляция с применением промышленных флокулянтов (синтетических высокомолекулярных водорастворимых полимеров). Этот метод является простым и высокоэффективным. Перспективным является сочетание способов флокуляции и ультрафильтрации. Флокуляция позволяет очистить экстракты от коллоидных и грубодисперсных примесей. Дальнейшая ультрафильтрация с применением мембран позволяет очистить растворы от фенольных примесей и сконцентрировать их до содержания АГ 40 %. Сушкой концентрированных растворов можно получить готовый продукт высокой степени чистоты [20].

В основу технологии положены глубокие теоретические и экспериментальные исследования. Задачи по исследованию процесса экстракции древесины лиственницы двухфазной системой растворителей являются фундаментальными в области химии древесины. Это направление исследований предполагает изучение кинетики процесса извлечения экстрактивных веществ из биомассы лиственницы, определение коэффициентов диффузии и массопередачи, исследование физико-химических характеристик процесса переноса, его природы и механизма при извлечении экстрактивных веществ из биомассы дерева.

Биологическая активность арабиногалактана и дигидрокверцетина

Арабиногалактан употребляется людьми тысячи лет. Он содержится в различных овощах, а также в лекарственных травах. Огромным коммерческим источником этого хорошо развитого высокомолекулярного полисахарида признаны североамериканские виды лиственницы *Larix laricina* и *Larix Occidentalis* [12].

Природный полисахарид арабиногалактан (АГ), производимый из древесины лиственницы сибирской и лиственницы Гмелина повышает защитные функции организма и обладает свойствами пребиотического растворимого волокна. АГ, кроме того, является превосходным источником растворимой клетчатки, способствующей поддержанию здорового состояния кишечника. Эта клетчатка увеличивает рост благотворных бактерий, таких как бифидобактерии и лактобактерии, и снижает рост болезнетворных. Потенциал применения АГ в фармакологии постоянно расширяется.

Недавно опубликованы данные иммуномодулирующих эффектов арабиногалактана, полученного из североамериканских видов *Larix*, отмечена его роль в устойчивости к простудным инфекциям. Простуда — это вирусная инфекция, которая имеет важное экономическое бремя во всем мире. Исследования и разработка средств для снижения частоты и тяжести простудных заболеваний сегодня является основным предметом интереса фармации. Клиническое исследование показало, что АГ увеличивает потенциал организма для защиты от простуды, уменьшая частоту возникновения эпизодов болезни на 23%. [12]

Арабиногалактан является перспективным синтоном, способным вступать в реакции с моно- и бифункциональными реагентами. Это открывает путь к получению новых промышленно доступных водорастворимых препаратов. Их свойства определяются как свойствами самого полисахарида, так и введенных функциональных групп. Продукты химического модифицирования АГ представляют значительный интерес как для медицины, так и для различных других отраслей народного хозяйства. Работы по модификации арабиногалактанов показывают перспективность этого направления [21].

Полимерная природа арабиногалактана, водорастворимость, проницаемость через клеточные мембраны организма может существенно расширить фармакокинетические возмож-

ности иммобилизованных на его матрице лекарственных средств – повысить биодоступность, изменить распределение в организме, пролонгировать действие и увеличить их избирательность, а также в ряде случаев уменьшить токсичность. При этом может наблюдаться усиление терапевтического действия фармакона. Это предопределяет новый путь развития химии АГ, связанный с синтезом на его основе физиологически активных соединений.

Дигидрокверцетин – биофлавоноид, наиболее мощный природный антиоксидант. Его антирадикальная активность проявляется при концентрации 10^{-4} – 10^{-5} М при полном отсутствии мутагенной активности для человека. Дигидрокверцетин связывает свободные радикалы, выделяемые при активации воспалительной реакции, и лишает их вредоносной активности в тканях организма. Кроме того, он оказывает противовоспалительное, мембраностабилизирующее и, как следствие, – противоотечное действие (локализует очаг воспаления, препятствует распространению возбудителей и нивелирует их влияние на центр терморегуляции).

Разработанный ООО ИНПФ «Химия древесины» медицинский препарат Диквертин (МНН дигидрокверцетин) разрешен Приказом Минздравмедпрома № 302 от 29.07.1996 г. к медицинскому применению как антиоксидантное и противовирусное средство.

На основе АГ и ДКВ создан ряд комплексных препаратов (БАД Ардиксин, Араглин Д и др.), сочетающих уникальные свойства этих двух природных биологически активных веществ.

Список литературы

1. Остроухова Л.А. Исследование химического состава смолы древесины лиственницы / В.А. Ралдугин, В.А. Бабкин, Н.А. Онучина, А.А. Левчук // Химия растительного сырья, 2011, № 4, с. 83–87.
2. Ралдугин В.А. Цембрановые спирты – новый тип гормональных ингибиторов роста растений / В.А. Ралдугин, В.Е. Козлов, В.М. Чекуров и др. // Химия природных соединений. 1981, с. 733–738.
3. Лаптева К.И. Некоторые экстрактивные фенольные вещества коры лиственницы / Лаптева К.И., Тюкавкина Н.А., Остроухова Л.А. // Известия СО АН СССР. 1974. Вып. 4. С. 161–163.
4. Иванова Н.В. Комплекс мономерных фенольных соединений коры лиственницы / Иванова Н.В., Остроухова Л.А., Бабкин В.А., Иванова С.З., Попова О.А. // Химия растительного сырья, 1999, вып. 4, с. 5–7.
5. Новый комплекс биологически активных веществ из коры лиственницы – Пикнолар / Патент 2252028 РФ. Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Малков Ю.А., Иванова С.З., Иванова Н.В., Бабкин Д.В., Толстикова Т.Г., Сорокина И.В., Долгих М.П., Толстиков Г.А. // Заявлено 27.08.2004; опубликовано: 20.05.2005 БИ № 14. 2005.
6. Бабкин В.А. Биомасса лиственницы: от химического состава до инновационных продуктов / Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Трофимова Н.Н // Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2011, 235 с.
7. Pew J.A. Flavanone from Douglas-fir heartwood / Pew J. // J. Am. Chem. Soc. 1948. V. 70. Pp. 3031–3034.
8. Kurth E.F., Chan F.L. Extraction of tannin and dihydroquercetin from Douglas-fir bark / Kurth E.F., Chan F.L. // J. Amer. Leather Chem. Assoc. 1953. V. 48. No. 1. Pp. 20–32.
9. Тюкавкина Н.А. Фенольные экстрактивные вещества рода *Larix* / Тюкавкина Н.А., Лаптева К.И., Медведева С.А. // Химия древесины. 1973. № 13. С. 3–17.
10. Иванова С.З. Полимер дигидрокверцетина из древесины лиственницы / Иванова С.З., Федорова Т.Е., Остроухова Л.А., Федоров С.В., Онучина Н.А., Бабкин В.А. // Химия растительного сырья, № 4, 2001, с. 21–24.
11. Медведева Е.Н. Арабиногалактан лиственницы – свойства и перспективы использования / Медведева Е.Н., Бабкин В.А., Остроухова Л.А. // Химия растительного сырья. 2003. No. 1. С. 27–37.
12. Carine Dion Does larch arabinogalactan enhance immune function? A review of mechanistic and clinical trials / Carine Dion, Eric Chappuis, Christophe Ripoll // Nutrition & Metabolism (2016) 13:28. DOI 10.1186/s12986-016-0086-x.
13. D'Adamo P. Larch arabinogalactan. Ed. D'Adamo P. // J Naturopath Med 1996; pp: 33–37.

14. Larch Arabinogalactan /Alternative Medicine Review // Vol. 5, No. 5, 2000. Pp. 463–466.
15. Бабкин В.А. Биологически активные экстрактивные вещества из древесины лиственницы / Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Малков Ю.А., Иванова С.З., Онучина Н.А., Бабкин Д.В. // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. Т. 9. No. 3, с. 363–367.
16. Бабкин В.А. Продукты глубокой химической переработки биомассы лиственницы. Технология получения и перспективы использования / Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Иванова С.З., Иванова Н.В., Медведева Е.Н., Малков Ю.А., Трофимова Н.Н., Федорова Т.Е. // Российский химический журнал, том XLVIII, № 3, 2004, с. 62–69.
17. Джеймс Х. Прескотт. Арабиногалактан из лиственницы для печеночной доставки лекарственных средств: выделение и исследование фрагмента арабиногалактана 9 кД. / Джеймс Х. Прескотт, Филип Энрикез, Чу Джунг, Эдвард Менц, Эрнест В. Громан // Корпорация «Эдванст Магнетикс», 61 Муни стрит, Кембридж, Массачусетс 02138, США.
18. Neverova N.A. Distribution of Extractive Substances in Wood of the Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) / N.A. Neverova, A.A. Levchuk, L.A. Ostroukhova, E.N. Medvedeva, N.A. Onuchina, V.A. Babkin // Russian Journal of Bioorganic Chemistry, 2013, Vol. 39, No. 7, pp. 712–719.
19. Способ получения диквертина / Патент 2246301 РФ // Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Бабкин Д.В. // заявлено 14.07.2003; опубликовано: 20.02.2005. Бюл. № 5. 2005.
20. Способ получения арабиногалактана / Патент 2 454 429РФ Малков Ю.А., Медведева Е.Н., Бабкин В.А. // Заявлено 10.02.2012. Бюл. № 4. публ. 27.06.2012. Бюл. № 18.
21. Медведева Е.Н. Механокомпози́ты на основе биологически активных веществ древесины лиственницы / Е.Н. Медведева, Н.А. Неверова, Л.А. Остроухова, В.А. Бабкин, С.А. Гуськов, А.В. Душкин, Е.С. Метелева // Химия природных соединений, Vol. 46, No. 2, 2010, с. 212–215.

References

1. Ostroukhova L.A. (2011) Investigation of the chemical composition of larch wood resin [Text]. Ed. V.A. Raldugin, V.A. Babkin, N.A. Onuchina, A.A. Levchuk. Chemistry of Plant Raw Materials, No. 4, pp. 83–87.
2. Raldugin V.A. (1981) Ambronay alcohols – a new type of hormonal plant growth inhibitors. Ed. V.A. Raldugin, V.E. Kozlov, V.M. Chekurov et al., Chemistry of Natural Compounds, pp. 733–738.
3. Lapteva K.I. (1974) Some Extractive Phenolic Substances of the Larch Cortex [Text]. Lapteva K.I., Tyukavkina N.A., Ostroukhova L.A. Izvestiya SO AN USSR. No. 4, pp. 161–163.
4. Ivanova N.V. (1999) Complex of monomeric phenolic compounds of the larch cortex [Text]. Ed. Ivanova N.V., Ostroukhova L.A., Babkin V.A., Ivanova S.Z., Popova O.A. Chemistry of vegetative raw materials. Issue 4, pp. 5–7.
5. A new complex of biologically active substances from the larch cortex – Picnolar [Text]. Patent 2252028 RF. Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Malkov Y.A., Ivanova S.Z., Ivanova N.V., Babkin D.V., Tolstikova T.G., Sorokina I.V., Dolgikh M.P., Tolstikov G.A. Claimed on 27.08.2004; Published on: 05.20.2005 BI # 14. 2005.
6. Babkin V.A. (2011) Larch biomass: from chemical composition to innovative products. Monograph. Ed. Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Trofimova N.N. Novosibirsk, SB RAS Publishing House, 235 p.
7. Pew J. (1948) A flavanone from Douglas-fir heartwood. Pew J.J. Am. Chem. Soc. Vol. 70. Pp. 3031–3034.
8. Kurth E.F., Chan F.L. (1953) Extraction of tannin and dihydroquercetin from Douglas-fir bark. Ed. Kurth E.F., Chan F.L. J. Amer. Leather Chem. Assoc. Vol. 48. No. 1. Pp. 20–32.
9. Tyukavkina N.A. (1973) Phenolic extractive substances of *Larix* genus. Ed. Tyukavkina N.A., Lapteva K.I., Medvedeva S.A. Chemistry of wood. No. 13. Pp. 3–17.
10. Ivanova S.Z. (2001) Polymer dihydroquercetin from larch wood. Ed. Ivanova S.Z., Fedorova T.E., Ostroukhova L.A., Fedorov S.V., Onuchina N.A., Babkin V.A. Chemistry of vegetative raw materials, No. 4, pp. 21–24.
11. Medvedeva E.N. (2003) Larch Arabinogalactan – properties and prospects of use. Ed. Medvedeva E.N., Babkin V.A., Ostroukhova L.A. Chemistry of vegetative raw materials – 2003. No. 1. pp. 27–37.

12. Dion C. (2016) Does larch arabinogalactan enhance immune function? A review of the mechanistic and clinical trials. Carine Dion, Eric Chappuis, Christophe Ripoll. *Nutrition & Metabolism*. DOI 10.1186/s12986-016-0086-x.
13. D'Adamo P. (1996) Larch arabinogalactan. D'Adamo P. *J Naturopath Med*; 6, pp. 33–37.
14. Larch Arabinogalactan. *Alternative Medicine Review*. Vol. 5, No. 5, 2000. Pp. 463–466.
15. Babkin V.A. (2001) Biologically active extractives from larch wood. Ed. Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Malkov Y.A., Ivanova S.Z., Onuchina N.A., Babkin D.V. *Chemistry for sustainable development* – 2001. T. 9. No. 3, pp. 363–367.
16. Babkin V.A. (2004) Products of deep chemical processing of larch biomass. Production technology and prospects of use. Ed. Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Ivanova S.Z., Ivanova N.V., Medvedeva E.N., Malkov Y.A., Trofimova N.N., Fedorova T.E. *Russian Chemical Journal*, vol. XLVIII, No. 3, pp. 62–69.
17. Prescott J.H. Larch Arabinogalactan for hepatic drug delivery: isolation and study of 9 kD arabinogalactan fragment. Ed. J.H. Prescott, P. Henriquez, C. Jung, E. Menz, E.W. Groman. Edvast Magnetics Corporation, 61 Muni Street, Cambridge, Mass. 02138, USA.
18. Neverova N.A. (2013) Distribution of Extractive Substances in the Wood of the Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) N.A. Neverova, A.A. Levchuk, L.A. Ostroukhova, E.N. Medvedeva, N.A. Onuchina, V.A. Babkin. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, Vol. 39, No. 7, pp. 712–719.
19. The method of Diquertin obtaining. Patent 2246301 RF. Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Babkin D.V. Claimed on July 14, 2003; Published on: 20.02.2005 Bul. № 5. 2005.
20. Method for the preparation of arabinogalactan. Patent 2 454 429RF Malkov Y.A., Medvedeva E.N., Babkin V.A. Declared 10.02.2012 Byul. № 4. pub. 06.27.2012 Byul. No. 18.
21. Medvedev E.N. (2010) Mechanocomposites based on biologically active substances of larch wood. Ed. E.N. Medvedeva, N.A. Neverova, L.A. Ostroukhova, V.A. Babkin, S.A. Guskov, A.V. Dushkin, E.S. Meteleva. *Chemistry of Natural Compounds*, Vol. 46, No. 2, pp. 212–215.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОТОТЕРАПИИ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ДЛИТЕЛЬНО НЕЗАЖИВАЮЩИХ РАН

И.Г. Моторина, вед. науч. сотр. ГБУД-ПО Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования, канд. мед. наук, доцент, o_motorin@mail.ru
М.М. Расулов, нач. отд. ГНИИХТЭОС, д-р мед. наук, проф. maksud@bk.ru
В.М. Гукасов, гл. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, д-р биол. наук, v_m_gukasov@mail.ru
Л.Л. Мякинкова, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. биол. наук, llm@extech.ru

Представлены материалы многолетних исследований эффективности приемов фототерапии длительно незаживающих ран различной этиологии поляризованным светом, лазерным излучением (красного и инфракрасного спектра) и ультрафиолетовым облучением различных волновых диапазонов у рандомизированных групп пациентов в количестве 865 человек. Установлено, что эффект более быстрого очищения ран от гнойного отделяемого характерен для облучения светом ультрафиолетового диапазона. Ускорение роста грануляционной ткани характерно для инфракрасного и красного лазерного излучения. Поляризованный свет существенно снижает болевой синдром, наряду с ускорением пролиферации эпидермиса. Материалы предполагается использовать для формирования рациональной программы фототерапии.

Ключевые слова: фототерапия, раны кожи.

THE EFFECTIVENESS OF PHOTOTHERAPY TECHNIQUES IN THE TREATMENT OF LONG-TERM HEALING WOUNDS

I.G. Motorina, Leading Researcher, Irkutsk State Medical Academy of Continuing Education, Doctor of Medicine, associate Professor, o_motorin@mail.ru
M.M. Rasulov, Head of Department of GNIICHTEOS, Ph.D. of Medicine Sciences, Professor, maksud@bk.ru
V.M. Gukasov, Chief Scientific Officer, SRI FRCEC, Ph.D. of Biology, v_m_gukasov@mail.ru
L.L. Myakinkova, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Biology, llm@extech.ru

Summary: Submitted materials of long-term studies of the effectiveness of phototherapy techniques of long-term healing wounds of skin of different etiology polarized light, laser radiation (red and infrared spectrum) and UV-various wave ranges from randomized groups of patients in a number of 685 people. It has been established that the effect of faster wound from purulent discharge characteristic of irradiation light ultraviolet range. Growth of granulation tissue characteristic of infrared and red laser radiation. Polarized light significantly reduces pain syndrome along with acceleration prolifiracii of the epidermis. The material is to be used to form a rational programme phototherapy.

Keywords: phototherapy, skin wounds.

Целью настоящего исследования является сравнительная оценка ранозаживляющего эффекта фототерапевтических методов: излучения ультрафиолетового диапазона, лазерного излучения (красного и инфракрасного спектра), поляризованного света для формирования рациональной программы физиолечения длительно незаживающих ран различной этиологии.

Известно, что физические факторы являются важным звеном в лечении длительно незаживающих ран. Необходимость физиотерапевтических способов подтверждается хирургами и используется в качестве сопровождения при лечении пациентов в хирургическом стационаре параллельно с оперативными методами, а затем на этапе реабилитации выходит на первый план [1, 4, 5, 8].

Фототерапия является одним из эффективных средств физиотерапии, применяемых в мировой медицинской практике для лечения самых различных заболеваний.

Анализ результатов поиска в библиометрической базе Scopus по ключевому слову «фототерапия» («Phototherapy») показал, что за период с 2000 по 2016 г. количество международных публикаций и патентов по фототерапии неуклонно увеличивалось: с 793 до 2389 публикаций (рис. 1) при общем показателе на дату поиска 38319 публикаций. При этом наибольшее количество публикаций отмечается из США (11032), Германии (2838), Великобритании (2669) и Китая (1923). Общее количество патентов в базе Scopus на дату поиска составило 10522 документа.

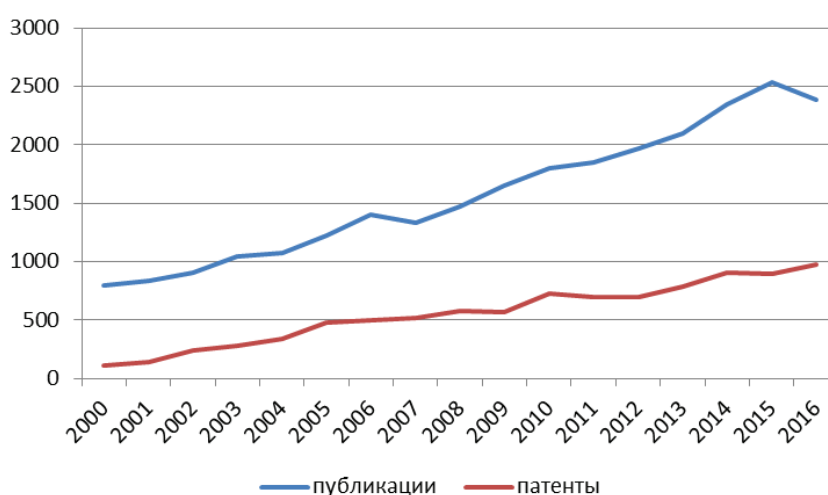


Рис. 1. Динамика публикационной и патентной активности по ключевому слову «фототерапия» («Phototherapy»). Данные Scopus на 30.05.2017 (www.scopus.com)

Анализ результатов поиска в библиометрической базе Scopus по ключевым словам «раны кожи» («skin wounds») в сочетании с различными видами фототерапии в целом показал не очень большое количество публикаций по сравнению с общим количеством по ключевому слову «фототерапия». При этом наибольшее количество международных публикаций приходится на сочетания ключевых слов «skin wounds» AND «laser radiation», «skin wounds» AND «ultraviolet irradiation» и «skin wounds» AND «polarized light». Самое большое число патентов в указанной базе найдено по «skin wounds» AND «ultraviolet irradiation» и «skin wounds» AND «polarized light» (табл. 1).

До настоящего времени не создана единая концепция физиотерапии длительно незаживающих ран. Это относится и к фототерапии, где показания к назначению тех или иных видов световых волн часто совпадают.

Методические вопросы лечения долго незаживающих ран различной этиологии, как показал поиск в библиометрической базе Scopus, рассматриваются не часто и могут быть инновационными. Так, по ключевым словам «long-term healing wounds» AND phototherapy, была найдена только одна публикация, которая также принадлежит авторам данной статьи [10].

Таблица 1

Результаты поиска документов по использованию различных видов фототерапии для лечения ран. Данные Scopus на 30.05.2017 (www.scopus.com)

Поиск по ключевым словам: Виды фототерапии	Документы	
	Публикации	Патенты
«skin wounds» AND «laser radiation»	543	101
«skin wounds» AND «ultraviolet irradiation»	220	216
«skin wounds» AND «polarized light»	176	243
«skin wounds» AND «infrared spectrum»	47	135

В настоящем исследовании проводилась сравнительная оценка ранозаживляющего эффекта фототерапевтических методов ультрафиолетового диапазона, лазерного излучения (красного и инфракрасного спектра), поляризованного света у рандомизированных групп пациентов с длительно незаживающими ранами для формирования рациональной программы физиолечения.

Наблюдения проводились в течение семи лет при лечении 685 пациентов с диагнозом: «Длительно незаживающая рана» в отделении гнойной хирургии НУЗ «Дорожная клиническая больница на станции Иркутск-пассажирский ОАО «РЖД».

Возрастной состав в процентном выражении распределился следующим образом: 69 % составили пациенты активного возраста (от 20 до 55 лет), соотношение мужчин и женщин 1,5 : 1,0. До трех месяцев лечилось 56 %, до шести месяцев – 32 %, у 12 % продолжительность заболевания составила до года и свыше года. Пациенты были условно разделены на семь групп в зависимости от этиологии длительно незаживающих ран: 1) варикозные – 352 наблюдения; 2) посттромбофлебитические (ПТФС) – 51; 3) артериальные – 116; 4) диабетические (СДС) – 39; 5) посттравматические – 68; 6) ожоговые – 36; 7) нейротрофические – 23. Распределение больных по этиологическому фактору представлено в табл. 2.

Таблица 2

Распределение пациентов по этиологическому фактору в соответствии с группой исследования

Группа	Варикозные	ПТФС	Артериальные	СДС	Ожоговые	П/травматические	Нейротрофические	Кол-во
1	44	6	15	5	4	10	3	87
2	52	8	18	6	5	12	4	105
3	54	9	19	7	6	12	4	111
4	50	8	18	7	6	10	4	103
5	56	7	15	5	6	8	5	102
6	46	7	16	4	4	9	2	88
7	50	6	15	5	5	7	1	89
Кол-во	352	51	116	39	36	68	23	685

Пациенты наблюдались с ранами, различными по величине и площади, среди них, малые раны (до 5 см²) – в 398 случаях, средние (5–20 см²) – 225 случаев, гигантские (более 50 см²) – 62. Независимо от этиологии и локализации длительно незаживающих ран, их внешний

вид был практически одинаковым: раны заполнены слаборазвитой грануляционной тканью, цианотичной, с наличием спаянной плотной фибриной пленки. Поверхность покрыта гнойно-некротическими массами. Края плотные с отсутствием эпителиального роста. В окружающих тканях воспалительные явления, дермосклероз, отек, цианоз. Раны локализовались преимущественно на нижних конечностях. Это соответствует и данным литературы [7].

Все пациенты до данного исследования проходили лечение в поликлинических условиях или хирургическом стационаре, 8% перенесли аутодермопластику, но без положительного эффекта. При поступлении в клинику всем проводилось исследование согласно современному клиническому стандарту: общий анализ крови, мочи, биохимическое исследование крови, ультразвуковое исследование венозных или артериальных сосудов конечностей, микробиологическая диагностика ран. Лечение также соответствовало общеклиническому хирургическому стандарту: хирургическая обработка ран, перевязки, комплексная терапия, аутодермопластика или другие реконструктивные операции. Также все пациенты получали один из фототерапевтических методов (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика приемов фототерапии

Группа	Оптический Диапазон	Длина волны (Нм)	Режим	Мощность излучения	Расстояние от торца облучателя до поверхности агара (см)	Время облучения за сеанс минуты 10 сеансов
1	Поляризованный Свет	480—3400	непрерывный	40 мВт/см ²	10	1 сеанс — 5 2 сеанс — 6 3 сеанс — 7 4 сеанс — 8 5 сеанс — 9 6 сеанс — 10 До 10 сеанса — по 10
2	Инфракрасный	890—980	импульсный	16—20	1	Чередование ч/з день 1000 Гц — 5 Переменный режим — 5
3	Инфракрасный	890—980	импульсный	40	1	Переменный режим — 2
4	Красный	630	непрерывный	30 мВт	1	2
5	Ультрафиолетовый Средневолновой (в)	240—320	непрерывный	не менее 25 Вт/м ²	100	1 сеанс — 1 2 сеанс — 2 3 сеанс — 3 4 сеанс — 4 5—10 сеансы — 4
6	Ультрафиолетовый коротковолновой (с)	180—280	непрерывный	Не менее 10 Вт/м ²	12	Через день 1 сеанс — 8 2 сеанс — 8 3 сеанс — 8 4 сеанс — 10 5 сеанс — 12

Для оценки динамики раневого процесса на фоне использованных приемов фототерапии применялись следующие методы исследования:

1. Субъективные: динамика болевого синдрома по ВАШ (Визуальная аналоговая шкала);
2. Качественная характеристика изменения состояния краев и дна ран, раневого отделяемого, состояния окружающих тканей;
3. Планиметрическое исследование: измерение площади ран по методу Навакатикина [6] на 1 и 10 сутки;
4. Количественная оценка результатов консервативного лечения: эпителизация ран, уменьшение площади ран на 25, 50, 70 %, подготовка ран к аутодермопластике.

Динамика болевого синдрома оценивалась по методу субъективной оценки боли – Visual Analogue Scale (VAS) [2]. Пациента просили отметить на линейке длиной 10 сантиметров точку, которая соответствовала ощущаемой им интенсивности боли на момент осмотра. Левая сторона от точки соответствовала уменьшению ощущения боли, правая – увеличению. При динамической оценке изменение интенсивности боли считается объективным и существенным, если значение ВАШ отличается от предыдущего более чем на 13 мм, что соответствует 1,3 баллам.

До проведения фототерапевтических процедур болевой синдром по ВАШ в среднем составил $7,4 \pm 0,42$ балла у подобранных групп больных с максимально близкими величинами площади раны и интенсивностью боли. После проведения курса светолечения, состоящего, как правило, из 10 процедур, болевой синдром изменялся во всех группах, но выявилась разница в зависимости от вида фототерапевтического воздействия (длины волны) (табл. 4).

Таблица 4

Изменение ВАШ в зависимости от вида фототерапевтического воздействия

Группа	Длина волны	ВАШ 1 сутки (баллы)	ВАШ 10 суток (баллы)
1	480–3400 Нм	Исходная средняя величина для всех групп – $7,4 \pm 0,42$	$3,1 \pm 0,32$ *
2	980 Нм		$3,9 \pm 0,17$ *
3	980, 630 Нм		$3,8 \pm 0,23$ *
4	630 Нм		$5,2 \pm 0,15$ *
5	240–320 Нм		$5,8 \pm 0,44$
6	180–280 Нм		$5,6 \pm 0,46$

Примечание * – отличия от исходных данных значимы при $p \leq 0,05$.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программ Microsoft Office Excel 2007 и Biostat. Сравнение между группами и исходным уровнем в условиях подчинения закону нормального распределения проводили с применением t – критерия. Различия между показателями считались значимыми при $p \leq 0,05$.

Наибольший обезболивающий эффект получен после Биоптрон-фототерапии, где болевой синдром уменьшился на $4,3 \pm 0,1$, значительное снижение отмечено после воздействия инфракрасным и красным спектром. В гораздо меньшей степени обезболивающий эффект был получен после воздействия ультрафиолетовым спектром излучения. Таким образом, можно предположить, что существует прямая зависимость интенсивности болевого синдрома от длины волны, т.е. обезболивание выше, чем выше длина волны. В контрольной группе, не получавшей физиолечения, болевой синдром практически не изменился и по ВАШ составил менее 1,3 балла.

При качественной характеристике раневой поверхности оценивалось наличие отека в области раны, гиперемия, рост грануляций, краевая эпителизация, уровень отделяемого. Наблюдения отражены в табл. 5.

Таблица 5

Признаки заживления ран при фототерапевтическом воздействии на пятые и десятые сутки

Группа	Оптический диапазон	Края раны	Стенки раны	Грануляции	Отделяемое	Площадь раны
1	480–3400 Нм	5 сут. — сохраняется выраженный отек, инфильтрация, гиперемия	5 сут. — налет фибрина, участки некроза и гнойного расплавления	5 сут. — нет	5 сут. — обильное гнойное или серозно-гнойное	5 сут. — не изменяется, количество микробов выше 10^5
		10 сут. — начальные проявления снижающегося отека, инфильтрация, гиперемия умеренные	10 сут. — умеренный налет фибрина, сохраняющиеся очаги некроза	10 сут. — отдельные островки	10 сут. — умеренное серозно-гнойное	10 сут. — начинает уменьшаться, если кол-во микробов менее 10^5 на 1 г ткани
2	980 Нм	5 сут. — сохраняется отек, инфильтрация, гиперемия	5 сут. — налет фибрина, участки некроза и гнойного расплавления	5 сут. — отдельные островки	5 сут. — гнойное или серозно-гнойное	5 сут. — уменьшается, если кол-во микробов менее 10^5 на 1 г ткани
		10 сут. — отек, гиперемия умеренные, прогрессирует эпителизация	10 сут. — выполняются грануляциями	10 сут. — активный рост грануляций	10 сут. — сохраняется умеренное серозное или сукровичное	10 сут. — прогрессивно уменьшается, если кол-во микробов менее 10^5 на 1 г ткани
3	980,630 Нм	5 сут. — сохраняется отек, инфильтрация, гиперемия	5 сут. — налет фибрина, участки некроза и гнойного расплавления	5 сут. — отдельные островки грануляций	5 сут. — гнойное или серозно-гнойное	5 сут. — уменьшается, если кол-во микробов менее 10^5 на 1 г ткани
		10 сут. — отек, гиперемия умеренные, прогрессирует эпителизация	10 сут. — выполняются грануляциями	10 сут. — активный рост грануляций	10 сут. — сохраняется умеренное серозное или сукровичное	10 сут. — прогрессивно уменьшается, если кол-во микробов менее 10^5 на 1 г ткани
4	630 Нм	5 сут. — выражены отек, инфильтрация, гиперемия	5 сут. — налет фибрина, участки некроза и гнойного расплавления	5 сут. — отдельные островки	5 сут. — обильное гнойное или сукровичное	5 сут. — уменьшается, если количество микробов менее 10^5 на 1 г ткани
		10 сут. — отек, гиперемия умеренные, прогрессирует эпителизация	10 сут. — выполняются грануляциями	10 сут. — рост грануляций	10 сут. — сохраняется умеренное гнойное или сукровичное	10 сут. — прогрессивно уменьшается, если количество микробов менее 10^5 на 1 г ткани
5	240–320 Нм	5 сут. — отек, гиперемия выражены умеренно, быстро разрешаются	5 сут. — незначительный налет фибрина, быстрое очищение	5 сут. — отдельные островки грануляций	5 сут. — уменьшение гнойного отделяемого вплоть до скудного серозного или сукровичного	5 сут. — уменьшается, уровень микробов всегда ниже критического

Окончание таблицы 5

Группа	Оптический диапазон	Края раны	Стенки раны	Грануляции	Отделяемое	Площадь раны
		10 сут. — воспалительные изменения минимальны, прогрессирует эпителизация	10 сут. — активный рост грануляций	10 сут. — легко кровоточащие грануляции	10 сут. — скудное серозное или сукровичное	10 сут. — продолжает уменьшаться, но рана становится излишне сухой
6	180–280 Нм	5 сут. — отек, гиперемия выражены умеренно, быстро разрешаются	5 сут. — незначительный налет фибрина, быстрое очищение	5 сут. — отдельные островки грануляций	5 сут. — часто блокирование гнойного отделяемого	5 сут. — уменьшается, уровень микробов всегда ниже критического
		10 сут. — воспалительные изменения минимальны, прогрессирует эпителизация	10 сут. — активный рост грануляций	10 сут. — легко кровоточащие грануляции	10 сут. — часто сухая рана	10 сут. — имеется риск образования сухого струпа
7	Контроль	5 сут. — выражены отечность, инфильтрация, гиперемия, часто глубокие инфильтраты	5 сут. — налет фибрина, участки некроза и гнойного расплавления, часто пропитывание серозным экссудатом	5 сут. — бледные, тусклые, расположены островками	5 сут. — обильное гнойное или обильное сукровичное с массивным пропитыванием тканей	5 сут. — медленно уменьшается, если количество микробов менее 10^5 на 1 г ткани
		10 сут. — гиперемия, отек, инфильтрация выражены умеренно	10 сут. — незначительный налет фибрина, очищение раны	10 сут. — отдельные островки	10 сут. — скудное серозное или сукровичное	10 сут. — уменьшается, если количество микробов менее 10^5 на 1 г ткани

Наблюдения за клиническим течением длительно незаживающих ран у пациентов показали, что использование методов фототерапии в комплексном лечении дает возможность более быстрого очищения ран от гнойного отделяемого за счет снижения бактериальной обсемененности раны ниже критического уровня, снижения отека в области раны. Этот эффект наиболее выражен у ультрафиолетового диапазона. Наиболее заметная стимуляция роста грануляционной ткани от появления отдельных островков до заполнения всей раневой поверхности, снижение болевого синдрома характерно для инфракрасного и красного лазерного излучений. Это очень важное свойство низкоинтенсивного лазерного излучения, проводимого после нескольких сеансов ультрафиолетового облучения раны, помогает подготовить раневое ложе к аутодермопластике. Данное предположение подтверждается исследованиями [3], в которых была замечена устойчивость микробов к низкоинтенсивному лазерному воздействию при лечении ожоговых ран. Процесс ускорения эпителизации малых и средних ран наиболее характерен для фототерапии поляризованным светом, который продолжает стимулировать пролиферацию эпидермиса после очищения раны, снижать отек и значительно уменьшать болевой синдром. Но энергии только поляризованного света как монотерапии недостаточно для купирования процессов деструкции тканевых структур. Лечение ран в типовом хирургическом отделении без использования методов фототерапии представляет достаточно продолжительный процесс, заключающийся в хирургических обработках, выполнении некрэктомий и перевязок. Рана длительное время до очищения остается излишне влажной с быстрым и обильным пропитыванием слоев повязки экссудатом с высоким содержанием микробов. Несмотря на проведение антибактериальной терапии эта стадия очищения продолжается не менее семи дней, соответственно площадь раны при этом не уменьшается, а в ряде случаев увеличивается. Болевой синдром остается практически на прежнем уровне.

По этиологической принадлежности эпителизация в большей степени наступила при ранах посттравматического характера – 59 случаев (86,7 %) в данной группе, ожоговых ранах – 31 случай (86,1 %), при синдроме диабетической стопы – 18 случаев (46,1 %). Заживление ран венозного происхождения было отмечено в 92 случаях (26,1%), при посттромбофлебических ранах в 12 случаях (23,5 %), а при нейротрофических – 6 (26,0 %).

При планиметрическом исследовании сокращение площади раны в ходе заживления оценивали на 1 и 10 сутки лечения в процентах по формуле: $Y_t = S_0 - S_t / S_0$, где S_0 – начальная площадь раны, а S_t – ее площадь на день t . Все полученные данные сгруппированы по величине уменьшения ран от исходного размера на 0 %, 25 %, 50 %, 70 %, 100 % и сведены в табл. 6.

Из представленных данных видно, что полная эпителизация ран достигнута в 274 случаях: 140 пациентов получали лечение методами фототерапии и плановые перевязки, которые привели к эпителизации ран площадью 5 см² – 124 случая, 5–20 см² – 16 случаев. Гигантские раны сокращались в размерах, но эпителизация не была достигнута. При параллельных хирургических обработках ран, некрэктомии или наложении повязок с протеолитическими ферментами, заживление произошло в 80 случаях: 44 с площадью ран 5 см²; 24 – 5–20 см²; 12 – более 50 см². Были подготовлены 56 пациентов к аутодермопластике, которая закончилась полным приживлением кожного лоскута в случаях: 12 ран с площадью до 5 см², 32 раны с площадью 5–20 см², 12 ран с площадью более 50 см².

Таблица 6

Количественная оценка динамики сокращения раневой поверхности длительно незаживающих ран в исследуемых группах

Группа	Оптический диапазон	S см ²	Y_t 0 %	Y_t 25 %	Y_t 50 %	Y_t 70 %	Y_t 100 %
1 (87 пациентов)	480–3400 Нм	5	1	8	6	10	24
		5–20	1	5	8	8	8
		> 50	2	2	—	1	3
2 (105 пациентов)	980 Нм	5	—	7	10	12	28
		5–20	2	5	9	9	12
		> 50	—	4	2	—	5
3 (111 пациентов)	980, 630 Нм	5	1	6	8	15	32
		5–20	—	2	8	6	14
		>50	2	4	6	—	7
4 (103 пациента)	630 Нм	5	2	5	7	15	32
		5–20	1	2	9	8	13
		> 50	1	3	—	—	5
5 (102 пациента)	240–320 Нм	5	1	9	10	12	33
		5–20	1	2	7	9	12
		> 50	1	3	—	—	2
6 (88 пациентов)	180–280 Нм	5	—	10	12	18	22
		5–20	—	4	5	4	12
		>50	—	—	—	—	1
7 (89 пациентов)	контроль	5	4	12	10	9	7
		5–20	3	20	15	—	1
		> 50	2	2	2	1	1
Всего 685 пациентов			25	115	134	137	274

У 137 пациентов эпителизация ран произошла на 70 %, у 134 — на 50 %, у 115 процесс эпителизации только начался и составил 25 %. У 25 пациентов раневые процессы оставались без существенной динамики и, на момент последнего осмотра, в отличие от первоначально-го, представляли собой очищенные раны с островками грануляций.

В контрольной группе процессы заживления также происходили, но в более поздние сроки, полная эпителизация достигнута только в семи случаях при лечении малых ран, заживление одной средней и одной гигантской раны произошло лишь в результате проведения оперативного лечения.

Выводы

1. Клиническая эффективность лечения пациентов с длительно незаживающими ранами методами фототерапии значительно выше, чем при использовании одних традиционных методов.

2. Установлена высокая лечебная ценность фототерапевтических методов ультрафиолетового, красного, инфракрасного лазерных излучений, поляризованного света.

3. Поляризованный свет по данным исследования, обладает наибольшим обезболивающим эффектом.

4. Методы фототерапии целесообразно назначать с целью подготовки к операции аутодермопластики, а также продолжать процедуры после операции для наилучшего приживления кожного лоскута.

Список литературы

1. Абрамович С.Г. Фототерапия. Ред. С.Г. Абрамович. Иркутск: РИО ФГБУ «НЦРВХ» СО РАМН, 2014. С. 27, 81, 119.
2. Амирджанова В.Н. Шкалы боли и НАQ в оценке пациента с ревматоидным артритом / В.Н. Амирджанова // Научно-практическая ревматология. 2006, № 26, С. 60–65.
3. Герасимова Л.И. Лазеры в хирургии и терапии термических ожогов / Л.И. Герасимова // Руководство для врачей. М.: Медицина, 2000. 224 с.
4. Дибиров М.Д. Динамика раневого процесса под воздействием мази на основе биологически активных веществ и поляризующего света «Биоптрон» / М.Д. Дибиров, М.Г. Лакреева // Актуальные вопросы клинической медицины «т. 2. Материалы конференции, посвященной 50-летию 50 ГKB г. Москвы, Москва, 2005. С. 71–73.
5. Иванов А.Н. Лечение и реабилитация больных с хронической венозной недостаточностью в стадии открытой трофической язвы / А.Н. Иванов, К.Ю. Данилов, Л.Г. Куртенок [и др.] // Реабилитология. М., 2004. С. 275–277.
6. Казанков С.С. Лечение длительно незаживающих ран терпенсодержащим препаратом Антиран в сочетании с ультразвуковой кавитацией: Автореф. Дис. канд. мед. наук. Иркутск, 2011. 22 с.
7. Оболенский В.Н. Трофические язвы нижних конечностей — обзор проблемы / В.Н. Оболенский, Г.В. Родоман, В.Г. Никитин, М.А. Карев. РМЖ., № 25., 2009. 1647 с. [электронный ресурс]. Available at: <http://www.rmj.ru/> (дата обращения 21.12.15).
8. Пономаренко Г.Н. Применение полихроматического поляризованного некогерентного излучения аппаратов «Биоптрон» в комплексном лечении больных с ранами, трофическими язвами, ожогами и пролежнями / Г.Н. Пономаренко // Физиотерапевт. 2010, № 7. С. 48–59.
9. Пономаренко Г.Н. Физические методы лечения: Справочник. Изд. 3-е перераб. И доп. / Г.Н. Пономаренко. СПб.: «ИИЦ ВМА», 2006. С. 9–11.
10. Rasulov M.M., Motorina I.G., Yushkov G.G., Drozdova O.M., Korsakova N.V. (2015) Antibiotic resistance of microbial isolates from long-term healing wounds exposed to light of various wave lengths // Антибиотики и химиотерапия, 60(3-4), pp. 20–23.

References

1. Abramovich S.G. Phototherapy S.G. Abramovich. Irkutsk: RIO FSBI «NCRV» SB RAMS, 2014, p. 27, 81, 119.

2. Amirdzhanova V.N. HAQ and pain scale in the evaluation of a patient with rheumatoid arthritis. V.N. Amirdjanova. Scientific-practical rheumatology. 2006, No. 2, pp. 60–65.
3. Gerasimova L.I. Lasers in surgery and therapy of thermal burns. L.I. Gerasimova. Manual for doctors. Moscow. Medicine, 2000. 224 p.
4. Dibirov.M.D. Dynamics of wound process under the influence of ointments on the basis of biologically active substances and polarizing light «BIOPTRON». Ed. M.D. Dibirov, M.G. Lakeyev. Topical issues of clinical medicine. Vol. 2. Materials of the conference dedicated to the 50th anniversary of the clinical hospital 50, Moscow, Moscow, 2005., pp. 71–73.
5. Ivanov A.N. The treatment and rehabilitation of patients with chronic venous insufficiency in the stage of open sores. Ed. A.N. Ivanov, K.Y. Danilov, L.G. Kurtenok [et al.] Physical medicine and Rehabilitation. Moscow, 2004, pp. 275–277.
6. Kazankov S.S. Treatment of nonhealing wounds by Terpene-containing drug Antirun in combination with ultrasonic cavitation: Abstract from Thesis for Ph.D. of Medical Sciences. Irkutsk, 2011. p. 22.
7. Obolenskiy V.N. Trophic ulcers of the lower extremities – an overview of the problem. Ed. V.N. Obolensky, G.V. Rodoman, V.G. Nikitin, M.A. Karev. RMJ (Russian Medical Journal), No. 25, 2009. 1647. Available at: [http //www.rmj.ru](http://www.rmj.ru) (accessed 21.12.15).
8. Ponomarenko G.N. (2010) The use of polarized polychromatic non-coherent radiation apparatus «BIOPTRON» in complex treatment of patients with wounds, trophic ulcers, burns and bedsores. Ed. G.N. Ponomarenko. Physiotherapist. No. 7, pp. 48–59.
9. Ponomarenko G.N. (2006) Physical treatment: Handbook. ed.3rd Rev. Add. G.N. Ponomarenko. SPb.: «Information and Publishing Center of the Military Medical Academy», pp. 9–11.
10. Rasulov M.M., Motorina I.G., Yushkov G.G., Drozdova O.M., Korsakova N.V. (2015) Antibiotic resistance of microbial isolates from long-term healing wounds exposed to light of various wave lengths. *Antibiotiki i Khimioterapiya*, 60(3-4), pp. 20–23.

НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РАДИО- И РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ВЕДУЩИХ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Д.Б. Изюмов, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, izyumov@extech.ru

Е.Л. Кондратюк, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, kel@extech.ru

В статье рассмотрены основные направления развития космических средств радио- и радиотехнической разведки ведущих стран мира, предъявляемые к их созданию тактико-технические требования, а также вопросы научно-технических проблем разработки таких средств. Проанализированы и обобщены профильные прикладные и технологические исследования в области аэрокосмических аппаратов, проводимые в рамках 6-й Главной Научно-технической программы Министерства обороны США.

Ключевые слова: радио- и радиотехническая разведка, космические системы разведки, космический аппарат, основные направления развития, тактико-технические требования, научно-технические проблемы создания, прикладные и перспективные исследования, программный элемент, электронная компонентная база.

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF SPACE MEANS OF RADIO- AND RADIO-ENGINEERING INTELLIGENCE OF THE LEADING FOREIGN COUNTRIES

D.B. Izyumov, Head of Department, SRI FRCEC, izyumov@extech.ru

E.L. Kondratyuk, Senior Researcher, SRI FRCEC, kel@extech.ru

The article describes the main directions of development of space means of radio and Radio-engineering intelligence of the leading countries worldwide in respect to their creation of the tactical and technological requirements, as well as issues of scientific and technological problems of developing such tools. The Article analyzes and summarizes the profile of applied and technological research in the field of aerospace vehicles, conducted within the framework of the 6th Main Scientific and Technological Programs of the Ministry of Defense.

Keywords: radio-electronic intelligence, space surveillance, spacecraft, the main directions of development of tactical and technological requirements, scientific and technological problems of creation, applied and advanced research, program element, and electronic components.

Разведывательные системы космического базирования, включающие средства радио- и радиотехнической разведки (РРТР), а также средства видовой оптической и радиолокационной разведки, являются важнейшей составляющей системы разведывательного обеспечения ВС ведущих зарубежных стран (ВЗС). При этом средства космической РРТР имеют статус одних из основных средств вскрытия обстановки и занимают важное место в обеспечении органов управления ВЗС всех звеньев.

Космическая радио- и радиотехнической разведка предназначена для добывания данных о местоположении, режимах работы и параметрах сигналов радиоэлектронных средств (РЭС), включая вскрытие систем радиотехнического обеспечения ПВО, ПРО и ПКО про-

тивника, а также перехвата сигналов радиотелеметрической аппаратуры и средств его связи. Если основной целью космической радиоразведки является добывание сведений путем несанкционированного перехвата сигналов систем связи и передачи данных, то целью космической радиотехнической разведки — обнаружение и распознавание РЛС различного назначения и других РЭС, не относящихся к классу систем и средств передачи информации.

С помощью космических средств РРТР производится опознавание и различение перехватываемых сигналов, определяются их пространственно-временные параметры, включая угловые координаты, несущую частоту РЭС, вид модуляции, вид сигналов (ширина частотного спектра), состояние поляризации сигналов и др.

Основными источниками получения информации для космической РРТР являются наземные всеволновые станции; космические, самолетные, вертолетные и корабельные системы связи и телеметрии; радиоэлектронные средства управления войсками и оружием; РЛС различного назначения (например, РЛС системы ПРО и ПКО, стационарные РЛС ПВО, мобильные РЛС ПВО, самолетные, вертолетные и корабельные РЛС, РЛС целеуказания и управления средствами ПВО и др.); передающие центры радионавигационных систем и т. п.

В отличие от активных радиолокационных средств наблюдения, системы РРТР работают в пассивном режиме, что обеспечивает решение задач обнаружения и определения координат источников радиоизлучения, которые могут быть замаскированы или по другим причинам недоступны для оптического или радиолокационного наблюдения. Кроме этого, пассивный характер работы обеспечивает скрытность применения средств РРТР, а использование при этом космических аппаратов предполагает высокую оперативность, глобальный характер разведки и отсутствие недоступных для наблюдения участков земной поверхности и околоземного пространства [1, 2].

Обзорная и детальная космическая РРТР ведется с помощью систем специализированных космических аппаратов (КА)¹ типа «Трумпет», «Меркурий», «Ментор», «Орион» и других, обеспечивающих ведение разведки с различных орбит, включая низкие, высокоэллиптические, квазистационарные, геостационарные и геосинхронные. Имеются и узкоспециализированные низкоорбитальные космические системы морской РРТР типа «Интрuder», предназначенные для наблюдения за надводными кораблями и подводными лодками на океанских театрах военных действий [3, 4, 5].

Все перечисленные космические системы РРТР принадлежат США. Наличие такой мощной группировки средств обусловлено стремлением военно-политического руководства США обеспечить глобальное слежение за обстановкой и подавляющее информационное превосходство над любым противником. Среди других зарубежных стран ведущие места по разработке, созданию и применению космических средств РРТР занимают Франция, Германия, Великобритания, Китай и Япония.

Анализ программных элементов 6-й Главной Научно-технической программы (НТП) Министерства обороны США по финансированию передовых исследований и разработок и составляющих их исследовательских проектов показал, что в области аэрокосмических аппаратов и космических технологий проводится ряд прикладных и технологических (перспективных) исследований (табл.). Так, можно выделить следующие основные программные элементы (ПЭ) НТП (первые четыре ПЭ относятся к прикладным исследованиям, остальные — к технологическим) [6, 7]:

- ПЭ 0602201F «Технологии аэрокосмических аппаратов»;
- ПЭ 0602203F «Аэрокосмические двигательные установки»;
- ПЭ 0602204F «Аэрокосмические датчики»;

¹ В составе орбитальной группировки системы РРТР обычно используются не менее двух оперативных и один-два резервных космических аппарата.

- ПЭ 0602601F «Космические технологии»;
- ПЭ 0603203F «Перспективные аэрокосмические датчики»;
- ПЭ 0603211F «Разработка и демонстрация аэрокосмических технологий»;
- ПЭ 0603216F «Технологии двигательных и энергетических установок аэрокосмических аппаратов»;
- ПЭ 0603401F «Технологии перспективных космических аппаратов».

Финансирование и классификация исследований 6-й Главной Научно-технической программы МО США, относящихся к развитию и разработке аэрокосмических аппаратов и космических технологий с 2015 по 2021 гг.

Тип исследований	Программные элементы, относящиеся к развитию и разработке аэрокосмических аппаратов и космических технологий	Год и ассигнования, млн долл.						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Прикладные	PE 0602201F Aerospace Vehicle Technologies («Технологии аэрокосмических аппаратов»)	101,1	123,0	122,8	125,0	129,6	135,5	135,1
	PE 0602203F Aerospace Propulsion («Аэрокосмические двигательные установки»)	168,6	185,9	185,7	196,0	199,1	204,1	202,7
	PE 0602204F Aerospace Sensors («Аэрокосмические датчики»)	118,6	152,2	155,2	163,0	164,3	167,7	169,9
	PE 0602601F Space Technology («Космические технологии»)	94,4	109,1	117,9	121,7	119,6	127,1	128,9
Технологические	PE 0603203F Advanced Aerospace Sensors («Перспективные аэрокосмические датчики»)	34,1	42,0	40,9	38,5	38,8	39,6	40,4
	PE 0603211F Aerospace Technology Dev/Demo («Разработка и демонстрация аэрокосмических технологий»)	86,3	100,6	131,0	119,3	123,3	102,9	75,3
	PE 0603216F Aerospace Propulsion and Power Technology («Технологии двигательных и энергетических установок аэрокосмических аппаратов»)	126,7	178,6	94,6	104,5	112,3	116,5	118,6
	PE 0603401F Advanced Spacecraft Technology («Технологии перспективных космических аппаратов»)	65,2	61,8	61,6	60,2	59,1	60,3	61,5
Всего		795,0	953,2	909,7	928,2	946,1	953,7	932,4

Анализ данных табл. показывает, что с 2016 г. ежегодный уровень ассигнований запланирован в пределах 900–950 млн долл. [6].

Финансирование и реализация прикладных и технологических исследований по вышеуказанным программным элементам ориентированы на удовлетворение предъявляемых к созданию перспективных КА, включая космические системы РРТР, тактико-технических требований, а также на решение ряда научно-технических проблем, связанных с их разработкой.

К основным тактико-техническим требованиям при создании новых космических средств РРТР относятся следующие [8, 9, 10]:

- повышение информативности получаемых данных и сокращение периодичности наблюдения (в настоящее время интервалы повторного наблюдения обеспечиваются различными системами от нескольких часов до нескольких минут), сокращение времени обработки данных и анализа выявленной информации;
- расширение полосы обзора средств (различны для совокупности систем РРТР космического базирования в зависимости от их орбит);
- обеспечение непрерывного наблюдения за интересующими районами противника и перехвата сигналов радиорелейных, тропосферных и УКВ-станций связи, перехват сигналов телеметрической аппаратуры, пеленгование РЭС вероятного противника (предельный вариант – обеспечение глобального охвата и круглосуточного наблюдения за излучениями РЭС);
- использование принципов открытой архитектуры, допускающей постепенное наращивание как орбитальной группировки космических систем разведки, так и функциональных возможностей отдельных КА РРТР;
- дальнейший переход от использования отдельных разведывательных спутников к созданию группировок взаимодействующих КА;
- применение группировок КА, состоящих из большого количества типовых малых аппаратов в качестве универсальных платформ-носителей, когерентно связанных друг с другом (возможность реализации параллельного обзора пространства с высоким разрешением);
- разработка системы активного наблюдения за мобильными целями с сокращенной периодичностью;
- реализация первичной обработки информации на борту КА с целью снижения нагрузки на каналы связи «космический аппарат–Земля», а также первичного распределения информации между центрами обработки;
- реализация модульного принципа построения КА РРТР;
- обеспечение точности определения координат РЭС вероятного противника (СКО) менее 1 км (в настоящее время точность составляет десятки километров);
- снижение массы КА РРТР и создание малых КА массой 100–500 кг и сверхмалых КА массой 10–100 кг;
- расширение диапазона рабочих частот средств космической РРТР от 0,03 до 100 ГГц (возможно, до 300 ГГц);
- обеспечение чувствительности приемников не хуже –200 дБ/Вт (минус двести децибел-ватт);
- уменьшение массы, габаритов, потребляемой мощности, затрат на запуск и энергообеспечение датчиков следующего поколения без снижения технических характеристик за счет применения новых технологий;
- повышение живучести (оснащение КА средствами самозащиты и проведения необходимого маневра), обеспечение высокой радиационной стойкости и устойчивости функционирования космических средств РРТР;
- разработка и совершенствование методов обнаружения и классификации воздушных и наземных целей с применением устройств направленного и ненаправленного действия, в том числе поляриметрических;
- передача разведданных на наземные станции в цифровом формате в масштабе времени, близком к реальному;
- интеграция средств космической и наземной разведки, функционирование в рамках единой сети получения информации;
- увеличение расчетного срока активного существования космического аппарата на орбите до 10–15 лет;
- применение новых материалов и технологий в производстве радиоэлектронных устройств, развитие концепций передовых структур КА и методов проектирования.

Анализ программ НИОКР, долгосрочных планов и программ развития космических средств РРТР, реализуемых в ведущих зарубежных странах, показал, что основными направлениями исследований в ходе разрешения научно-технических проблем при их создании являются [11, 12, 13]:

- разработка, создание и развитие беспойсковых или многоканальных систем с параллельным поиском, требующих частотно-пространственного разнесенного приема сигналов (использование разнесенного приема сигналов для реализации разностно-дальномерных и интерференционных методов определения местоположения источников излучения);
- разработка и создание недорогих унифицированных программных и аппаратных архитектур для полностью автономных группировок разведывательных спутников;
- разработка, создание и калибровка антенн космического базирования с высоким коэффициентом усиления и заданной формой диаграмм направленности;
- рациональное проектирование несущих конструкций и механической коррекции поверхности высоконаправленных космических антенн на основе оперативных данных о деформации отражающей поверхности зеркал антенн;
- развитие средств и методов точной калибровки (юстировки) крупногабаритных космических антенн (антенных решеток) на орбите, а также программного электрического управления их диаграммой направленности;
- разработка и создание многоэлементных космических антенных решеток с многоканальными приемными устройствами и параллельной программной частотной обработкой сигналов после их оцифровки на промежуточных частотах порядка 100–500 МГц;
- разработка и создание специализированных приемно-измерительных и вычислительных устройств с большим сроком активного существования, устойчивых к воздействию факторов космического полета;
- разработка и создание твердотельных приемно-преобразовательных и измерительных модулей на основе Si КМОП и SiGe БиКМОП2 технологий с топологической нормой до 40 нм и менее;
- совершенствование методов шумоподавления для радиочастотных систем;
- увеличение пропускной способности каналов передачи данных;
- разработка новых принципов кодирования полученных разведывательных данных, объединение и стандартизация алгоритмов обработки данных (как непосредственно на борту КА РРТР, так и на наземных станциях);
- разработка перспективных методов сжатия сигналов;
- разработка, создание и развитие электронной компонентной базы для космических средств РРТР (твердотельных усилителей мощности и источников питания; электронной аппаратуры, устойчивой к различным температурным режимам работы; многофункциональных монолитных интегральных микросхем; высокоскоростных аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей; электроники с программной перестройкой рабочей частоты и др.);
- увеличение производительности бортовых вычислительных систем (процессоров) и объема памяти запоминающих устройств КА РРТР для своевременной (оперативной) доставки данных (включая разработку энергонезависимых оперативных запоминающих устройств), а также использование для обработки информации все более быстродействующих аналого-цифровых преобразователей, монолитных микросхем с высокой степенью интеграции и т. п.;

² Si КМОП технология – технология полевых транзисторов КМОП (от англ. CMOS – Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) на основе кремния Si.

SiGe БиКМОП технология – технология БиКМОП (от англ. BiCMOS), объединяющая технологию биполярных транзисторов и КМОП технологию, на основе соединения кремний-германий SiGe.

- разработка перспективных высокочастотных/широкополосных приемопередающих устройств низкой стоимости;
- разработка и создание высоконадежных и радиационно-стойких монолитных интегральных приемных модулей (с низкой потребляемой мощностью, высоким коэффициентом усиления и низким коэффициентом шума);
- создание высокоэффективных и надежных радиочастотных и гибридных датчиков для активных и пассивных систем разведки за воздушными и наземными целями;
- интеграция технологий электронных компонентов и датчиков разведывательного оборудования;
- оценка совершенствования методов функционирования критических компонентов и подсистем разведывательных КА при воздействии на них радиочастотных и лазерных средств противника.

В настоящее время усилия таких государств, как США, Китай и Япония направлены на создание собственных систем РРТР космического базирования. В Европе взят курс на разделение зон ответственности между государствами. В области космических систем РРТР наибольших успехов в ЕС достигла Франция, которая произвела успешный вывод на орбиту ряда микро-КА РРТР. Использование малых типовых КА в качестве универсальных платформ-носителей является устойчивой тенденцией в развитии разведывательных систем космического базирования ВЗС.

Китай и Япония в настоящее время проводят работы по развертыванию многофункциональных космических разведывательных группировок, включающих средства оптико-электронной, радиолокационной (с режимом селекции движущихся целей), радио- и радиотехнической разведки, а также обнаружения пусков ракет.

Следует отметить интенсивность работ, проводимых Китаем по развертыванию собственных космических разведывательных систем, включая системы РРТР. Китай показал, что может осуществлять запуски КА с интенсивностью, присущей США. При этом ТТХ их систем в целом соответствуют американским. Китай взял курс на разработку небольших КА, обладающих улучшенными ТТХ. В состав средств РРТР космического базирования Китая в настоящее время входят следующие основные системы: система стратегической РРТР типа «Лэйдянь»/«Шицзянь» и система тактической РРТР типа «Саньсин».

В долгосрочной перспективе развитие космических средств РРТР ведущих зарубежных стран будет направлено на дальнейшее повышение эффективности применения этих средств для решения задач от стратегического до тактического уровня, а сами космические системы РРТР сохранят статус одних из основных средств вскрытия обстановки.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что новые средства и системы космического базирования продолжают развитие по двум направлениям. Первое направление заключается в использовании малого количества больших КА с высокими тактико-техническими характеристиками разведывательной аппаратуры. Второе направление предполагает использование большого количества малых КА с аппаратурой, обладающей более низкими значениями ТТХ.

В перспективе также вероятна реализация концепции кластерной системы развертывания группировки КА, предполагающая, например, применение малогабаритных (массой до 450 кг) и сравнительно недорогих КА различных типов, которые могут оперативно развертываться кластерным методом (несколько КА на базе однотипных платформ, но с различной полезной нагрузкой, функционирующих как единое целое). При этом предусматривается возможность развертывания на орбите новых группировок специализированных модулей, которые отличаются от современных КА, сделанных по принципу «все-в-одном». КА, входящие в такой кластер, будут объединены между собой при помощи беспроводной связи.

Анализ тактико-технических требований и научно-технических проблем создания космических средств радио- и радиотехнической разведки позволяет также сделать вывод, что

основными направлениями развития таких средств являются интеграция средств космической и наземной разведки (функционирование в рамках единой информационной сети), повышение устойчивости функционирования средств за счет применения передовых технологических решений, использование принципа модульности при создании разведывательной радиоэлектронной аппаратуры и кластерного принципа построения космических группировок, комплексная модернизация орбитального элемента системы космической разведки за счет совершенствования аппаратуры эксплуатируемых КА, повышение информативности, скорости передачи данных и периодичности наблюдения, сокращение времени обработки данных и анализа выявленной информации, повышение чувствительности приемного оборудования, а также снижение массогабаритных показателей.

Таким образом, путем координации процессов сбора, планирования, обработки данных и использования объединенных ресурсов планируется повысить точность и оперативность решаемых задач, а также снизить расходы на производство и обслуживание космических систем РРТР.

Предполагается, что задачи космической РРТР будут решаться в комплексе методами общей и детальной разведки.

Для общей разведки с грубым определением координат и целеуказанием средствам детальной разведки будет использоваться ограниченное количество автономно работающих КА на геостационарных или высокоэллиптических орбитах (с апогеем до 50–70 тыс. км) с многолучевыми крупногабаритными гибридными антеннами или антенными решетками и многоканальными приемниками. Для детальной разведки и точного определения координат РЭС вероятного противника будут использоваться группировки низкоорбитальных КА, количество которых должно быть достаточным для реализации разностно-дальномерных и интерференционных методов.

В целом, отчетливо прослеживается тенденция к тому, что пассивные средства космической РРТР ведущих стран мира будут использоваться в комплексе с оптико-электронными и активными радиолокационными системами видовой разведки.

Статья выполнена в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по результатам работ в рамках Государственного задания по проекту № 2.4260.2017/НМ.

Список литературы

1. Исследования по созданию перспективных пассивных космических систем мониторинга наземных источников радиоизлучения. Томск: ТУСУР, 2009–2011 гг.
2. Вопросы пассивного радиомониторинга: моногр. / под общ. ред. Г.С. Шарыгина. Томск: Изд-во ТУСУРа, 2012 год.
3. Периодические издания периода 2012–2016 гг. Aviation week & space technology; Air & Cosmos; Military Technology; Jane's International Defence Review и другие.
4. Романов Н.А. «Военно-космическая разведка США в современных локальных конфликтах». 2012 год. Available at: <http://navoine.info/national-reconnaissance-office-loacal-wars.html>.
5. Журнал «Военная мысль» — «Орбитальная группировка ВС США». ВКО № 5, 2004 год. Available at: <http://militaryarticle.ru/voennaya-mysl/2005-vm/9575-orbitalnaja-gruppirovka-vs-ssha>.
6. RDT&E Budget Item Justification: PB 2017 Air Force (Программные элементы ВВС в рамках 6-й Главной Научно-технической программы МО США). February 2016. Available at: [http://www.global-security.org/military/library/budget/fy2016/usaf-peds/\(название_ПЭ\)_pb_2016.pdf](http://www.global-security.org/military/library/budget/fy2016/usaf-peds/(название_ПЭ)_pb_2016.pdf).
7. Department of Defense Space Science and Technology Strategy 2015. Available at: http://www.defenseinnovationmarketplace.mil/resources/2015_DoD_Space_ST_Strategy_FINAL.PDF.
8. Department of Defense. Military critical technologies list, Space Systems Technology. 2014.
9. Space Vehicle Design, Second Edition — USA, AIAA, 2004.

10. Wilkinson, Mark. The Changing Paradigms of Satellite Reconnaissance, Creating Opportunities in the Small Satellite Industry. The 20th AIAA/USU Conference on Small Satellites, 2006.

11. Space Technology Guide. Department of Defense, FY2000–01. Office of the Secretary of Defense, 2000.

12. Макаренко С.И. «Использование космического пространства в военных целях: современное состояние и перспективы развития систем информационно-космического обеспечения и средств вооружения». 2016. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/09-Makarenko.pdf>.

13. Стешенко В., Гаршин В. «Перспективы развития электронных компонентов для бортовой аппаратуры космических систем» // Электронные компоненты. 2012.

Referernces

1. Research on the development of advanced passive space-based monitoring systems of land-based sources of radio emission. Tomsk: TUSUR, 2009–2011.

2. The passive radio monitoring: monograph. Under the General editorship of G.S. Sharygin. Tomsk: Publishing house of TUSUR, 2012.

3. Periodicals of period 2012–2016: Aviation week & space technology; Air & Space; Military Technology; Jane's International Defence Review and other.

4. Romanov N.A. «Military space exploration of the United States in the modern local conflicts». 2012. Available at: <http://navoine.info/national-reconnaissance-office-loacal-wars.html>.

5. Journal «Military thought» – «The Orbital group of the armed forces of the United States.» SAI's No. 5, 2004. Available at: <http://militaryarticle.ru/voennaya-mysl/2005-vm/9575-orbitalnaja-gruppirovka-vs-ssha>.

6. RDT&E Budget Item Justification: PB 2017 Air Force (program elements of the air force in the framework of the 6th Main Scientific and technological program MO, USA). February 2016. Available at: [http://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2016/usaf-peds/\(name of PE\)_pb_2016.pdf](http://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2016/usaf-peds/(name%20of%20PE)_pb_2016.pdf).

7. Department of Defense Space Science and Technology Strategy 2015. Available at: http://www.defenseinnovationmarketplace.mil/resources/2015_DoD_Space_ST_Strategy_FINAL.PDF.

8. Department of Defense. Military critical technologies list, Space Systems Technology. 2014.

9. Space Vehicle Design, Second Edition – USA, AIAA, 2004.

10. Wilkinson M. (2006) The Changing Paradigms of Satellite Reconnaissance, Creating Opportunities in the Small Satellite Industry. The 20th AIAA/USU Conference on Small Satellites.

11. Space Technology Guide. Department of Defense, FY2000–01. Office of the Secretary of Defense, 2000.

12. Makarenko S.I. (2016) Use of outer space for military purposes: current status and prospects of development of systems of information and space security and weapons. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/09-Makarenko.pdf>.

13. Steshenko V., Garshin V. (2012) Prospects of development of electronic components for on-Board equipment of space systems. Electronic components.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE

FEDERAL INSTITUTION «RESEARCH INSTITUTE – FEDERAL RESEARCH CENTRE
FOR PROJECT EVALUATION AND CONSULTING SERVICES»
(SRI FRCEC)

INNOVATICS AND EXPERT EXAMINATION

SCIENTIFIC PROCEEDINGS

ISSUE 2(20)

MOSCOW 2017

ИННОВАТИКА И ЭКСПЕРТИЗА

Научные труды

2(20)

Ответственный редактор *А.А. Тугаринов*

Компьютерная верстка *А.А. Тугаринов*

Сдано в набор 27.06.17. Подписано в печать 30.07.17.

Формат 205×287. Бумага 80 г/м².

Тираж 100. Заказ № 15.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Научно-исследовательский институт –

Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы»

Москва, ул. Антонова-Овсеенко, д. 13