

ISSN 0869-5873

Том 94, Номер 10

Октябрь 2024



ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



НАУКА

— 1727 —

ВСЕПРЕВЕДЛИВШИИ ДЕРЖАВ

СОДЕРЖАНИЕ

Том 94, номер 10, 2024

С кафедры президиума РАН

- С.А. Тихоцкий*
Актуальные направления развития геофизики в целях достижения технологического суверенитета России 873
- А.А. Соловьёв*
Геоманнитное сопровождение наклонно-направленного бурения 885
- И.В. Шпуров, М.Ю. Данько, К.С. Харченко, М.Ф. Печёркин, А.Г. Кротова, Е.А. Симаков*
Интегрированная модель управления разработкой цифрового промысла 892
- П.Н. Шебалин, С.А. Тихоцкий, А.А. Коваленко*
О совершенствовании подходов к сокращению ущерба от землетрясений 900
- В.И. Богоявленский, И.В. Богоявленский, А.В. Кишанков*
Геофизические методы обеспечения технологического суверенитета и национальной безопасности России в Арктике 910
-

К 300-летию Российской академии наук

- Ю.А. Золотов*
Отечественные исследования по истории химии 929
-

Из рабочей тетради исследователя

- О.Д. Воробьёва, А.В. Топилин, В.А. Устинова*
Миграционные потери и воспроизводство населения малых и средних городов северо-запада России 937
-

Этюды об учёных

- В.Г. Дегтярь*
“В нашем деле нет мелочей”
К 100-летию со дня рождения академика В.П. Макеева 951
-

Официальный отдел

- О присуждении медалей Российской академии наук с премиями для молодых учёных и для обучающихся по образовательным программам высшего образования по итогам конкурса 2023 года 958
-
-

CONTENTS

Vol. 94, № 10, 2024

From the Rostrum of the RAS Presidium

- S.A. Tikhotsky*
On the current directions of the development of geophysics in order to achieve the technological sovereignty of the Russian Federation 873
- A.A. Soloviev*
Geomagnetic support for directional drilling 885
- I.V. Shpurov, M.Yu. Danko, K.S. Kharchenko, M.F. Pecherkin, A.G. Krotova, E.A. Simakov*
Integrated model for digital oil field development management 892
- P.N. Shebalin, S.A. Tikhotsky, A.A. Kovalenko*
On improving approaches to reducing earthquake damage 900
- V.I. Bogoyavlensky, I.V. Bogoyavlensky, A.V. Kishankov*
Geophysical methods for ensuring technological sovereignty and national security of Russia in the Arctic 910
-

For the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences

- Yu.A. Zolotov*
Domestic research on the history of chemistry 929
-

From the Researcher's Notebook

- O.D. Vorobieva, A.V. Topilin, V.A. Ustinova*
Migration losses and reproduction of the population of small and medium cities of north-west Russia 937
-

Profiles

- V.G. Degtyar*
“There are no trifles in our job”
For the 100th anniversary of the birth of academician V.P. Makeev 951
-

Official Section

- On the awarding of medals of the Russian Academy of Sciences with prizes for young scientists and for students in higher education programs based on the results of the 2023 competition 958
-
-

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОФИЗИКИ В ЦЕЛЯХ ДОСТИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИИ

© 2024 г. С.А. Тихоцкий^{a,b,*}

^aИнститут физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

^bМосковский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет), Москва, Россия

*E-mail: sat@ifz.ru

Поступила в редакцию 07.08.2024 г.

После доработки 08.08.2024 г.

Принята к публикации 19.08.2024 г.

В статье анализируются наиболее актуальные задачи геофизики по обеспечению технологического суверенитета Российской Федерации в современных условиях. Дан краткий обзор роли прикладной геофизики в развитии экономики, укреплении суверенитета и безопасности страны с начала XX в. по настоящее время. Важнейшая задача этой науки состоит в обеспечении всех отраслей промышленности, в первую очередь высокотехнологичных, необходимыми минеральными ресурсами. Обоснованы наиболее важные направления геофизических исследований, включая поиск и разведку экономически эффективных месторождений стратегического минерального сырья, повышение эффективности добычи углеводородов и твёрдых полезных ископаемых на основе геофизического мониторинга, обеспечение геофизической безопасности. Отмечается, что соответствующие цели недостижимы без технологического суверенитета самой геофизической отрасли, что означает необходимость создания отечественных геофизических приборов, оборудования, программного обеспечения и технологий. Предложены направления развития геофизических технологий. Констатируется, что для технологического прорыва в геофизической отрасли необходимо объединить усилия учёных разного профиля: геофизиков, геологов, физиков и математиков. Статья подготовлена на основе доклада, заслушанного на заседании президиума РАН 11 июня 2024 г.

Ключевые слова: геофизика, технологический суверенитет, минерально-сырьевая база, стратегические полезные ископаемые, геофизический мониторинг, эффективность добычи углеводородов, сейсмическая безопасность.

DOI: 10.31857/S0869587324100016, EDN: ESPBPW

Геофизика, понимаемая как наука о физических процессах в недрах Земли и изучении строения недр посредством физических полей и явлений, сравнительно молода. Так, первый электромеханический сейсмограф — прибор для регистрации колебаний земной поверхности — был создан академиком



ТИХОЦКИЙ Сергей Андреевич — член-корреспондент РАН, директор ИФЗ РАН.

Б.Б. Голицыным в 1906 г., немногим более столетия назад. Между тем уже начиная с первой половины XX в. геофизика играла важнейшую роль не только в познании фундаментальных закономерностей строения и эволюции нашей планеты, но и в решении прикладных задач развития экономики, включая поставку минерально-сырьевых ресурсов, а также в обеспечении обороны и безопасности страны. Причём роль геофизики, как будет показано далее, зачастую оказывалась критически важной именно в переломные моменты, когда под влиянием внешних и внутренних факторов происходила перестройка промышленности и экономики в целом.

Современный этап развития характеризуют вызовы, во многом подобные тем, с которыми столкнулась молодая советская страна в 20–30-е годы XX в. Необходимо в кратчайшие сроки перестроить экономику на выпуск высокотехнологичной

продукции. При этом достижение технологического суверенитета означает не только развитие собственных компетенций по всему промышленному спектру, но и обеспечение производства всеми необходимыми минерально-сырьевыми ресурсами. Высокотехнологичные изделия содержат значительные количества металлов (включая редкоземельные) и полуметаллов. Например, для создания одного смартфона нужно переработать 30–40 кг различных руд [1]. Важнейший современный тренд – активное развитие электрического транспорта, включая автономные беспилотные системы, что невозможно без создания компактных и энергоёмких аккумуляторов, в состав которых входят значительные объёмы таких элементов, как литий, кадмий, никель. Не меньшее значение имеют металлы платиновой группы, свинец, цинк и иные полезные ископаемые, отнесённые к стратегическому минеральному сырью распоряжением Правительства РФ от 30 августа 2022 г. № 2473-р.

В современных условиях обладание запасами соответствующих руд и технологиями их обогащения становится одним из основных факторов экономической конкуренции и влияния на международной арене. Наглядной иллюстрацией такого положения дел может служить введённый Китайской Народной Республикой в 2023 г. запрет на экспорт галлия, германия и их соединений – ключевых элементов, используемых в производстве полупроводниковых устройств. Поэтому невозможно полагаться на закупки критически важного для промышленности минерального сырья даже в дружественных странах. Экономика Российской Федерации должна быть обеспечена минерально-сырьевыми ресурсами, добываемыми на территории страны. Разведка и освоение значительных запасов стратегического минерального сырья позволит, кроме того, реализовывать его на мировом рынке.

В области поиска и разведки таких полезных ископаемых в последние 30 лет наблюдается застой, хотя в советский период на территории нашей страны было разведано значительное количество месторождений. Однако концентрации полезных элементов в рудах этих месторождений относительно низкие, что требует применения для их переработки до необходимых в промышленности концентраций и чистоты дорогостоящих и зачастую недоступных в настоящее время отечественной промышленности технологий. Решение этой проблемы должно состоять во встречном движении: с одной стороны, необходимо разрабатывать новые технологии обогащения руды, с другой – вести поиск и разведку месторождений с высокими концентрациями и качеством руд. Геолого-минералогические исследования позволяют утверждать, что такие месторождения присутствуют на территории Российской Федерации, в частности в Восточной Сибири и Арктической зоне [2, 3]. Здесь можно ожидать открытия богатых месторождений редкоземельных руд,

сходных с теми, которые обнаружены в Китае [4]. Однако их поиск и разведка осложнены труднодоступностью территорий и тем, что рудные объекты перекрыты осадочными отложениями. В этих условиях единственным способом определения районов, перспективных на обнаружение богатых руд, остаётся применение разномасштабных геофизических исследований, включая дистанционные: от космической съёмки до съёмок с БПЛА, с детализацией при помощи наземных работ в пределах выделенных участков.

Несмотря на повышенное внимание к месторождениям твёрдых полезных ископаемых и активно обсуждаемые перспективы “зелёной” энергетики, сложился консенсус относительно того, что углеводороды продолжают сохранять важнейшее значение на протяжении десятилетий. Помимо того, что они служат основой всей современной химической промышленности и играют важнейшую роль в создании новых материалов, углеводородное сырьё по-прежнему составляет основу энергетики. По различным оценкам [5, 6], разведанных в России традиционных запасов нефти при текущем уровне потребления хватит до 2035–2050 гг. Согласно Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 г. (утверждена распоряжением Правительства РФ № 1838-р от 11 июля 2024 г., далее – Стратегия развития МСБ), нефть и газовый конденсат отнесены к группе полезных ископаемых, достигнутые уровни добычи которых недостаточно обеспечены запасами на период до 2035 г.

В этих условиях возможны два направления развития нефтедобывающей отрасли: вовлечение в разработку так называемых нетрадиционных ресурсов (плотных коллекторов со сверхнизкой проницаемостью, высоковязких и битуминозных нефтей, отложений баженовской, доманиковой, куонамской свит и др.) и повышение эффективности разработки разведанных месторождений с целью максимального повышения коэффициента извлечения нефти. Решение и той и другой задачи невозможно без развития геофизических методов исследований. В случае с разведкой нетрадиционных ресурсов геофизики должны прежде всего указать участки, где бурение и применение методов интенсификации притока наиболее эффективно (так называемые “сладкие места” – sweet spots). Без этого экономическая эффективность разработки сомнительна и плохо предсказуема. А для повышения эффективности добычи на уже разрабатываемых месторождениях как традиционного, так и нетрадиционного типа необходим геофизический мониторинг процессов в пластах и покрывках. Это позволит не только повысить извлекаемость сырья за счёт оптимизации разработки, но и снизить риски природно-техногенных аварий при бурении и экологического ущерба. Сложность и стоимость современных технологий нефтедобычи, равно как и сложность геологических условий большинства новых месторождений,

таковы, что их разработка вслепую, без постоянного контроля геофизическими методами, практически невозможна. Здесь важно отметить, что все перечисленные выше задачи геофизики требуют не просто расширения полевых исследований, но создания качественно новых технологий как геофизического эксперимента, так и обработки и интерпретации данных, основанных на глубоком понимании физики пласта и микронеоднородных горных пород и современных методах математического моделирования и машинного обучения.

ГЕОФИЗИКА НА СЛУЖБЕ ГОСУДАРСТВА И ОБЩЕСТВА: НЕКОТОРЫЕ ВЕХИ ИСТОРИИ

1920-е годы: разведка Курской магнитной аномалии. Как уже отмечено, современные проблемы геофизической науки во многом сходны с теми, которые возникали на протяжении последних более чем 100 лет развития нашей страны. Традиционно становление прикладной геофизики в СССР связывают с разведкой железных руд Курской магнитной аномалии (КМА). Крупнейшие залежи железистых кварцитов на юге России создают высокоинтенсивное аномальное магнитное поле, которое сравнимо по амплитуде с главным (нормальным) магнитным полем Земли и потому обнаруживается по аномальному поведению стрелки компаса. О существовании КМА было известно с XVIII в., честь её открытия принадлежит академику Санкт-Петербургской академии наук П.Б. Иноходцеву, который обнаружил аномалию при проведении геодезических работ в Курской губернии. Попытки систематической разведки КМА предпринимались начиная с 1890-х годов, когда под руководством профессора Московского университета Э.Е. Лейста было выполнено около 4500 наблюдений аномального поля и пробурен ряд скважин, которые, впрочем, руды не обнаружили.

Интерес к железным рудам КМА резко вырос после 1917 г., когда молодое советское государство оказалось в международной изоляции и перед необходимостью скорейшей индустриализации, создания собственной промышленности, что требовало наличия доступного минерального сырья. Правительство поддержало работы Лейста, но в связи с ухудшением состояния здоровья он был вынужден отправиться на лечение в Германию, где планировал закончить обработку измерений и составление карт аномального поля. Однако вскоре после отъезда Лейст скончался, а правительство Германии предложило советскому правительству выкупить материалы съёмки КМА за 5 млн рублей золотом — огромная по тем временам сумма.

Нарком внешней торговли Л.Б. Красин обратился к физику и геофизику, академику П.П. Лазареву с вопросом о целесообразности выкупа. Пётр Петрович в ответ пообещал выполнить исследова-

ния за меньшие деньги и с лучшим качеством [7]. И своё слово сдержал: уже в 1923 г., через три года после начала работ, первая пробуренная скважина вскрыла залежь с рекордным даже для руд КМА содержанием железа — 71%. Положение скважины было выбрано на основании результатов магнитной съёмки. Геофизика решила ключевую задачу: указала на положение “сладкого места” — участка, где дальнейшие геологоразведочные работы наиболее эффективны. По сей день рудники КМА остаются важнейшим источником железорудного сырья для отечественной металлургии, благодаря чему обеспечиваются не только потребности отечественной промышленности, но и значительная доля экспорта чугуна, стали и металлопроката.

1930-е годы: становление работ по изучению сейсмической опасности. Ещё десятилетием ранее перед геофизикой встала и первая задача в области безопасности: необходимость оценки сейсмических воздействий. Интенсивное промышленное и гражданское строительство, в том числе на Кавказе, в Средней Азии, освоение Сибири и Дальнего Востока требовало системного подхода к оценке сейсмического риска и сейсмостойкому строительству. Особое внимание к этой проблеме было привлечено после крымских землетрясений 1927 г. Уже в марте 1928 г. для её решения декретом Совнаркома был создан Сейсмологический институт АН СССР (СИАН). Результаты проводившихся здесь исследований быстро внедрялись в практику. В 1933 г. директор СИАН член-корреспондент АН СССР П.М. Никифоров отмечал в интервью газете “Вечерняя Москва”: “Ни одно сколько-нибудь ответственное строительство в сейсмических районах СССР не обходится без более или менее обстоятельной консультации со стороны СИАНа”.

В 1937 г. была создана первая карта общего сейсмического районирования территории СССР — одна из первых карт подобного рода в мире. С тех пор и до настоящего времени нормативная система, регламентирующая строительство в сейсмоопасных регионах нашей страны, с одной стороны — одна из наиболее строгих и глубоко разработанных, а с другой — динамично развивающаяся как с точки зрения методов и подходов к оценке сейсмической опасности, так и в отношении получения и использования новых данных. Важно отметить, что вопросы оценки сейсмической опасности и сейсмического районирования с 1928 г. и до настоящего времени остаются в компетенции научных организаций, находящихся под научно-методическим руководством РАН, а принципиальные решения принимаются непосредственно в Российской академии наук на уровне Отделения наук о Земле и президиума РАН при активном участии научных советов РАН.

1930–1950-е годы: разведка “второго Баку” — Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. В дореволюционной России и в первые годы советской вла-

сти потребности отечественной промышленности в нефти полностью покрывались за счёт добычи на Апшеронском полуострове и Северном Кавказе. Малая глубина залегания, высокая проницаемость коллекторов, высокое качество нефти – всё это делало добычу в Азербайджане и последующую транспортировку в центральную Россию экономически целесообразной. Однако потребности промышленности и транспорта быстро росли, кроме того, удалённость центра нефтедобычи от промышленных регионов, помимо повышения стоимости продукции, имела негативное значение и с точки зрения безопасности государства: обеспечение экономики и армии топливом зависело от уязвимых путей транспортировки нефти (по морю, Волге и по железным дорогам) из приграничного региона, находящегося в потенциально уязвимом положении. Эти опасения подтвердились во время Великой Отечественной войны, когда в 1942 г. целью наступления гитлеровцев на Кавказе и на Волге как раз и стало перерезание нефтяной артерии.

С 1920-х годов начался поиск нефти в Поволжье, где нефтепроявления были известны с XVIII в. Буровые работы, проводившиеся на этой территории с конца XIX в., не приносили значимого результата вплоть до 1932 г., когда в Башкирии, в районе деревни Ишимбаево с глубины 680 м забил первый нефтяной фонтан. Практически одновременно подтвердилось наличие нефтяных залежей в Самарской области. В 1934–1938 гг. были приняты постановления ЦК ВКПб и Совнаркома СССР о развитии геологоразведки и добыче нефти в Поволжье. Однако в отличие от Кавказа разведка здесь требовала значительно более глубокого и сложного бурения, далеко не каждая скважина вскрывала нефтяную залежь, а бурение вслепую оказывалось чрезвычайно затратным и малоэффективным. На помощь геологам, став их глазами, пришла геофизика.

С начала 1930-х годов в СИАНе и Институте теоретической геофизики (ИТГ) АН СССР разрабатывались фундаментальные основы исследований, принципиально новые, мирового уровня методы, а также приборы и оборудование для изучения недр при помощи упругих волн – сейсмической разведки. В СИАНе талантливые математики В.И. Смирнов и С.Л. Соболев (позднее академики АН СССР) разработали метод функционально-инвариантных решений, который позволил решать задачи излучения и дифракции упругих волн в недрах [8]. Одновременно в ИТГ АН СССР Г.А. Гамбурцев (впоследствии академик, директор Геофизического института АН СССР) развернул работы по созданию чувствительных и компактных сейсмографов для проведения сейсморазведки, предложил два основных метода сейсмической разведки: преломлённых и отражённых волн. В 1941 г. Гамбурцеву была присуждена Сталинская премия за разработку методов и аппаратуры для сейсмической разведки.

Результаты этих работ и поныне составляют основу всей нефтегазовой геофизики.

Показательно, насколько быстро происходило в те годы внедрение фундаментальных исследований в практику. 17 июня 1941 г. президиум АН СССР принял постановление о разработке методов поиска новых нефтяных месторождений в Башкирии [9], которое предусматривало создание Башкирской экспедиции, объединяющей усилия институтов АН СССР с включением в состав рядов работников Наркомнефти. Руководитель экспедиции – вице-президент АН СССР академик О.Ю. Шмидт, руководитель геофизических работ – профессор Г.А. Гамбурцев. Экспедиция немедленно приступила к исследованиям в Поволжье, применяя весь арсенал только что созданных геофизических методов (Гамбурцев лично руководил полевыми работами в Башкирии). Применение методов сейсмической разведки радикально изменило подход к поискам нефти, позволив перейти от бурения практически вслепую, на основании косвенных признаков, к площадному поиску нефтяных ловушек – антиклинальных структур, в сводах которых закладывались поисковые скважины. Геофизика доказала свою высокую эффективность: уже в 1944 г. с её помощью было открыто крупнейшее Ромашкинское месторождение нефти и множество других структур. С 1940 по 1943 г. число геофизических партий в СССР увеличилось вдвое – с 46 до 92.

Состоявшееся во многом именно благодаря геофизическим исследованиям открытие “второго Баку”, как стали называть Волго-Уральскую нефтегазозоносную провинцию, позволило обеспечить нефтью и продуктами её переработки промышленность и армию в годы войны, а также сыграло огромную роль в послевоенном восстановлении страны.

1940–1950-е годы: атомный проект. Велик вклад геофизической науки в развитие атомной промышленности. В 1946–1951 гг. под руководством Г.А. Гамбурцева велась разведка урановых руд, составивших минерально-сырьевую базу атомного проекта. Кроме того, именно геофизические исследования сделали возможным контроль за проведением ядерных испытаний, что стало основой Договора о всеобъемлющем их запрещении. В 1954 г. по распоряжению Совета министров СССР в структуре Геофизического института АН СССР была создана специальная сейсмометрическая обсерватория и начато строительство двух высокочувствительных сейсмических станций [10]. Их создание значительно затрудняла ограниченная на тот момент чувствительность низкочастотных сейсмографов, необходимых для регистрации волн и оценки параметров испытаний в любом регионе планеты. Потребовалось тщательно выбирать места и способ размещения аппаратуры. К 1958 г. эти обсерватории зарегистрировали 31 ядерное испытание, тогда как США сообщили лишь о 14.

1945–1970-е годы: Сибирская нефть. Быстрый рост промышленности в послевоенные годы, освоение Сибири и Дальнего Востока увеличивали потребности нашей страны в нефти и газе. Рекогносцировочные работы в Западной Сибири были начаты ещё в 1930-е годы, с 1948 г. начато бурение опорных скважин. Первые нефтяные фонтаны в Западной Сибири удалось получить в 1960–1961 гг., в 1965 г. было открыто крупнейшее Самотлорское нефтяное месторождение, в 1969-м — гигантское Ямбургское газовое месторождение.

К тому времени разведочная геофизика уже доказала свою эффективность при поисках нефти и газа, продолжалось активное развитие её аппаратурной, теоретической и методической базы. Большую роль в этом сыграли учёные Новосибирского научного центра академики Н.Н. Пузырёв, С.В. Гольдин и их ученики, а также ленинградская научная школа профессора Г.И. Петрашеня, разрабатывавшая теорию распространения сейсмических волн. В 1970-е годы была внедрена система многократных перекрытий в методе отражённых волн (метод МОВ–ОГТ), которая позволила кратно увеличить разрешающую способность сейсморазведки и обеспечила существенный прирост геологической информации. Геофизическая наука и производство шли в те годы рука об руку, как и ранее, при разведке Волго-Уральской провинции, результаты научных исследований быстро внедрялись в практику. В качестве примера можно привести инициативу главного инженера Тюменского территориального геологического управления Л.Г. Цибулина по созданию регулярной сети регионального сейсмического профилирования МОВ–ОГТ [11]. Эта уникальная система позволила получить целостное представление о строении Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна и определить стратегию поисковых работ, что привело к быстрому увеличению разведанных запасов нефти и газа, которые и по сей день составляют основу нефтегазовой отрасли нашей страны. В 1980-е годы объём и качество сейсморазведочных работ в Западной Сибири возросли благодаря применению новых методов и аппаратуры. Наступила эпоха 3D-сейсморазведки, которая до настоящего времени служит ведущим методом нефтегазовой геофизики. Значение успешного освоения запасов сибирской нефти для развития экономики и обеспечения стратегических интересов России на международной арене, как и роль в этом методов разведочной геофизики, переоценить невозможно.

ЗАДАЧИ ГЕОФИЗИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Поиск и разведка месторождений стратегического минерального сырья. Достижение технологического суверенитета Российской Федерации невозможно без устойчивого обеспечения промышленности

стратегическими металлами, бокситами, графитами, кварцевым и другим сырьём, необходимым для высокотехнологичных наукоёмких производств, включая атомную и оборонную промышленность, металлургию, микроэлектронику, авиационную, космическую отрасли, автомобилестроение, машиностроение, “зелёную” энергетику, производство медицинского оборудования.

Согласно Государственному докладу о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации за 2021 год и Стратегии развития МСБ, минерально-сырьевая база России с её балансовыми геологическими запасами составляет основу функционирования и стабильного развития добывающей и перерабатывающей отраслей национальной экономики. Перечнем поручений Президента Российской Федерации от 28.06.2022 г. № Пр-1130 предусмотрена разработка Федеральной научно-технической программы, направленной на обеспечение комплексного сопровождения геологоразведочных работ, добычу и промышленную переработку твёрдых полезных ископаемых, а также ускоренное замещение импортных технологий и оборудования российскими аналогами.

Минерально-сырьевой потенциал нашей страны способен обеспечить решение всех актуальных задач национальной экономики и национальной безопасности исходя из стратегических целей при любых сценариях развития мировой ситуации до 2060 г. В то же время значительная часть разведанных к настоящему времени на территории Российской Федерации месторождений стратегического минерального сырья содержит руды с низким содержанием ценных компонентов, обогащение которых до уровня, необходимого для извлечения соответствующих элементов в промышленных масштабах, требует привлечения сложных и дорогостоящих технологий. Вместе с тем геологические и геофизические данные указывают на наличие на территории Российской Федерации, прежде всего в Сибири и Крайнем Севере, месторождений стратегического сырья с запасами высококачественных руд. С точки зрения металлогенической зональности практически вся территория Дальневосточного федерального округа относится к Тихоокеанскому рудному поясу (ТРП), в пределах которого находится до 36% мировых запасов золота, 54% запасов серебра, 43% — цинка, 28% — свинца, 51% — молибдена, 86% — сурьмы, до 80% — редкоземельных металлов [12]. При этом сектор ТРП на востоке России занимает территорию, практически в 2 раза превышающую Южно-Американский сектор ТРП, и примерно равен по площади Северо-Американскому сектору ТРП.

Глобальная металлогеническая однородность ТРП позволяет предположить возможность открытия в его пределах поныне слабо изученного российского сектора крупных месторождений богатых руд, сопоставимых с зарубежными аналогами [2, 3, 12].

Это могут быть уникальные месторождения бериллия, такие как Спур Маунтин (США), из руд которого добывается до 70% этого металла в мире, марганца (высокодефицитного металла) с качеством руд, позволяющим использовать их без обогащения (аналоги месторождений Чили), иттрия и других редкоземельных элементов (аналогичные месторождения Китая) [4], а также других стратегических полезных ископаемых.

Трудности геологоразведки на этих территориях определяются сложным геологическим строением, а рудные объекты в большей части перекрыты породами различного генезиса, что делает практически невозможным их непосредственное геологическое изучение. В этих условиях ключевая роль в поисках и разведке месторождений принадлежит геофизическим методам исследований различного масштаба: от дистанционных космических съёмок и аэросъёмок до детальных работ на суше и акваториях (рис. 1).

На первом этапе необходимо составить базу данных по физическим полям, связанным с известными месторождениями определённых приоритетных типов в России и за рубежом (поле силы тяжести, магнитное поле), данных гиперспектральных съёмок, а также детальной информации о физических свойствах пород, составляющих как сами месторождения, так и вмещающие и ассоциированные структуры. Для этого могут быть использованы как фондовые материалы Росгеолфонда, так и об-

щедоступные данные спутниковых и аэросъёмок, иные модели аномальных полей. Физические поля должны быть приведены (редуцированы) к уровням высот съёмок, соответствующим тем, которые планируется использовать при поиске новых месторождений. Аномальное магнитное поле также необходимо редуцировать к магнитной широте участка съёмки, поскольку один и тот же объект по-разному выглядит в аномалиях магнитного поля вблизи полюса и вблизи экватора — в зависимости от направления вектора главного магнитного поля Земли.

Собранные и обработанные таким образом материалы составляют основу для обучения алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ), таких как нейронные сети, обнаружения “эталонных образов” месторождений в физических полях различного масштаба. Однако экспериментальных данных для обучения может быть недостаточно как в количественном (число известных месторождений и объём съёмок ограничены), так и в качественном (строение и состав месторождений сильно варьируют) отношении. Для преодоления этой проблемы необходимо строить обобщённые вероятностные модели месторождений, под которыми понимаются структурно-вещественные модели, отражающие общие закономерности строения и состава, конкретные параметры которых носят вероятностный характер — описываются распределениями вероятности. При создании таких моделей ведущую роль играет опыт геологов, специалистов по соответству-

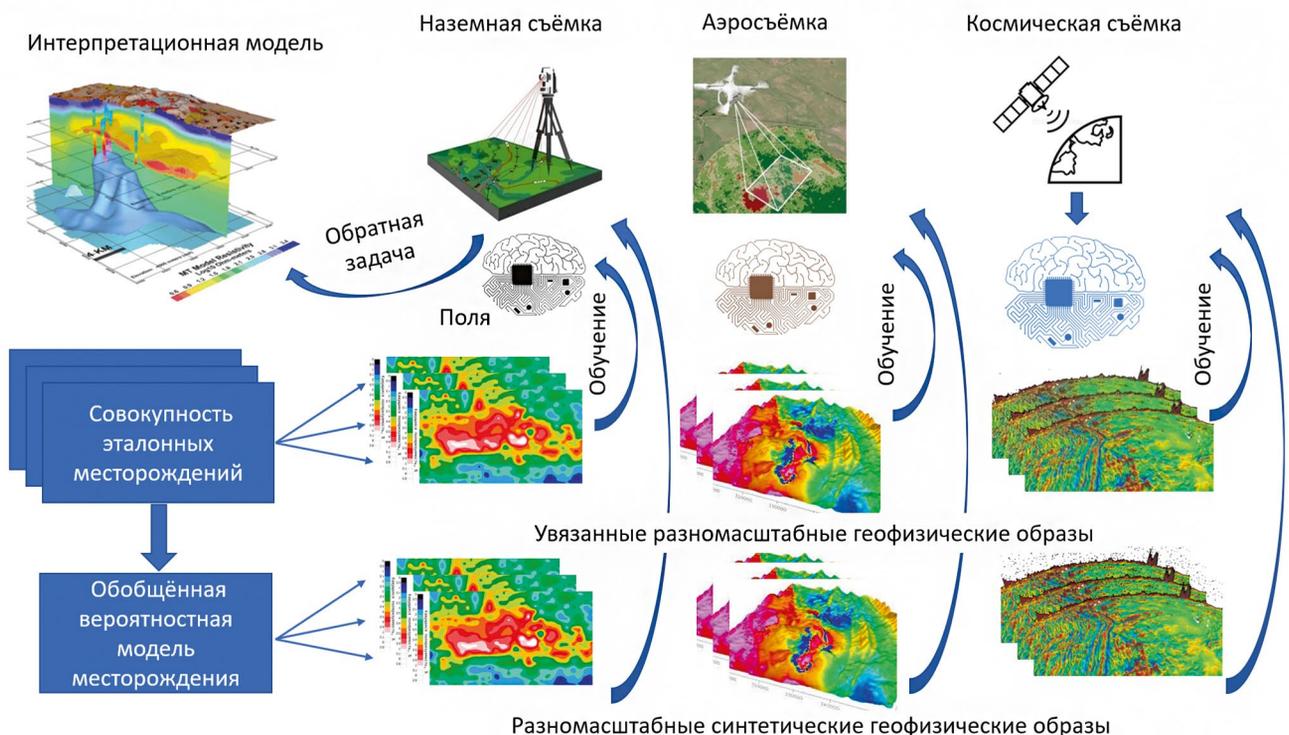


Рис. 1. Принципиальная схема поиска и разведки месторождений стратегического минерального сырья на основе разномасштабных геофизических исследований и методов распознавания образов

ющим месторождениям. Формализация этого опыта и дальнейшее генерирование набора вероятных моделей могут быть выполнены на основе комбинации методов теории вероятности, нечёткой логики и генеративных нейронных сетей. В результате удастся создать разномасштабные синтетические геофизические образы месторождений, которые также могут послужить материалом для обучения алгоритмов распознавания.

Применение обученных алгоритмов к результатам спутниковых и мелкомасштабных аэросъёмок позволит выделить перспективные для дальнейшего поиска участки. Очевидно, что результаты работы алгоритмов должны быть критически проанализированы геологами, специалистами по рудным месторождениям с целью их геологически обоснованной приоритизации. На выделенных приоритетных участках описанный граф обработки данных повторяется, но уже с использованием данных съёмки более крупного масштаба: фондовых (при наличии), либо специально проводимых съёмки с использованием воздушных судов, в том числе беспилотных. На этом этапе перспективно использование результатов аэроэлектрических зондирований. В случае подтверждения перспективности участков производится их дальнейшая детализация и на её основе – планирование крупномасштабных наземных съёмки и геофизических исследований методами сейсморазведки и электроразведки.

После подтверждения наличия месторождения работы переходят в стадию детальной разведки залежи. Здесь следует активно применять методы высоко разрешающей сейсмо- и электроразведки с обработкой и интерпретацией данных, основанных на высокопроизводительных вычислениях. Решающее значение также имеет развитие геофизических исследований в скважинах. Важно отметить, что в последние годы в связи с актуальностью инженерно-геофизических изысканий при строительстве объектов инфраструктуры отечественной геофизической школой был накоплен значительный опыт проведения малоуглубленных геофизических исследований высоконеоднородных геологических сред, который может быть успешно использован при решении рудных задач. Следует отдельно отметить уникальный комплекс электроразведочных технологий, в частности скважинных методов, разработанный в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН под руководством академика М.И. Эпова.

Итогом геофизических исследований становится интерпретационная модель месторождения, построенная по результатам комплексной интерпретации всей совокупности геофизических данных и данных бурения с участием геолога, специалиста по конкретному типу месторождений. Применение описанной методологии может существенно интенсифицировать поиск обширных

труднодоступных территорий и сократить затраты на геологоразведку за счёт применения методов дистанционного зондирования, искусственного интеллекта и правильной приоритизации направлений работ.

Повышение эффективности добычи полезных ископаемых на основе геофизического мониторинга. К настоящему времени близки к исчерпанию легко извлекаемые запасы многих полезных ископаемых – как углеводородов, добываемых без применения специальных технологий интенсификации притока, так и ряда твёрдых полезных ископаемых, например алмазов, добываемых карьерным способом. В этих условиях особое значение приобретает повышение эффективности добычи, причём не только на старых месторождениях, но и при освоении новых нетрадиционных ресурсов. Помимо повышения эффективности добычи, мониторинг служит необходимым элементом системы снижения рисков чрезвычайных ситуаций при разработке месторождений, включая аварийность при бурении и эксплуатации скважин и при организации горных выработок.

Повышение эффективности добычи углеводородов входит в число приоритетов, сформулированных в Стратегии научно-технологического развития России, утверждённой Указом Президента РФ № 145 от 28.02.2024 г. (п. 21.6), а технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды и снижения рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера отнесены к перечню критических технологий, определённых Указом Президента РФ № 259 от 18.06.2024 г. (п. 19). Применительно к месторождениям полезных ископаемых такие технологии в своём большинстве основаны на геофизических методах исследования.

Наиболее распространённый и эффективный способ геофизического мониторинга разработки месторождений углеводородов – проведение повторных сейсмических съёмки (4D-сейсморазведка), а также гравиметрический мониторинг и методы электрического каротажа в скважинах. Сопоставление результатов съёмки, полученных в последовательные периоды времени, позволяет судить о сопровождающих разработку изменениях в коллекторе и покрышках. Наиболее ярко могут быть выражены изменения положения водонефтяного, газонефтяного или водогазового контактов, происходящие вследствие сокращения объёма углеводородов в пласте. Применяемые в комплексе с современными методами физики горных пород материалы повторных сейсмических съёмки позволяют количественно оценивать изменения параметров многофазного флюидонасыщения и эволюции фильтрационно-ёмкостных свойств [13], включая формирование и деградацию трещиноватости коллектора. На основании этих сведений можно судить о скорости и направлениях миграции флюидов,

контролировать формирование локальных изолированных залежей и вносить необходимые коррективы во флюидодинамическую модель месторождения, планы бурения и стратегию разработки.

Наряду с фиксацией изменений непосредственно в коллекторе сейсмический мониторинг обеспечивает возможность контроля герметичности и стабильности покрышек, обнаружения путей утечки углеводородов, активации разломов. В комплексе с методами резервуарной геомеханики и физики горных пород данные сейсмического мониторинга позволяют судить об изменениях напряжённо-деформированного состояния среды месторождения. Эта информация необходима для правильного планирования применения методов интенсификации притока, включая гидравлический разрыв пласта (ГРП), а также для предотвращения аварийности на действующих и бурящихся скважинах, снижения рисков загрязнения окружающей среды.

Помимо повторных сейсмических съёмок (активный мониторинг) целесообразно применять пассивный мониторинг процесса разработки, то есть регистрацию процессов сейсмоакустической эмиссии, сопровождающей разработку. Пассивный сейсмоакустический мониторинг при проведении гидроразрыва пласта позволяет реконструировать фактические параметры трещины гидроразрыва (направление развития, высоту и длину) и вносить необходимые коррективы в планирование последующих ГРП. Источниками акустической эмиссии также могут выступать активизация разломов и процессы фильтрации. Пассивный мониторинг разработки целесообразно проводить с использованием как наземных, так и скважинных методов регистрации.

Эффективность систем 4D-мониторинга практически доказана более чем 15-летним опытом успешной работы западных добывающих компаний на Северном море, увеличивших сроки службы своих месторождений на 10–15 лет с экономическим эффектом в сотни миллионов долларов.

Специфика задач геофизического мониторинга предъявляет особые требования к используемым аппаратно-программным комплексам. Уровень дифференциального сигнала, отвечающего изменениям в залежи, как правило, невелик, и для его устойчивого обнаружения и интерпретации необходимо минимизировать помехи и искажения. Это, в частности, означает необходимость весьма точного повторения геометрии съёмки — положения пунктов регистрации и возбуждения. Особую сложность эта задача представляет при мониторинге месторождений углеводородов на шельфе. Повторные сейсмические съёмки с плавающими регистрирующими косами малоэффективны для целей мониторинга как вследствие высокого уровня шумов, так и из-за невозможности точного повторения геометрии

съёмки. Съёмки с использованием автономных донных станций более предпочтительны из-за меньшего уровня шума, однако необходимость подъёма станций между последовательными сериями съёмки для считывания данных и зарядки аккумуляторов не позволяет точно выдерживать геометрию. Кроме того, оба указанных способа пригодны только для активного мониторинга.

Перечисленных недостатков лишены донные регистрирующие системы (косы), устанавливаемые на дне акватории на весь период эксплуатации месторождения и позволяющие передавать данные в режиме реального времени. Однако разработка, производство и установка таких систем — технически сложная задача, поскольку к ним предъявляются повышенные требования надёжности: продолжительность функционирования системы без возможности технического обслуживания её элементов должна достигать десятков лет.

Наиболее перспективная технология для достижения требуемых показателей предполагает использование оптоволоконных сенсоров: низкое энергопотребление, инертность по отношению к морской воде и электромагнитным помехам, высокая стабильность, относительно малый вес и компактность, низкая стоимость (для ряда конкретных конструкций) единичного датчика — всё это делает оптоволоконные технологии весьма удобными для организации систем мониторинга. Вместе с тем наиболее распространённые конструкции оптоволоконных сейсмических датчиков (на принципе обратного рассеяния [14] и на основе решёток Брегга [15]) не лишены существенных недостатков: узкая диаграмма направленности, малый динамический диапазон, сложная амплитудно-частотная характеристика и распределённый характер датчиков на обратном рассеянии, чувствительность к температуре [16].

Можно констатировать, что, несмотря на очевидные перспективы и быстрое развитие оптоволоконных систем сейсмического мониторинга, до настоящего времени не разработана единая технология (конструкция), которая обладала бы необходимой универсальностью для её тиражирования. Мировая практика такова, что систем сейсмического 4D-мониторинга в продаже нет, они разрабатываются под конкретное месторождение по заказу добывающих или сервисных компаний. Среди производителей можно выделить Sercel Optoplan и Alcatel Submarine Networks, создавших системы Ekofisk LoFS (месторождения Ekofisk и Valhall в Северном море) и Optoplan (месторождение Johan Sverdrup также в Северном море).

Учитывая высокий мировой уровень отечественных научных школ в области фотоники и оптоволоконных технологий, наличие собственного производства оптического волокна и лазерных систем, можно утверждать, что российские учёные обладают

хорошим заделом не только для успешного создания аналогов зарубежных образцов, но и для разработки более совершенных оптоволоконных систем сейсмической регистрации и мониторинга. Для этого необходимо объединить усилия геофизиков и оптиков, что уже происходит.

Необходимость геофизического мониторинга связана не только с разработкой месторождений углеводородов, но и с другими задачами развития минерально-сырьевой базы, строительства, а также с проблемами снижения углеродного следа. В частности, по мере увеличения глубины горных выработок становится невозможной добыча алмазной руды карьерным способом. Вместе с тем более глубокие горизонты кимберлитовых трубок содержат достаточные для экономически эффективной разработки запасы алмазного сырья. Взрывные работы при добыче подземным способом могут приводить к дроблению кристаллов и снижению стоимости алмазов. Поэтому перспективна добыча с использованием метода самообрушения, когда кимберлитовое тело подрезается, после чего обрушение породы происходит под собственным весом [17]. Однако такой метод невозможен без постоянного мониторинга процесса обрушения, который гарантировал бы контроль полноты выработки и безопасность работ. Наиболее эффективным способом такого мониторинга служит пассивный непрерывный сейсмоакустический мониторинг, для осуществления которого целесообразно применять оптоволоконные датчики. Сходная ситуация складывается при мониторинге процессов разработки калийных солей [18] и других твёрдых полезных ископаемых.

Помимо сейсмоакустического мониторинга высокой информативностью обладает высокоточный мониторинг деформаций земной поверхности в пределах разрабатываемых месторождений углеводородов и твёрдых полезных ископаемых, а также подземных хранилищ газа. Целесообразно комплексирование наземного геодезического и гравиметрического мониторинга, а также применение систем радарной спутниковой интерферометрии. До последнего времени такой мониторинг вёлся с использованием материалов зарубежных спутниковых систем, однако в связи с введением недружественными странами санкционного режима получение таких снимков стало практически невозможным. Недавно состоявшийся запуск первого отечественного спутникового радара с возможностью интерферометрической съёмки «Кондор-ФКА» должен восполнить этот пробел.

Следует отметить, что разработка программного обеспечения для обработки и интерпретации геофизических данных (в том числе получаемых с помощью систем радарной спутниковой интерферометрии), моделирования геологических объектов и геологоразведки в целом — одна из важнейших

задач. Согласно оценкам, приведённым в Стратегии развития минерально-сырьевой базы, доля зарубежного программного обеспечения в этом секторе отечественного рынка достигает 90%, что создаёт неприемлемые риски для технологического суверенитета в геологоразведочной отрасли.

Обеспечение сейсмической и вулканической безопасности. Актуальность задач сопровождения строительства и жизнедеятельности в сейсмоопасных и вулканоопасных районах (особенно при возведении АЭС, трубопроводов, мостов и иных особо ответственных объектов) сегодня возрастает. Это связано с рядом факторов, в числе которых перенаправление транспортных коридоров в восточном направлении — через районы высокого сейсмического риска и активного вулканизма, увеличение этажности и конструкционной сложности объектов строительства, повышение требований к промышленной и экологической безопасности. Существует настоятельная необходимость качественного обновления подходов к оценке сейсмической опасности, то есть вероятности величины ожидаемых воздействий на конкретный объект (территорию) от всех известных сейсмических источников. Технология такой оценки достаточно проработана и применяется на различных масштабных уровнях, подразделяемых на общее сейсмическое районирование (ОСР) и детальное сейсмическое районирование (ДСР). Для целей ОСР и ДСР практически везде в мире наиболее широко используется модель приуроченности сильных землетрясений к активным тектоническим разломам. В России с 1997 г. в ОСР реализуется её вариант — линеаментно-доменная модель зон возможных очагов землетрясений. 25-летний опыт её применения свидетельствует о необходимости совершенствования подходов к определению этих зон. Оказывается, что значительная доля новых землетрясений происходит в местах, где катаклизмы большой разрушительной силы не ожидалось, и наоборот, в среднем опасность возникновения сильных землетрясений на обширных территориях оказывается завышенной.

Существенный недостаток линеаментно-доменой модели состоит в низкой региональной сейсмо-тектонической изученности территории России и во многом субъективном характере картирования сейсмолинеаментов. Нуждаются в совершенствовании подходы к моделированию сейсмического режима, включая оценку максимальной возможной магнитуды. В настоящее время разрабатываются методы распознавания мест возможного возникновения сильных землетрясений с использованием элементов искусственного интеллекта и системного анализа [19].

Совершенствование системы ОСР предполагает обновление научной сейсмологической и сейсмо-тектонической основы (то есть базового каталога землетрясений, включая палео-, архео- и историче-

ские сейсмособытия, методы и алгоритмы расчёта) и модернизацию процедуры применения результатов ОСР. В части повышения качества научной сейсмологической основы необходимо сосредоточить усилия на основных источниках ошибок сейсмического районирования: речь идёт о недостатках моделирования сейсмического режима, низкой представительности базового каталога и низкой сейсмотектонической изученности. Моделирование воздействий от конкретных землетрясений с учётом амплитудно-частотных параметров их очагов, локальных грунтовых условий, характеристик сооружений также составляет важную часть современных подходов к оценке сейсмической опасности. Для усовершенствования и проверки таких моделей следует развивать сеть акселерометров, регистрирующих воздействия от землетрясений на конкретные здания и сооружения.

Важно научно обосновать и утвердить максимально прозрачную и понятную процедуру составления и утверждения карт ОСР. Современные технологии с возможностью быстро проводить расчёт интенсивности по данным о сейсмогенерирующих структурах и каталогу землетрясений позволяют предложить новую концепцию цифровой карты ОСР, которая поможет существенно повысить точность и прозрачность всего процесса. При этом вместо карты целесообразно утверждать сам алгоритм расчёта интенсивности сейсмических воздействий на основе модели сейсмогенерирующих структур и каталога землетрясений. Периодическое обновление соответствующих данных позволит вносить уточнения в цифровую карту только в тех регионах, где данные обоснованно уточнены.

Внедрение новых подходов к оценке сейсмической опасности будет способствовать существенно снижению сопутствующих рисков и повышению экономической эффективности строительства. Более подробно соответствующие вопросы освещены в работе [20].

* * *

На протяжении столетия геофизическая наука играет неотъемлемую роль в укреплении суверенитета и безопасности нашей страны, включая обеспечение экономики минеральным сырьём, выявление риска землетрясений и вулканических извержений, решение вопросов обороны. Значение прикладной геофизики возрастало в кризисные моменты истории, когда возникала необходимость качественной перестройки технологического уклада. В настоящее время роль этой важнейшей области науки определяется, во-первых, необходимостью скорейшей разведки и эффективной разработки месторождений стратегических видов минерального сырья, которые, как указано в Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года, “являются особо важными для устойчи-

вого функционирования и стратегического развития национальной экономики, обеспечения национальной обороны и безопасности и удовлетворения потребностей высокотехнологичных секторов промышленности”.

В этой связи следует в первую очередь сосредоточить усилия на поисках и разведке экономически эффективных месторождений стратегических твёрдых полезных ископаемых — руд металлов и неметаллов. Особенности их размещения на территории России увеличивают значение разномасштабных (от космических до наземных) геофизических исследований для решения этой задачи. Не менее актуально развитие методов геофизического мониторинга разработки месторождений углеводородов и твёрдых полезных ископаемых с целью повышения эффективности их добычи и снижения риска природно-техногенных аварий и экологического ущерба. Расширение инфраструктуры и перестройка транспортных коридоров на востоке России усиливают роль геофизики в обеспечении сейсмической и вулканической безопасности объектов, расположенных в зонах сейсмического и частично вулканического риска.

Решение перечисленных задач в условиях санкций недружественных стран, которые прямо затрагивают поставки геофизического оборудования и программного обеспечения, требует масштабной работы по созданию соответствующих отечественных продуктов. Достижения отечественных научных школ в области геофизики, физики, механики, фотоники и оптоволоконных технологий, молекулярной электроники, вычислительной математики и математического моделирования, космического приборостроения, искусственного интеллекта позволяют не просто заместить зарубежные аналоги, но создать передовые геофизические технологии.

В целях обеспечения технологического суверенитета в геолого-геофизической отрасли необходимо объединить усилия не только геофизиков, но и широкого круга учёных и специалистов — геологов, физиков, математиков. Поэтому целесообразно рассмотреть вопрос о геофизическом сопровождении развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации, обеспечении технологического суверенитета в геолого-геофизической отрасли, геофизической безопасности территории России в рамках комплексной научно-технической программы, реализуемой консорциумом научных и научно-производственных организаций под общим научно-методическим руководством Российской академии наук.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках Государственного задания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Merchant B.* Everything that's inside your iPhone // Motherboard. 2017.
2. *Волков А.В., Сидоров А.А.* Минеральное богатство Тихоокеанского рудного пояса // Вестник РАН. 2019. Т. 89. № 2. С. 157–165. DOI: 10.31857/S0869-5873892157-165
Volkov A.V., Sidorov A.A. The mineral wealth of the Pacific Ore Belt // Herald of the RAS. 2019, vol. 89, no. 2, pp. 157–165. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0869-5873892157-165
3. *Волков А.В., Сидоров А.А.* Недра российской Арктики – кладовая металлов для “зелёных” технологий // Вестник РАН. 2020. Т. 90. № 1. С. 56–62. DOI: 10.1134/S1019331620010141
Volkov A.V., Sidorov A.A. The Interior of the Russian Arctic: A Trove of Metals for Green Technology // Herald of the RAS. 2020, vol. 90, no. 1, pp. 73–78. DOI: 10.1134/S1019331620010141
4. *Середин В.В., Кременецкий А.А., Трач Г.Н. и др.* Новый потенциально промышленный тип иттриево-земельной минерализации в Юго-Западном Приморье // Разведка и охрана недр. 2006. № 9–10. С. 37–42.
Seredin V., Kremeneckij A., Trach G. et al. A new potentially industrial type of REY mineralization in southwestern Primorye // Prospect and protection of mineral resources. 2006, no. 9–10, pp. 37–42. (In Russ.)
5. Глава Минприроды Сергей Донской: нефти в России осталось на 29 лет, а газа – на 80. // E²energy. 2017. <https://eenergy.media/news/3291>
The head of the Ministry of Natural Resources and Environment Sergey Donskoy: There are 29 years of oil left in Russia, and 80 years of gas left. // E²energy. 2017. (In Russ.) <https://eenergy.media/news/3291>
6. International Energy Agency. Resources to Reserves 2013: Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future. – OECD Publishing, 2013.
7. *Дерягин Б.В.* Пётр Петрович Лазарев (К столетию со дня рождения) // Успехи физических наук. 1978. Т. 125. № 5. С. 11–18. DOI: 10.3367/UFNr.0125.197805c.0011
Deryagin B. Petr Petrovich Lazarev (on the one-hundredth anniversary of his birth) // Physics-Uspexhi (Advances in Physical Sciences). 1978, vol. 125, no. 5, pp. 11–18. (In Russ.) DOI: 10.3367/UFNr.0125.197805c.0011
8. *Соболев С.Л., Михлин С.Г.* Математическая сейсмология в СССР. // Успехи математических наук. 1936. № 1. С. 228–255.
Sobolev S., Mikhlin S. Mathematical Seismology in the USSR // Russian Mathematical Surveys. 1936, no. 1, pp. 228–255. (In Russ.)
9. *Калашикова Л.А.* Академик Григорий Александрович Гамбургцев: к 115-летию со дня рождения // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. № 3 (22). DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2018-22.art44
Kalashnikova L.A. Academician Grigory Alexandrovich Gamburtsev: to the 115th anniversary of his birth // Actual Problems of Oil and Gas. 2018, no. 3 (22). (In Russ.) DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2018-22.art44
10. *Васильев А.П.* Об основополагающем вкладе академика Г.А. Гамбургцева в создание систем дальнего обнаружения ядерных взрывов // Актуальность идей Г.А. Гамбургцева в геофизике XXI века. М.: Янус-К, 2013. С. 64–80.
Vasiliev A.P. On the fundamental contribution of academician G.A. Gamburtsev to the development of long-range detection systems for nuclear explosions // The relevance of G.A. Gamburtsev's ideas in geophysics of the XXI century. Janus-K, 2013. pp. 64–80. (In Russ.)
11. *Брехунцов А.М.* История открытия и освоения месторождений углеводородов в Западной Сибири // Нефтегазовая вертикаль. 2016. № 6. С. 17–20.
Brekhuncov A.M. The history of the discovery and development of hydrocarbon deposits in Western Siberia // The oil and gas vertical. 2016, no. 6, pp. 17–20. (In Russ.)
12. *Волков А.В., Сидоров А.А., Галямов А.Л., Чижова И.А.* Вопросы глобальной металлогенической зональности Тихоокеанского рудного пояса: выводы для прогнозно-металлогенических исследований на Востоке России // Отечественная геология. 2018. № 4. С. 18–25. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10002
Volkov A.V., Sidorov A.A., Galyamov A.L., Chizhova I.A. Issues of global metallogenic zonality of the Pacific ore belt: conclusions for predictive metallogenic studies in the East of Russia // National Geology. 2018, no. 4, pp. 18–25. (In Russ.) DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10002
13. *Bayuk I.O., Dubinya N.V., Garagash I.A. et al.* Multiscale rock-physics modeling of effective elastic properties of fractured reservoir rocks // Proceedings of 53rd US rock mechanics/geomechanics symposium. 2019. 19–415 ARMA conference paper. In 53rd US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, American Rock Mechanics Association (ARMA) New York City, USA.
14. *Parker T., Shatalin S., Farhadiroushan M.* Distributed Acoustic Sensing – a new tool for seismic applications. // First Break. 2014, vol. 32 (2), pp. 61–69. <https://doi.org/10.3997/1365-2397>
15. *Wang Y., Hongyu Y., Xin L. et al.* A Comprehensive Study of Optical Fiber Acoustic Sensing. // IEEE Access. 2019, vol. 7, pp. 85821–85837. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2924736
16. *Тихоцкий С.А., Чулков Е.* Исследование возможности создания сейсмических датчиков на основе оптического волокна с заданной диаграммой направленности // BalticPetroModel-2022.

- Петрофизическое моделирование осадочных пород: Труды VI Балтийской научно-практической конференции, Петергоф, 19–21 сентября 2022 г. Тверь: ПолиПРЕСС, 2022. С. 47–51.
- Tikhotskiy S.A., Chulkov E.* On the possibility to design fiber optics seismic sensors with the prescribed angular sensitivity diagram // *BalticPetroModel-2022. Petrophysical modeling of sedimentary rocks: Proceedings of the VI Baltic Scientific and Practical Conference, Peterhof, September 19–21, 2022. Tver: PoliPRESS, 2022. Pp. 47–51. (In Russ.)*
17. *Кузьмин Е.В., Баранов А.В.* Управляемое самообрушение руды при подземной добыче // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. № 6. С. 9–15.
- Kuzmin E.V., Baranov A.V.* The controlled ore caving during the underground mining // *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2009, no. 6, pp. 9–15. (In Russ.)
18. *Чугаев А.В.* Результаты мониторинга потенциально-опасного участка Верхнекамского месторождения калийных солей методом многоканального анализа поверхностных волн // Горное эхо. 2021. № 3 (84). С. 68–73. DOI: 10.7242/echo.2021.3.13
- Chugaev A.V.* The results of monitoring of a potentially hazardous area of the Verkhnekamskoye potassium salt deposit using the method of multichannel analysis of surface waves // *Mountain Echo*. 2021, no. 3 (84), pp. 68–73. (In Russ.) DOI: 10.7242/echo.2021.3.13
19. *Gvishiani A., Dzeboev B., Dzeranov B. et al.* Strong Earthquake-Prone Areas in the Eastern Sector of the Arctic Zone of the Russian Federation // *Applied Sciences*. 2022, vol. 12, no. 23. (SI: Geoinformatics and Data Mining in Earth Sciences).11990. DOI: 10.3390/app122311990
20. *Шебалин П.Н., Тихоцкий С.А., Коваленко А.А.* О совершенствовании подходов к сокращению ущерба от землетрясений // Вестник РАН. 2024. № 10. С. 886–895.
- Shebalin P., Tikhotskiy S., Kovalenko A.* On improving approaches to reducing earthquake damage // *Herald of the RAS*. 2024, no. 10, pp. 886–895. (In Russ.)

ON THE CURRENT DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF GEOPHYSICS IN ORDER TO ACHIEVE THE TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY OF THE RUSSIAN FEDERATION

S.A. Tikhotskiy^{a,b,*}

^a*Schmidt Institute of physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Moscow Institute of Physics and Technology, MIPT, Moscow, Russia*

*E-mail: sat@ifz.ru

The article provides the most urgent tasks of geophysics to ensure technological sovereignty of the Russian Federation in modern conditions. A brief overview of the role of applied geophysics in the development of the economy, ensuring the sovereignty and security of the country since the beginning of the XX century is given and historical parallels with the modern stage are drawn. It is stated that geophysical research has repeatedly been essential for solving the most important tasks of the country's development. Currently the most important task of applied geophysics is to provide all industries and, first of all, high-tech industries with the necessary mineral resources. The most important directions of geophysical research are substantiated including the search and exploration of economically efficient deposits of strategic mineral raw materials, increasing the efficiency of production of hydrocarbons and solid minerals based on geophysical monitoring and ensuring geophysical safety. It is noted that the achievement of the relevant goals is impossible without ensuring the technological sovereignty of the geophysical industry itself, which means the need to create modern domestic geophysical instruments, equipment, software and technologies. Some main directions of development of geophysical technologies are outlined. It is stated that in order to make a technological breakthrough in the geophysical industry it is necessary to combine the efforts of scientists of various professions: geophysicists, geologists, physicists and mathematicians.

Keywords: geophysics, technological sovereignty, mineral resources base, strategic mineral deposits, geophysical monitoring, hydrocarbon recovery efficiency, seismic safety.

ГЕОМАГНИТНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

© 2024 г. А.А. Соловьёв^{a,b,*}

^aГеофизический центр РАН, Москва, Россия

^bИнститут физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

*E-mail: a.soloviev@gcras.ru

Поступила в редакцию 09.07.2024 г.

После доработки 10.07.2024 г.

Принята к публикации 04.08.2024 г.

Высокотехнологичная процедура наклонно-направленного бурения (ННБ) при освоении углеводородных ресурсов требует большой точности позиционирования буровой колонны. Такая точность может быть достигнута с помощью навигации по магнитному полю Земли (МПЗ), что обеспечивает попадание в заданную цель с погрешностью 3 м на расстоянии 15 км. Однако МПЗ характеризуется разномасштабной вариабельностью как по пространству, так и по времени. Поэтому полный цикл геомагнитного сопровождения ННБ включает детальную оценку пространственно-временной изменчивости МПЗ в окрестности месторождения в реальном времени и прогноз геомагнитной активности. Особенно строгий контроль ориентации буровой колонны необходим при бурении в Арктическом регионе. Автор рассматривает современные технологии эффективного учёта особенностей пространственно-временной структуры МПЗ для обеспечения прецизионной навигации буровой колонны. Статья подготовлена на основе доклада, заслушанного на заседании президиума РАН 11 июня 2024 г.

Ключевые слова: наклонно-направленное бурение, шельф, углеводороды, геомагнитное сопровождение, геомагнетизм, модели, магнитные обсерватории.

DOI: 10.31857/S0869587324100023, EDN: ESNEDD

В условиях истощения углеводородных ресурсов нашей планеты требуются всё более инновационные методы их добычи. Так, половина добытой с конца 1990-х годов нефти стала результатом не освоения новых месторождений, а оптимизации разработки уже разведанных. Для извлечения труднодоступных залежей углеводородного сырья с недавних пор в практику вводится технология наклонно-направленного бурения. При навигации по магнитному полю Земли (МПЗ) в реальном времени

этот высокотехнологичный процесс бурения позволяет достигать максимальной точности попадания в нефтегазоносный пласт на больших расстояниях. Соответствующая наукоёмкая технология впервые была внедрена компанией Schlumberger около 15 лет назад при добыче углеводородного сырья на арктической Аляске [1]. Геофизический центр РАН стоял у истоков внедрения этой технологии в России по заказу российского филиала компании Schlumberger (2011 г.).

Наклонно-направленное бурение (ННБ) позволяет планомерно отклоняться от вертикали по заранее заданной кривой с выходом практически в горизонтальную плоскость и строить скважины протяжённостью свыше 10 км. Горизонтальными называются такие скважины, которые вскрывают продуктивный пласт на интервале, не менее чем вдвое превышающем толщину пласта. Их ствол может иметь сложный пространственный профиль, причём как в вертикальной, так и горизонтальной плоскостях. Это, в свою очередь, открывает возможность многоствольного или кустового бурения, при котором с одной кустовой площадки бурятся



СОЛОВЬЁВ Анатолий Александрович — член-корреспондент РАН, директор ГЦ РАН, главный научный сотрудник ИФЗ РАН.

десятки скважин. Кустовое бурение востребовано на шельфовых месторождениях, где ввиду сложных природно-климатических условий (например, на сильно заболоченной территории) расширение промысловой инфраструктуры затруднено и требует больших капиталовложений. Технология широко применима при добыче углеводородного сырья на арктическом шельфе в связи с тем, что стоимость бурения с суши, при котором целевой пласт достигается на большом удалении от устья скважины, в разы ниже, чем затраты на возведение морской платформы, с которой осуществляется классическое вертикальное бурение.

На рисунке 1 приведён реальный пример кустового бурения в условиях плотной сетки. Характерные расстояния между скважинами составляют несколько десятков метров, поэтому одна из основных особенностей их проводки кустами – необходимость соблюдения условий непересечения стволов скважин. Таким образом, технология ННБ неизбежно требует высокой точности позиционирования и навигации, которую не способны обеспечить традиционные гироскопические измерения. С этой целью буровая колонна оснащается специальной инклинометрической системой. Она включает в себя трёхосный акселерометр для контроля зенитного угла и трёхосный магнитометр для контроля азимута. Именно по этим двум углам и оцениваются текущие траекторные параметры скважины относительно их проектных значений.

Однако на практике скважинный магнитометр измеряет как естественное магнитное поле, так

и магнитные помехи, создаваемые буровой колонной и другими техногенными источниками. Задача состоит в непрерывной коррекции показаний скважинной инклинометрии и, таким образом, минимизации влияния техногенных помех при определении траекторных параметров скважины. Следовательно, для достижения высокой точности позиционирования необходимо привлекать всю возможную информацию о сложной пространственно-временной структуре естественного магнитного поля в окрестности месторождения.

В первом приближении, чтобы определить генеральное направление на северный магнитный полюс и вычислить истинный азимут буровой колонны, используются модели главного магнитного поля Земли, слабо изменчивого во времени. Модель главного магнитного поля обеспечивает пространственное разрешение порядка 800 км. На рисунке 2а представлено распределение значений магнитного склонения на одном из месторождений. Видно, что на площадке 100×100 км значение склонения главного МПЗ является константой. Однако в действительности магнитное поле сильно изменчиво по пространству ввиду неоднородной намагниченности земной коры. Для оценки таких аномалий привлекаются модели литосферного магнитного поля, которые характеризуются пространственным разрешением порядка 10 км (рис. 2б). В совокупности с моделями главного поля они позволяют выявлять локализованные аномалии склонения магнитного поля, вызванные литосферными источниками, которые

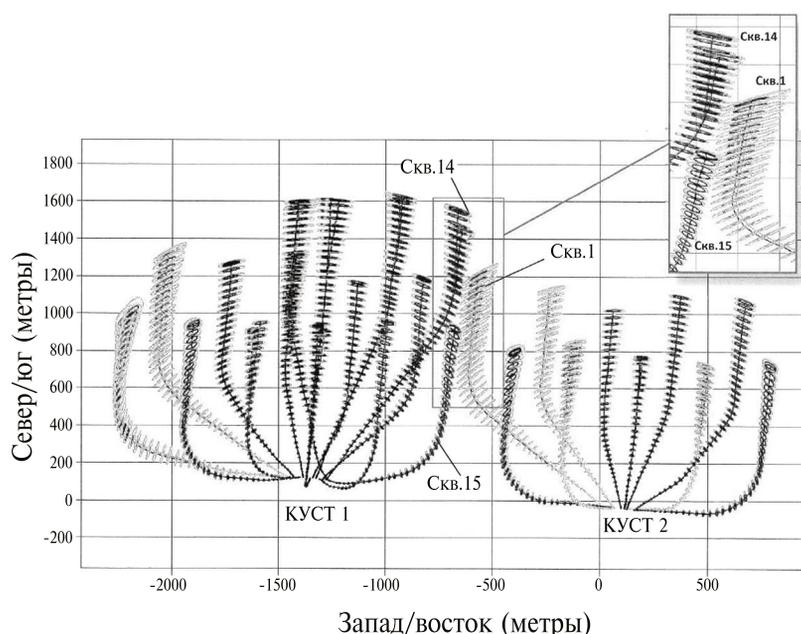


Рис. 1. Кустовое бурение в условиях плотной сетки (горизонтальная проекция):

чёрным цветом обозначены эллипсы пространственной неопределённости существующих стволов, светло-серым – планируемых к проводке

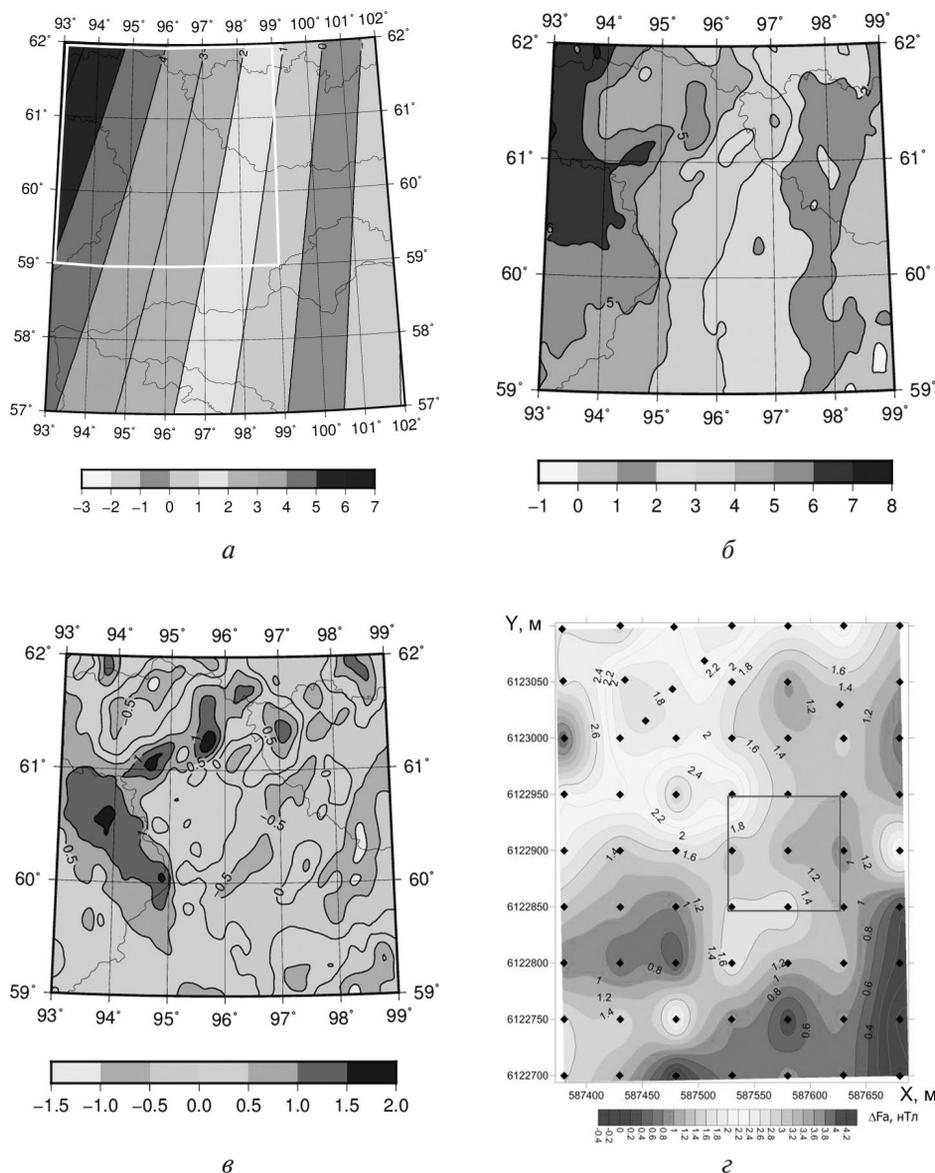


Рис. 2. Точностные характеристики квазистатических моделей МПЗ на поверхности Земли:

магнитное склонение (градусы) главного МПЗ на январь 2016 г. (разрешение ~ 800 км) (а), магнитное склонение полного МПЗ, включая главное и литосферное поля (разрешение ~ 10 км) (б), аномалия склонения МПЗ, вызванная литосферными источниками (разрешение ~ 10 км) (в), локальные измерения аномальной составляющей полной напряжённости МПЗ (разрешение $\sim 10\text{--}100$ м) (г)

в приведённом примере могут достигать значений до 2° (рис. 2в). Неучёт таких аномалий недопустим, поскольку точность определения азимута буровой колонны при ННБ не должна превышать $1.5\text{--}2^\circ$. Для учёта локальных неоднородностей магнитного поля непосредственно в окрестности месторождения дополнительно проводится региональная магнитная съёмка для локализации соответствующих источников. Пространственное разрешение таких съёмок составляет $10\text{--}100$ м (рис. 2г). Построение аналитических моделей для адекватного описания полного вектора магнитной индукции в любой за-

данной точке трёхмерной среды представляет собой отдельную наукоёмкую область исследований.

Помимо пространственной неоднородности магнитное поле Земли крайне изменчиво и во времени, особенно сейчас, когда Солнце находится на пике активности — в 2023–2024 гг. магнитные бури происходят в среднем раз в две недели. Для эффективного учёта временной изменчивости МПЗ необходима непрерывная оценка влияния геомагнитных возмущений на показания скважинного магнитометра в реальном времени. Высшее достижение — краткосрочный прогноз мест возникновения сильных

магнитных вариаций и их примерных амплитуд путём создания соответствующих прогнозных моделей.

Таким образом, полный цикл геомагнитного сопровождения ННБ включает в себя следующие этапы:

1. создание моделей главного МПЗ;
2. учёт пространственной изменчивости МПЗ:
 - 2.1. применение моделей литосферного МПЗ;
 - 2.2. моделирование локальных магнитных аномалий земной коры (1-й международный уровень точности IFR1 – In-Field Referencing) [2];
3. учёт временной изменчивости МПЗ:
 - 3.1. оценка влияния геомагнитных возмущений в реальном времени (2-й международный уровень точности IFR2);
 - 3.2. применение прогнозных моделей геомагнитных вариаций.

Для построения высокоточных трёхмерных моделей среды, описывающих пространственную структуру магнитного поля, используется обширный комплекс измерительных систем. Так, низкоорбитальные спутниковые наблюдения с полным географическим охватом планеты обеспечивают получение наилучших данных для построения моделей главного магнитного поля Земли. В настоящее время на такой орбите находится лишь одна спутниковая группировка Swarm, запущенная в 2013 г. Европейским космическим агентством с космодрома Плесецк российской ракетой-носителем [3]. При помощи аэромагнитной и гидросъёмки выполняются измерения, позволяющие строить высокоточные

модели литосферного аномального поля, которое имеет значительно более сложную пространственную структуру. Наконец, для локализации региональных аномалий на месторождении выполняется пешая и беспилотная съёмка магнитного поля.

Как отмечалось выше, помимо пространственной изменчивости необходим учёт временных вариаций геомагнитного поля для достижения требуемой точности позиционирования. Неучёт геомагнитных возмущений может приводить к существенным погрешностям при навигации по магнитному полю. Так, на высоких широтах во время сильных магнитных бурь вариации магнитного склонения могут превышать 10° . Вместе с тем допустимое отклонение азимута скважины от проектного, измеряемое скважинным магнитометром, не должно превышать 2° . Единственный способ учёта вариаций магнитного поля с последующей оперативной коррекцией данных инклинометрии – параллельный высокоточный мониторинг МПЗ на развёрнутой поблизости магнитной обсерватории. Такой мониторинг уменьшает эллипс неопределённости, который описывает ошибку пространственного позиционирования буровой колонны (см. рис. 1), до 70% [1] и позволяет достичь высочайшей точности навигации в режиме реального времени. При такой точности погрешность попадания в цель составляет 3 м на расстоянии 15 км от устья скважины [4].

Магнитная обсерватория представляет собой высокотехнологичную научную инфраструктуру, которая включает два павильона, выполненных из немагнитных материалов. Главное свойство обсерватории – непрерывная регистрация полных



Рис. 3. Современная магнитная обсерватория (на примере обсерватории «Климовская», Архангельская обл.): немагнитные павильоны и измерительная аппаратура

Источник: [6]

значений компонент вектора магнитной индукции. Базовое приборное оснащение обсерватории состоит из векторного феррозондового магнитометра, размещаемого в одном павильоне, скалярного магнитометра и абсолютного магнитометра, размещаемых в другом павильоне, и системы сбора данных. Наивысший стандарт качества измерений регламентируется международной сетью магнитных обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ (<http://intermagnet.org>), которая объединяет порядка 150 обсерваторий по всему миру [5]. На рисунке 3 представлены основные элементы современной магнитной обсерватории.

Завершающим звеном полного цикла геомагнитного сопровождения ННБ служит прогнозная компонента. Сами вариации геомагнитного поля на поверхности Земли прогнозировать крайне затруднительно ввиду неоднозначности и сложности порождающих их промежуточных процессов в магнитосфере и ионосфере. Однако хорошо известно, что источником самых сильных возмущений оказывается авроральный овал¹, а именно его южная граница, представляющая собой область дискретных высыпаний. Таким образом, прогноз положения границ аврорального овала может косвенно быть использован для преждевременной локализации сильных возмущений магнитного поля. Такой онлайн-сервис краткосрочного прогноза интенсивности и пространственного распределения полярных сияний был разработан в Геофизическом центре РАН (<http://aurora-forecast.ru>) [7]. Горизонт прогноза составляет 30–70 мин., а входными параметрами служат данные о солнечном ветре, регистрируемые в реальном времени межпланетными спутниками в точке Лагранжа L1. На рисунке 4 показан пример работы онлайн-системы.

На рисунке 5 представлена карта месторождений углеводородного сырья, на которых силами Геофизического центра РАН эффективно внедряется описанная технология полного цикла геомагнитного сопровождения наклонно-направленного бурения. Оказываемые услуги включают проведение разновысотной и многомасштабной магнитной съёмки, развёртывание магнитных обсерваторий, разработку сервисов передачи данных в реальном времени из обсерватории на буровую, трёхмерное моделирование магнитного поля, экстраполяцию временных вариаций, создание онлайн-сервисов оперативной коррекции скважинной инклинометрии². Данный пример ярко демонстрирует синергетический эффект от связи науки с индустрией. Развёртывание

¹ Авроральный овал — область атмосферы шириной в несколько градусов, в которой наиболее часто наблюдаются полярные сияния и регистрируются самые мощные магнитные возмущения.

² В работе используются данные и сервисы ЦКП «Аналитический центр геомагнитных данных» Геофизического центра РАН (<https://ckp.gcras.ru/>).

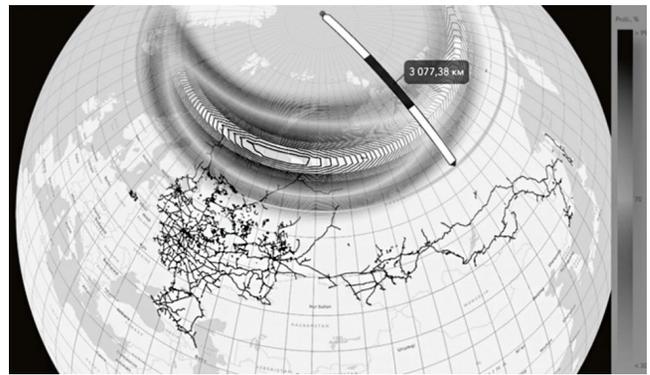


Рис. 4. Моделирование положения аврорального овала на виртуальном глобусе с нанесённой схемой железных дорог РФ

Источник: <http://aurora-forecast.ru>

новых обсерваторий становится вдвойне востребовано и для решения прикладных задач, связанных с освоением месторождений углеводородов, и в фундаментальных исследованиях электромагнитных процессов во всех оболочках Земли — от ядра до околоземного пространства.

* * *

Геомагнитный мониторинг необходим для проведения наклонно-направленного бурения скважин, поскольку геомагнитные возмущения могут оказывать существенное влияние на безопасность процесса и точное вскрытие целевых пластов. Российскими учёными освоен полный цикл геомагнитного сопровождения ННБ, который включает в себя наземную и воздушную геомагнитную съёмку, установку обсерватории, оценку статического и изменчивого во времени магнитных полей в каждой точке телеметрических измерений и в каждый момент времени, а также прогноз геомагнитных возмущений. Технологический суверенитет Российской Федерации в области высокотехнологичного процесса наклонно-направленного бурения будет полностью обеспечен при выполнении следующих трёх условий.

Первое условие — реализация запуска российской спутниковой миссии для высокоточных измерений электромагнитного поля Земли на низкой приполярной орбите. Это позволит получать данные, необходимые не только для построения высокоточной отечественной модели главного МПЗ, но и для решения широкого спектра задач, связанных с навигацией по магнитному полю. На данный момент на такой орбите находится лишь одна спутниковая миссия Европейского космического агентства, которая в скором времени прекратит своё существование.

Второе условие — проведение полномасштабной аэромагнитной съёмки территории Российской Федерации на современном уровне. Последний



Рис. 5. Опыт оказания услуг ГЦ РАН по геомагнитному сопровождению наклонно-направленного бурения
Примечание: звёздочками обозначены месторождения, где внедряется технология геомагнитного сопровождения (ГКМ – газоконденсатное месторождение, НГМ – нефтегазовое месторождение, НГКМ – нефтегазоконденсатное месторождение)

раз такая съёмка выполнялась около 50–60 лет назад, и соответствующие данные, очевидно, сильно устарели. Полученные данные позволят актуализировать модель аномального магнитного поля литосферы, которая востребована при решении целого ряда важных задач, связанных с освоением полезных ископаемых. По предварительным оценкам геофизиков из Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, полная стоимость такой съёмки для всей территории РФ составит 100 млрд руб. На первом этапе можно было бы ограничиться отдельными регионами нашей страны, которые в этом отношении представляют наибольший интерес – месторождения полезных ископаемых, зоны захоронения радиоактивных отходов и др.

Наконец, третье условие – создание российских образцов магнитометрических приборов, недостаток которых в полном комплекте отечественной измерительной аппаратуры для магнитной обсерватории ощущается довольно остро. К ним относятся векторный и абсолютный магнитометры. Все остальные аспекты геомагнитного сопровождения наклонно-направленного бурения в полной мере освоены, но с привлечением зарубежных данных и приборов.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках государственных заданий Геофизического центра РАН и Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, утверждённых Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Poedjono B., Beck N., Buchanan A. et al. Geomagnetic Referencing in the Arctic Environment // SPE Arctic and Extreme Environments Conference and Exhibition, Moscow, Russia, October 2011. <https://doi.org/10.2118/149629-MS>
2. Buchanan A., Finn C., Love J.J. et al. Geomagnetic Referencing – The Real-Time Compass for Directional Drillers // Oilfield Review. 2013, vol. 25, no. 1, pp. 32–47.
3. Гвишиани А.Д., Лукьянова Р.Ю. Геоинформатика и наблюдения магнитного поля Земли: российский сегмент // Физика Земли. 2015. № 2. С. 3–20. DOI: 10.7868/S0002333715020040
Gvishiani A.D., Lukyanova R.Y. Geoinformatics and observations of the Earth's magnetic field: The Russian segment // Izv., Phys. Solid Earth. 2015, vol. 51, pp. 157–175. <https://doi.org/10.1134/S1069351315020044>
4. Богоявленский В.И. Фундаментальные проблемы поиска, разведки и рационального освоения ресурсов горючих ископаемых Арктических и субарктических регионов России // Всероссийская конференция с международным участием “Глобальные проблемы Арктики и Антарктики”, посвящённая 90-летию со дня рождения академика Н.П. Лавёрова (2–5 ноября 2020 г., г. Архангельск). Сб. материалов. Архангельск: ФИЦ комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лавёрова РАН, 2020. С. 20–25.
Bogoyavlensky V.I. Fundamental problems of search, exploration and rational development of fossil fuel

- resources in the Arctic and subarctic regions of Russia // All-Russian conference with international participation “Global problems of the Arctic and Antarctic”, dedicated to the 90th anniversary of academician Nikolai Pavlovich Laverov (2–5 November 2020, Arkhangelsk). Materials. FITZ for the Integrated Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov of the RAS, 2020, pp. 15–20. (In Russ.).
5. Love J.J., Chulliat A. An International Network of Magnetic Observatories. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 2013, 94, 373–374. <https://doi.org/10.1002/2013EO420001>
 6. Соловьёв А.А., Сидоров Р.В., Краснощёров Р.И. и др. Новая геомагнитная обсерватория “Климовская” // Геомагнетизм и аэронавигация. 2016. Т. 56. № 3. С. 365–379.
 7. Воробьёв А.В., Соловьёв А.А., Пилипенко В.А., Воробьёва Г.П. Интерактивная компьютерная модель для прогноза и анализа полярных сияний // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8. № 2. С. 93–100. DOI: 10.12737/szf-82202213
- Soloviev A.A., Sidorov R.V., Krasnosheerov R.I. et al. “Klimovskaya”: A New Geomagnetic Observatory // Geomagnetism and Aeronomy. 2016, vol. 56, no. 3, pp. 342–354. <https://doi.org/10.1134/S0016793216030154>*
- Vorobev A.V., Soloviev A.A., Pilipenko V.A., Vorobeva G.R. Interactive computer model for aurora forecast and analysis // Solar-Terrestrial Physics. 2022, vol. 8, iss. 2, pp. 84–90. DOI: 10.12737/stp-82202213*

GEOMAGNETIC SUPPORT FOR DIRECTIONAL DRILLING

A.A. Soloviev^{a,b,*}

^a*Geophysical Center RAS, Moscow, Russia*

^b*Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia*

*E-mail: a.soloviev@gcras.ru

The high-tech directional drilling (DD) procedure for the development of hydrocarbon resources requires high precision positioning of the drill string. Such accuracy can be achieved by navigation based on the Earth’s magnetic field (EMF), which ensures hitting a given target with an error of 3 m at a distance of 15 km. However, the EMF is characterized by multi-scale variability both in space and time. Therefore, the full stack of DD geomagnetic support includes a detailed, real-time estimation of the EMF spatio-temporal variability in the deposit region and geomagnetic activity forecast. Particularly strict control of a drill string orientation is required when drilling in the Arctic region. The article is devoted to modern technologies for effective accounting of the features of the EMF space-time structure to ensure precise navigation of the drill string.

The paper is based on the report delivered at the RAS Presidium meeting on 11 June 2024.

Keywords: directional drilling, shelf, hydrocarbons, geomagnetic support, geomagnetism, models, magnetic observatories.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ ЦИФРОВОГО ПРОМЫСЛА

© 2024 г. И.В. Шпуров^{a,*}, М.Ю. Данько^{b,**}, К.С. Харченко^{c,***}, М.Ф. Печёркин^{b,****},
А.Г. Кротова^{c,*****}, Е.А. Симаков^{b,*****}

^aФБУ “Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых”, Москва, Россия

^bООО “Тюменский институт нефти и газа”, Тюмень, Россия

^cООО “Нефтегазовый научно-исследовательский центр
МГУ имени М.В. Ломоносова”, Москва, Россия

*E-mail: shpurov@gkz-rf.ru

**E-mail: danko@togi.ru

***E-mail: kharchenkoks@nicmgu.ru

****E-mail: mikhail.pecherkin@mail.ru

*****E-mail: krotovaag@nicmgu.ru

*****E-mail: Simakov@togi.ru

Поступила в редакцию 07.08.2024 г.

После доработки 26.08.2024 г.

Принята к публикации 02.09.2024 г.

Разработка и широкое внедрение в добывающую отрасль России новых технологий для поддержания уровня добычи нефти и газа — важная задача. В первую очередь необходимо обеспечить прирост рентабельных запасов за счёт развития геологоразведки и расширения цифровой трансформации, форматирования систем принятия решений. Месторождение, управляемое с использованием искусственного интеллекта, — новая реальность. Его внедрение предполагает не сокращение рабочих мест или полную замену человека на промысле, а обеспечение системного объективного подхода к принятию решений, основанного на достижениях точных наук, а не на личном опыте отдельного человека. Сегодня основным инструментом планирования в нефтяной и газовой отрасли служит геолого-гидродинамическая модель. В последнее время, благодаря увеличению вычислительных мощностей, отрасль совершила эволюционный скачок в этом направлении, осуществляется переход к интегрированному моделированию, объединяющему процессы в подземной и наземной части месторождения. Будущее за нейросетевыми технологиями, интегрированными с классическими методами в единую цифровую среду для оптимизации всех процессов — от нефтегазового пласта до переработки и реализации продукции. В новой парадигме управление нефтегазодобычей на разных стадиях освоения месторождения нуждается не только в кардинальной трансформации используемых инструментов, но и корректировке законодательной базы, разработке регламента интегрированного моделирования, включающего все элементы исследований и добычи — от сейсморазведки до обустройства месторождений.

Статья подготовлена на основе доклада, заслушанного на заседании президиума РАН 11 июня 2024 г.

Ключевые слова: управление разработкой месторождений углеводородного сырья, трудноизвлекаемые запасы, цифровой промысел, интегрированное моделирование, искусственный интеллект, нейросети.

DOI: 10.31857/S0869587324100036, EDN: ESAROK

ШПУРОВ Игорь Викторович — доктор технических наук, генеральный директор ФБУ “ГКЗ”. ДАНЬКО Михаил Юрьевич — заместитель генерального директора по науке ООО “ТИНГ”. ХАРЧЕНКО Кирилл Сергеевич — заместитель генерального директора по геологии и разработке ООО “Нефтегазовый НИЦ МГУ им. М.В. Ломоносова”. ПЕЧЁРКИН Михаил Фёдорович — генеральный директор ООО “ТИНГ”. КРОТОВА Алина Григорьевна — специалист отдела разработки ООО “Нефтегазовый НИЦ МГУ им. М.В. Ломоносова”. СИМАКОВ Евгений Алексеевич — директор департамента анализа и проектирования разработки ООО “ТИНГ”.

Обеспеченность спроса нефти текущими рентабельными проектами к 2050 г. как в России, так и в мире составляет не более 30%, поэтому необходимо вводить в разработку новые источники за счёт вовлечения трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ), а также активизировать геологоразведочные работы. Для достижения запланированных в Энергетической стратегии РФ уровней добычи нефти предстоит обеспечить прирост рентабельных трудноизвлекаемых запасов объёмом 7 млрд т и новых рентабельных запасов за счёт геологоразведочных работ — 4 млрд т.

Перспективы достижения запланированных объёмов газа связаны с мерами государства по созданию условий для рентабельной добычи существующих запасов и поиску новых рентабельных объектов. Выработка на уже вовлечённых в разработку газовых месторождениях достигает 70%, обеспеченность запасами — 107 лет, в том числе по разрабатываемым месторождениям — 54 г. (из них сеноманского горизонта — 13 лет). Необходимо вовлечь в разработку 11 трлн м³ ТРИЗ, помимо 5 трлн м³ новых рентабельных запасов за счёт геологоразведочных работ.

Стабильная добыча нефти и газа в настоящее время поддерживается благодаря применению новых технологий, причём не только в геологоразведке и добыче нефти из потенциально льготированных объектов, но и на месторождениях, завершающих свой жизненный цикл. С 2009 по 2019 г. налоговое стимулирование разработки трудноизвлекаемых запасов позволило увеличить долю инновационных технологий в суммарной добыче нефти с 35 до 65%.

Применение алгоритмов машинного обучения, управление большими данными и возможности вычислительной техники позволяют по-новому подойти к оптимизации разработки месторождений. Постепенно нефтегазовая отрасль переходит к интегрированному моделированию, которое консолидирует в себе всю полноту знаний о месторождениях углеводородного сырья и открывает возможность связать воедино наземные и подземные системы месторождения, формируя тем самым единую законченную конструкцию в физическом и информационном пространстве.

Цифровой промысел, управляемый искусственным интеллектом, — новая парадигма нефтегазодобычи. Основная задача цифровой трансформации — создание инструментов проактивного управления производственными процессами. Объединение возможностей математического моделирования и нейросетевых технологий в единой цифровой среде позволяет оптимизировать производственные процессы — от нефтегазосного пласта до переработки и реализации продукции. Важнейшей основой создания эффективного и экологичного цифрового промысла служит система, обеспечивающая постоянный и достоверный поток информации о работе всего промысла, в том числе с применением мобильных блочных установок (МБУ).

Разработка новых технологий для трудноизвлекаемых запасов определяет повышенные требования к точности и дискретности промысловых данных, качеству и объёму информации, поскольку влияние этих факторов на рентабельность нефтегазодобычи становится всё более ощутимым.

Созданию технологического фундамента разработки ТРИЗ должны предшествовать фундаментальные исследования динамики функционирования скважин на стадии проекта пробной эксплуатации. Основным элементом обустройства месторождений на начальных стадиях станет принципиально новый вид мобильных установок, оснащённых специальной приборной базой. По нашему мнению, эти требования необходимо внести в “Правила разработки месторождений углеводородного сырья” и “Правила разработки трудноизвлекаемых запасов”. Процесс управления на разных стадиях освоения месторождения требует кардинальной трансформации используемых инструментов, в том числе подготовки регламента интегрированного моделирования, включающего все элементы исследований и добычи, от сейсморазведки до обустройства месторождений.

Искусственный интеллект (ИИ) применяют сейчас и для управления газоконденсатным фактором месторождения. Методы ИИ и интегрированного моделирования внедряют в систему сбора и транспортировки продукции, что позволяет минимизировать потери углеводородов при продувках системы их сбора и подготовки. Примеры успешного повышения рентабельности месторождений и увеличения добычи с применением указанных методов мы рассмотрим ниже.

Управление нефтяным месторождением с помощью искусственного интеллекта. Цифровая трансформация способствует формированию нового технологического уклада, позволяет существенно повысить рентабельность производства, причём не за счёт сокращения рабочих мест, а благодаря ускорению производственных процессов и принятию своевременных и объективных решений. Применительно к нефтегазовой отрасли это управление разработкой месторождения с использованием методов искусственного интеллекта. Интегрированное моделирование позволяет объединять данные в физически непротиворечивую систему и помогает ИИ отработать вариативные сценарии подготовки геолого-технических мероприятий, даёт возможность оценить производственный сценарий до его реализации.

На рисунке 1 приведена концепция управления промыслом на основе машинного обучения, которая уже реализована и доказала свою эффективность [1]. Ключевым элементом здесь выступает автоматизированная система управления, основанная на методах искусственного интеллекта. Чтобы в полной мере реализовать его, необходимо развивать инфраструктуру, культуру сбора и хранения данных. Объединяя математические алгорит-

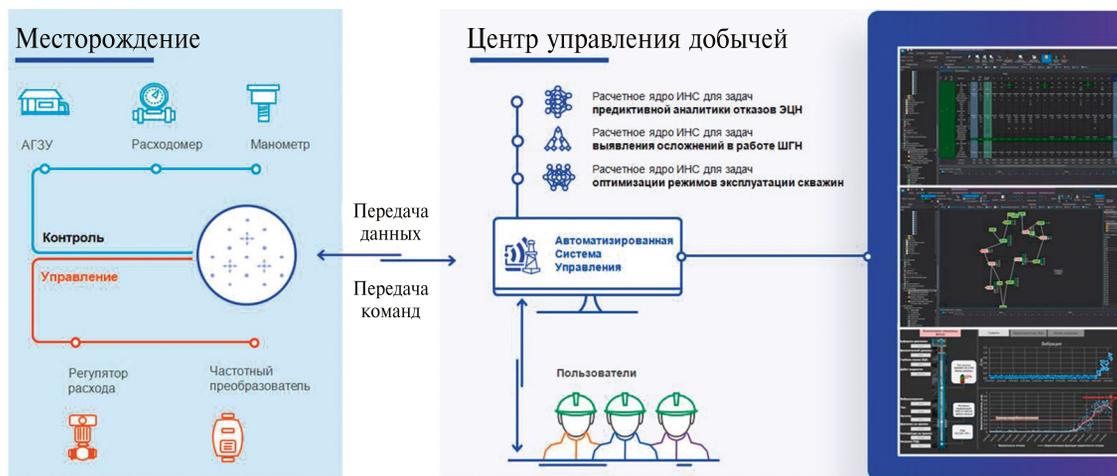


Рис. 1. Концепция управления промыслом на основе алгоритмов машинного обучения

Источник: [1]

мы, средства получения данных и средства контроля и управления, возможно добиваться существенных результатов в управлении разработкой, в том числе и на “зрелых” месторождениях, находящихся на поздней стадии эксплуатации.

Примерами реализации цифровой трансформации служат концепция управления режимами нагнетания воды на зрелых месторождениях [2] и прогноз отказов насосного оборудования [3]. Преимущества концепции управления заводнением проявляются в росте эффективности добычи за счёт рационального использования закачиваемой воды, извлечении ранее не дренировавшихся запа-

сов нефти, повышении объективности принятия решений, снижении роли субъективного фактора, достигаемом благодаря вовлечению в анализ всей совокупности первичной информации. Особенно важно повысить оперативность принятия решений и реагирования на различные факторы, оказывающие влияние на добычу, что обеспечивается автоматизацией средств управления закачкой. В России технология управления закачкой при помощи искусственного интеллекта реализована на 28 месторождениях, включающих ≈ 14500 скважин. Прирост коэффициента извлечения составил более 5%, дополнительная добыча – 1.6 млн т (рис. 2).



Рис. 2. Результаты внедрения в России технологии управления закачкой на основе алгоритмов машинного обучения, по данным ООО “ТИНГ”

Примечание: ЧДД – чистый дисконтированный доход

Источник: [4]

Основная добыча нефти в России сосредоточена на месторождениях, находящихся на поздних стадиях разработки, что обуславливает важность поиска новых технологий для высокообводнённых месторождений. В качестве примера успешной работы на “зрелых” месторождениях приведём технологию дистанционного управления режимами работы скважин методами ИИ. Прирост суточной добычи нефти в результате применения роботизированного управления составил 18%, срок окупаемости оборудования – 7 месяцев [5, 6]. Естественным этапом развития технологий управления разработкой “зрелых” месторождений станет применение автоматизированных средств регулирования режимов эксплуатации скважин, которые вместе с системами контроля формируют единый контур.

Очевидно, что мы стоим на новой ступени технологической революции в нефтегазовой отрасли. Цифровому скачку и качественному изменению системы управления промыслом препятствуют устаревание регламентов и в определённой степени инертность мышления. На текущий момент в качестве инструмента планирования работ используется гидродинамическая модель, которая в силу отсутствия информации не применима на ранних и поздних этапах жизни месторождения из-за необходимости многовариантного моделирования, включающего перебор тысяч вариантов распределения закачки или параметров управления. Каждой стадии разработки месторождений и подготовки

проектов должны соответствовать свои требования к исходной информации (рис. 3).

Искусственные нейронные сети, гибридные модели, алгоритмы ИИ уже занимают своё место в практике проектирования, но требуют принципиально иного объёма и качества данных. Необходимо обратить особое внимание на средства их получения. Например, с помощью мобильных блочных установок можно значительно снизить потенциальные риски благодаря непрерывному поступлению промысловых данных и созданию адаптивной схемы обустройства, что особенно важно для проектов добычи трудноизвлекаемых запасов.

Управление разработкой низкопроницаемых коллекторов и создание новых технологий на стадии проекта пробной эксплуатации. В настоящее время подавляющая часть открываемых месторождений и залежей нефти характеризуется территориальной удалённостью, сложным физико-химическим составом добываемой продукции и ростом доли трудноизвлекаемых запасов. Для таких слабо изученных месторождений характерны риски, связанные с неопределённостью количества геологических и извлекаемых запасов, изменением профилей добычи, и как следствие риски вложения значительных инвестиций в разработку активов с низким потенциалом.

С целью увеличения эффективного времени получения промысловой информации в рамках проекта пробной эксплуатации, уменьшения рисков,

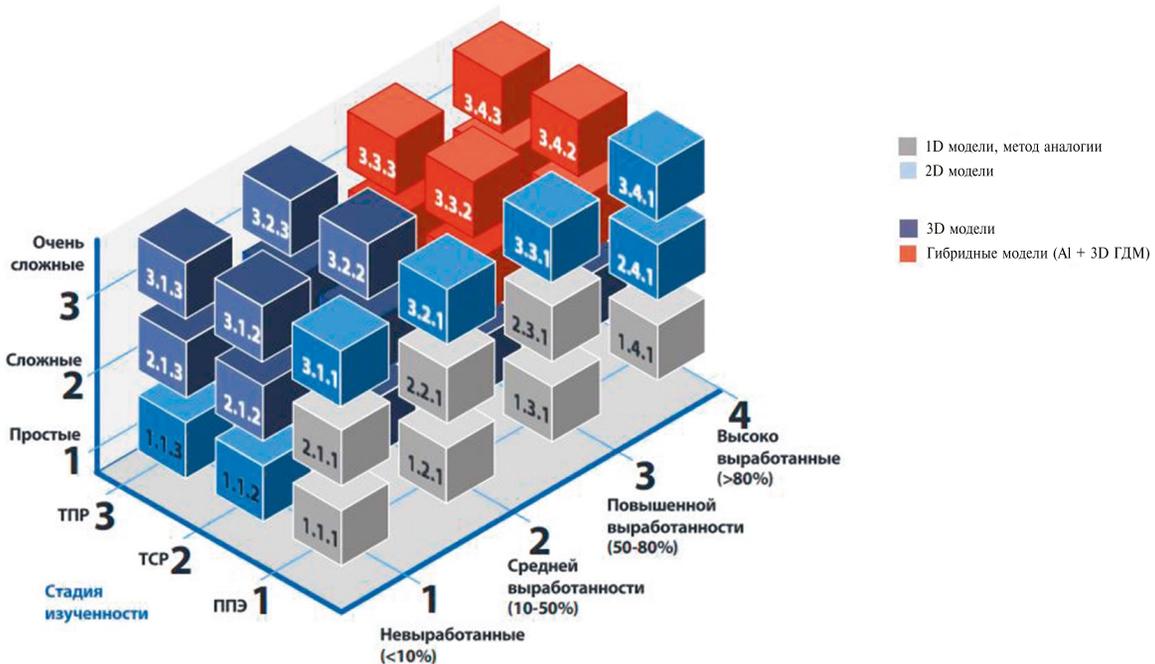


Рис. 3. Матрица выбора инструментов проектирования в зависимости от стадии изученности и сложности месторождения

Примечание: ТПР – технологический проект на разработку, ТСП – технологическая схема разработки, ППЭ – проект пробной эксплуатации

а также повышения эффективности освоения залежей нужен новый подход к обустройству месторождений.

Существующие в настоящее время принципы проектирования позволяют рассматривать различные решения по обустройству наземной инфраструктуры месторождений. В нефтяных компаниях [7, 8] прослеживается тенденция к использованию блочно-строительства с применением мобильных блочных установок [9], которые на этапе пробной эксплуатации имеют ряд существенных преимуществ:

- снижение сроков ввода месторождения в эксплуатацию и ускорение получения товарной продукции;
- минимизация рисков нецелесообразных затрат на капитальные объекты строительства;
- уменьшение стоимости строительства;
- снижение операционных затрат.

Отличительная черта мобильных установок — унифицированные и взаимозаменяемые технологические линии, что при дальнейшей эксплуатации в совокупности с ускоренным проектированием и изготовлением даёт возможность оперативно увеличивать или уменьшать производительность установок с точечным расширением блоков при изменении условий добычи, транспортировки и подготовки скважинной продукции. Блочно-модульные технологические линии оперативно демонтируются в случае неподтверждения запасов или уменьшения объёмов добычи. За счёт упрощённой логистики и лёгкости монтажа оборудование можно использовать повторно на другом месторождении или лицензионном участке, тем самым сведя риски нецелесообразных затрат к минимуму.

Однако в настоящее время существует ряд рисков и ограничений применения мобильных установок при обустройстве нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений.

1. На данный момент в нормативной документации отсутствуют чёткие признаки, нормы, требования и предписания, регламентирующие отнесение мобильных установок к объектам капитального или некапитального (объекты временной инфраструктуры) строительства [7].

2. Отсутствует нормативная и законодательная база в части принятия технических решений и эксплуатации объектов с использованием временной инфраструктуры. Проектирование ведётся согласно действующим нормативным документам, не включающим в себя отдельные требования к порядку проектирования и применения мобильных установок. Таким образом, проектная документация на общих основаниях должна проходить экспертизу промышленной безопасности, государственную или негосударственную экспертизу в зависимости от класса опасности объекта.

Применение МБУ — важная составляющая повышения рентабельности разработки сланцевых формаций в нашей стране, например баженовской свиты. Однако для таких сложных объектов необходим комплексный подход и новые технологии. Созданию технологического фундамента разработки ТРИЗ должны предшествовать фундаментальные исследования на стадии проекта пробной эксплуатации, обеспеченные принципиально новым видом мобильных установок и обустройства месторождений. При этом месторождения необходимо оснащать специальной приборной базой, которая должна стать важным элементом промышленного обустройства. Такое же условие должно быть внесено в “Правила разработки месторождений углеводородного сырья” и “Правила разработки ТРИЗ”.

Реализация проектов по изучению трудноизвлекаемых полезных ископаемых (например, полигона “Бажен” Пальяновской площади Краснелинского месторождения, реализуемого компанией “Газпромнефть” с 2017 г.) позволит получить новую информацию, предложить новые методы разработки технологий. По результатам выполненных программ будут созданы инструменты (цифровые интегрированные модели, модели искусственного интеллекта, прокси-модели), углубляющие понимание процессов распространения фильтрационно-ёмкостных свойств пласта и физико-химических свойств флюидов, в итоге удастся создать технологии геологического изучения и освоения ТРИЗ, прогнозировать технологические показатели разработки, оптимизировать схемы вскрытия пласта и размещения скважин, планировать эффективность геолого-технологических мероприятий и воздействия на пласт.

Управление разработкой газовых и газоконденсатных месторождений. Первыми объектами интегрированного трёхмерного геолого-гидродинамического моделирования для управления промыслом были газовые месторождения. Но такое моделирование имеет ограничения: невозможность оперативно оптимизировать режимы работы добывающих скважин, выбирать оптимальную депрессию, синхронизировать добычу и модель ограничений с геолого-технологическими мероприятиями. Искусственный интеллект в связке с математической моделью позволит обойти эти ограничения. Известен успешный опыт регулирования режимов работы скважин на Лунском нефтегазоконденсатном месторождении [10] расположенном на шельфе острова Сахалин, где удалось продлить “полку” добычи газа на два года, нарастить коэффициент извлечения газа и конденсата. Всё более актуальным становится поиск оптимальных режимов эксплуатации газовых скважин, основанный на многовариантных расчётах с использованием интегрированной трёхмерной гидродинамической модели под контролем оптимизационных алгоритмов.

Формирование программы исследовательских работ для обоснования оптимальных режимов работы скважин с учётом времени бурения боковых стволов связано с немалыми сложностями, поскольку современные методы моделирования на основе решения уравнений методом конечных разностей не позволяют оперативно получать исчерпывающий ответ. Функциональную связь между дебитами газовых скважин, необходимую для оптимизации режимов, можно установить на основе замеров дебитов и давлений высокой дискретности. Скважины Лунского нефтегазоконденсатного месторождения были оборудованы необходимыми датчиками, что позволяет решить эту задачу, но необходимо внедрить принципиально иной математический аппарат для обработки данных и дооснастить “старые” месторождения средствами измерения и контроля.

* * *

Классический научный подход к освоению месторождений — продвижение от изученного в сторону неизученного — в настоящее время выглядит так: на ранней стадии освоения изученность определяется степенью разведки месторождений и технологией разработки, на поздней — знанием распределения остаточных запасов и технологией их извлечения.

Парадигму рационального освоения недр можно разбить на два этапа. На ранних стадиях (первый этап) — проведение разведки месторождения с целью достоверной оценки его запасов и понимания геологических особенностей (разведанные запасы должны составлять не менее 50%), а также создание новых технологий для экономически эффективного освоения таких запасов. Если последняя часть задачи в настоящее время реализуется с помощью создания соответствующих полигонов геологоразведки, то первая остаётся нерешённой. Причина — невовлечённость государства в поисковый этап и серьёзное отставание технологий геологоразведки от технологий освоения месторождений.

На поздних стадиях (второй этап) — детальное изучение структуры остаточных запасов и внедрение технологий их адресной отработки. По сути это выделение продуктивных “пятен” в сланцевых коллекторах. При этом главная задача — локализация таких зон — решается либо с помощью технологий геологоразведки (4Д-сейсмомониторинг, оценочное и уплотняющее бурение одновременно с применением промыслово-геофизических методов), либо методами геолого-промыслового анализа, “обученного” нейронными сетями, с привлечением всего массива накопленной информации и текущего дискретного мониторинга на основе достоверного информационного потока, получаемого в реальном времени с мобильных промысловых систем.

Развитие методов управления разработкой в сочетании с методами искусственного интеллекта

и интегрированным моделированием позволяет на принципиально ином уровне управлять месторождением углеводородного сырья на всех стадиях его жизни, повышая рентабельность запасов и обеспечивая запланированные в энергостратегии Российской Федерации уровни добычи нефти и газа. Однако требуется кардинальная трансформация используемых инструментов, в том числе подготовки регламента интегрированного моделирования и применения в практике моделей, основанных на методах искусственного интеллекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нишкевич Ю.А., Рябец Д.А., Бриллиант Л.С. и др. Опыт организации роботизированных систем управления заводнением в алгоритмах искусственного интеллекта при оптимизации разработки высокообводненных залежей // Геология и недропользование. 2022. № 7. С. 51–58.
Nishkevich Yu.A., Ryabets D.A., Brilliant L.S. et al. Experience in organizing robotic waterflooding control systems in artificial intelligence algorithms for optimizing the development of highly watered deposits // *Geology and subsoil use*. 2022, no. 7, pp. 51–58. (In Russ.)
2. Андонов К.А., Елишева А.О., Круглов С.П. Управление разработкой зрелых месторождений с применением нейронных сетей на месторождениях ПАО “Лукойл”. <https://togi.ru/publication/> (дата обращения 11.07.2024)
Andonov K.A., Elisheva A.O., Kruglov S.P. Management of mature field development using neural networks at Lukoil PJSC fields. <https://togi.ru/publication/> (date accessed 11.07.2024)
3. Меркель М.А. Предиктивная аналитика отказов ГНО. <https://togi.ru/publication/> (дата обращения 11.07.2024)
Merkel M.A. Predictive analytics of GNO failures. <https://togi.ru/publication/> (date accessed 11.07.2024)
4. Завьялов А.С. Технологии искусственного интеллекта в управлении добычей. <https://togi.ru/publication/> (дата обращения: 11.07.2024)
Zavyalov A.S. Artificial Intelligence Technologies in Production Management. <https://togi.ru/publication/> (date accessed 11.07.2024)
5. Зарубин А.Л., Перов Д.В., Рябец Д.А. и др. Автоматизация процессов нейросетевой оптимизации режимов закачки воды на месторождениях АО «НК «Нефтиса» // Нефть. Газ. Новации 2020. № 8. С 30–35.
Zarubin A.L., Perov D.V., Ryabets D.A. et al. Automation of processes of neural network optimization of water injection modes at the fields of JSC NK Neftisa // *Oil. Gas. Innovations*. 2020, no. 8, pp. 30–35. (In Russ.)
6. Рябец Д.А., Бескурский В.В., Бриллиант Л.С. и др. Автоматизация процессов управления режимами работы нагнетательных скважин при нейросетевой оптимизации на объекте БС8

- Западно-Малобалыкского месторождения // *Neftegaz.RU*. 2020. № 2 (98).
- Ryabets D.A., Beskursky V.V., Brilliant L.S. et al.* Automation of processes for controlling the operating modes of injection wells with neural network optimization at the BS8 facility of the Zapadno-Malobalyk-skoye field // *Neftegaz.RU*. 2020, no. 2 (98). (In Russ.)
7. *Трофимова Е.П., Лучинин С.Б., Валеев Е.М., Южанина А.А.* Техничко-экономическое обоснование применения мобильных установок подготовки скважинной продукции на нефтяных месторождениях в период пробной эксплуатации // *Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений*. 2020. № 4. С. 1–49.
 - Trofimova E.P., Luchinin S.B., Valeev E.M., Yuzhanina A.A.* Feasibility study for the use of mobile well product preparation units at oil fields during trial operation // *Development and operation of oil and gas fields*. 2020. no. 4, pp. 1–49. (In Russ.)
 8. *Сугаипов Д.А., Батрашкин В.П., Хасанов М.М. и др.* Основные принципы модульной стратегии обустройства месторождений в ПАО “Газпром нефть” // *Нефтяное хозяйство*. 2018. № 12. С. 68–71. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-12-68-71
 - Sugaipov D.A., Batrashkin V.P., Khasanov M.M. et al.* Basic principles of the modular strategy for field development at PJSC Gazprom Neft // *Oil industry*. 2018, no. 12, pp. 68–71. (In Russ.) DOI: 10.24887/0028-2448-2018-12-68-71
 9. *Дашевский А.В., Устимчук М.В., Дубровин К.А. и др.* Современные решения для обустройства инфраструктуры малых месторождений // *Нефтяное хозяйство*. 2018. № 12. С. 124–125.
 - Dashevsky A.V., Ustimchuk M.V., Dubrovin K.A. et al.* Modern solutions for the arrangement of small field infrastructure // *Oil Industry*. 2018, no. 12, pp. 124–125. (In Russ.)
 10. *Дашков Р.Ю., Гафаров Т.Н., Облеков Р.Г. и др.* Опыт освоения и оптимизация разработки Лунского нефтегазоконденсатного месторождения // *Газовая промышленность / Спецвыпуск*. 2024. № 2 (866). С. 48–53.
 - Dashkov R.Yu., Gafarov T.N., Oblekov R.G. et al.* Experience of development and optimization of the Lunskoye oil and gas condensate field // *Gas industry. Special issue*. 2024, no. 2 (866), pp. 48–53. (In Russ.)

INTEGRATED MODEL FOR DIGITAL OIL FIELD DEVELOPMENT MANAGEMENT

I.V. Shpurov^{a,*}, M.Yu. Danko^{b,}, K.S. Kharchenko^{c,***}, M.F. Pecherkin^{b,****},
A.G. Krotova^{c,*****}, E.A. Simakov^{b,*****}**

^a*State Commission on Mineral Reserves, Moscow, Russia*

^b*Tyumen Institute of Oil and Gas LLC, Tyumen, Russia*

^c*Oil and Gas Scientific and Research Centre, Lomonosov State University, Moscow, Russia*

**E-mail: shpurov@gkz-rf.ru*

***E-mail: danko@togi.ru*

****E-mail: kharchenkoks@nicmgu.ru*

*****E-mail: mikhail.pecherkin@mail.ru*

******E-mail: krotovaag@nicmgu.ru*

******E-mail: Simakov@togi.ru*

Providing the extractive industry with new technologies to maintain the levels of oil and gas production planned in the strategy of the Russian Federation is the most important task. First of all, an increase in profitable reserves must be ensured; this goal can be achieved both through geological exploration and through the capabilities of “digital transformation” and the formatting of decision-making systems. A field controlled by artificial intelligence is a new reality. At the same time, the main task of AI is not to reduce jobs or completely replace humans in the field, but to provide a systematic, objective approach to decision-making based on physics and mathematics, and not on the personal experience of an individual. Currently, the main planning tool in the oil and gas industry is a geological and hydrodynamic model. Recently, thanks to an increase in design capacity, the industry has made an evolutionary leap in this direction and is transitioning to integrated modeling that combines both the underground and surface parts of the field. The future is neural network technologies, combined with classical methods into a single digital environment for optimizing all processes, from reservoir to processing and sales of products. In the new paradigm, the process of development management at different stages of field development requires a radical transformation of both the tools used for this and changes in governing documents. To meet the ever-accelerating pace of

progress, timely updating of the legislative framework is required, development of regulations for integrated modeling, including all elements of research and production, from seismic exploration to field development; in addition, each stage of field development requires its own requirements for the quality and volume of initial information, in accordance with the new production paradigm.

Keywords: Field development management, hard to recover reserves, digital production, integrated modeling, artificial intelligence, reservoir engineering.

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПОДХОДОВ К СОКРАЩЕНИЮ УЩЕРБА ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2024 г. П.Н. Шебалин^{а,*}, С.А. Тихоцкий^{б,**}, А.А. Коваленко^{с,***}

^аИнститут теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

^бИнститут физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

^сАО «Российская национальная перестраховочная компания», Москва, Россия

*E-mail: shebalin@mitp.ru

**E-mail: sat@ifz.ru

***E-mail: anton.kovalenko@rnrc.ru

Поступила в редакцию 15.07.2024 г.

После доработки 15.08.2024 г.

Принята к публикации 29.08.2024 г.

Катастрофические землетрясения на территории России не происходили со времени Нефтегорского землетрясения 1995 г. Почти 30 лет видимого спокойствия не означают, однако, что такие катастрофы исключены в ближайшие десятилетия. За прошедшие 30 лет произошло около 10 сравнимых по силе с Нефтегорским землетрясением, но все они фиксировались в малонаселённых районах Камчатки, Курил, Алтая. Опыт недавних землетрясений в Турции и Марокко показывает, что принятые во всём мире, включая Россию, подходы к оценке сейсмической опасности и система использования таких оценок при строительстве нуждаются в корректировке. В статье обсуждается необходимость применения как вероятностного подхода, так и методов детерминистского анализа, обеспечивающих большую надёжность при детальном сейсмическом районировании в местах возможных катастрофических землетрясений и при строительстве важных объектов. Оценки сейсмического риска в масштабах страны ранее не проводились, но они необходимы для внедрения системы страхования от стихийных бедствий и приоритизации расходов на укрепление зданий в сейсмоопасных районах. Авторы не только предлагают пути совершенствования подходов к сокращению ущерба от землетрясений, но и обосновывают необходимость тесной кооперации широкого круга специалистов.

Статья подготовлена на основе доклада, заслушанного на заседании президиума РАН 11 июня 2024 г.

Ключевые слова: оценка сейсмической опасности, вероятностный и детерминистский анализ сейсмической опасности, сейсмический риск, общее сейсмическое районирование, детальное сейсмическое районирование, цифровая модель сейсмической опасности.

DOI: 10.31857/S0869587324100046, EDN: ESADFW



ШЕБАЛИН Пётр Николаевич – член-корреспондент РАН, директор ИТПЗ РАН. ТИХОЦКИЙ Сергей Андреевич – член-корреспондент РАН, директор ИФЗ РАН. КОВАЛЕНКО Антон Алексеевич – начальник отдела АО «РНПК».

Землетрясения входят в число самых опасных природных катастроф, от них гибнут люди, разрушаются жилища, страдает инфраструктура¹. В последние три десятилетия в России произошёл ряд сильнейших землетрясений. Они зафиксированы, в частности, на границе Евразийской и Тихоокеанской тектонических плит – вблизи курильского острова Симушир 15 сентября 2006 г. и 13 января 2007 г. и на большой глубине (около 600 км) под Охотским морем в районе Камчатки 24 мая 2013 г. Магнитуда каждого из них превысила 8. Охотоморское землетрясение из-за большой глубины ощущалось даже в Москве, но по той же причине нигде не привело к значимому ущербу. Два Симуширских землетрясения произошли вблизи необитаемого в настоящий момент острова, поэтому также не нанесли значимого ущерба в районе своих эпицентров. Тем не менее первое из них вызвало цунами высотой до 20 м. Волна пересекла Тихий океан и дошла до берегов Калифорнии, сохранив высоту почти 2 м и причинив ощутимый ущерб. Другие сильнейшие землетрясения на территории России также происходили в малонаселённых районах, поэтому не сопровождалась катастрофическим ущербом. Это Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. ($M=7.9$), Чуйское 27 сентября 2003 г. на Алтае вблизи границы с Монголией ($M=7.3$), Олюторское на севере Камчатки 21 апреля 2006 г. ($M=7.6$), Тувинские землетрясения 27 декабря 2006 г. и 26 февраля 2007 г. (оба $M=6.7$), Илин-Тасское на севере Якутии 14 февраля 2013 г., землетрясения вблизи Командорских островов 29 марта 2017 г. и 20 декабря 2018 г. ($M=7.8$ и $M=7.3$).

На протяжении почти 30 лет землетрясения на территории России не приводили к катастрофическим последствиям, но это не означает, что такая ситуация будет сохраняться в дальнейшем. Катастрофические землетрясения всегда происходят внезапно и в относительно неожиданных местах. Недавняя катастрофа 6 февраля 2023 г. в Турции и Сирии (два землетрясения произошли с временным интервалом 9 ч. и имели магнитуду 7.8 и 7.5 соответственно) заставляет вспомнить о единственном действительно катастрофическом землетрясении на территории России в современную эпоху, которое произошло в г. Нефтегорск на Сахалине 28 мая 1995 г. ($M=7.6$). Город с трёхтысячным населением был полностью разрушен, погибло две трети его жителей.

Строительство в сейсмоопасных районах России, так же как и в большинстве стран, расположенных в сейсмически активных зонах, регулируется законодательно. В России основным нормативным документом служит свод правил СП 14.13330.2018, который в 2018 г. заменил действовавший до этого разработанный в СССР СНиП II-7-81. Строитель-

ные нормы для конкретных объектов принимаются в зависимости от нормативной интенсивности сейсмических воздействий, определяемой комплектом карт Общего сейсмического районирования (ОСР), создававшихся в СССР с 1930-х годов. Как и в мире, советские карты ОСР 1936, 1949, 1957, 1968, 1978 гг. строились на детерминистском принципе: считалось важным определить, каково максимально возможное воздействие землетрясения в каждой точке карты.

На Западе строительная отрасль давно связана с системой страхования, в том числе от стихийных бедствий. Поэтому уже в 1960-е годы в западных странах, начиная с США, стали разрабатываться модели сейсмического риска, по которым оценивался возможный ущерб от землетрясений – с тем, чтобы страховые компании могли оценивать необходимый размер страховых премий. За основу были взяты вероятностные модели сейсмической опасности, цель которых – выяснить, с какой вероятностью в заданный период времени в данной точке или на данном объекте возможны воздействия заданной степени. Сейсмический риск определяется наложением на такую модель модели экономического ущерба при заданном сейсмическом воздействии на отдельный объект, их группу, целый район или область.

Оценки сейсмического риска в масштабах всей России до сих пор не проводились. При добровольном страховании страховщики опираются на карты ОСР и данные исследований, предоставляемые страхователем. Планировавшееся в России обязательное страхование жилья от чрезвычайных ситуаций не получило развития отчасти из-за отсутствия реальных инструментов оценки. Без них риск оценивается как запретительный для территорий с высокой нормативной интенсивностью (балльностью) и как отсутствующий для прочих регионов. Такой подход привёл бы к отказу страховщиков от работы в сейсмоопасных регионах и нездоровой конкурентной борьбе за рынки других регионов.

Наконец, из мировой практики хорошо известно, что в случае катастрофических землетрясений средств страховых и перестраховочных компаний не хватает на полное покрытие ущерба, и помощь государства в таких случаях неизбежна. Поэтому необходимы законодательные решения, предусматривающие ограниченную ответственность страховых и перестраховочных компаний в случае крупных катастроф. Ситуация осложнена тем, что оценку объёма страховых и перестраховочных резервов на случай масштабных катастроф и величину необходимой материальной помощи государства невозможно дать с использованием традиционных инструментов.

Оценки сейсмического риска имеют и другую важную сторону. Современное строительство в сейсмоопасных регионах ведётся с учётом необходимой сейсмостойкости, но многие старые постройки либо

¹ Статья продолжает анализ проблемы сейсмической опасности, предпринятый в работе [1].

были сооружены без такого учёта, либо частично утратили необходимую прочность вследствие длительного срока эксплуатации. Расчёты сейсмического риска в масштабах страны позволят наиболее рационально разместить средства на необходимое сейсмоусиление объектов жилого фонда и инфраструктуры.

Примером инструмента для расчёта риска может служить реализуемый в АО «Российская национальная перестраховочная компания» проект Риск-офис. Проработка его концепции была начата в 2019 г. по поручению Банка России. Главная цель проекта — сбор данных и построение моделей для оценки влияния определённых рисков (главным образом связанных с природными и вызванными человеком катастрофами) на финансовую устойчивость страхового сектора и для определения страховых тарифов и резервов, формируемых страховыми компаниями, а также для оценки возможного кумулятивного экономического ущерба по всей территории Российской Федерации. В настоящее время реализуются компоненты риск-офиса для оценки рисков, связанных с землетрясениями и наводнениями. Для расчётов сейсмического риска используется разработанная в ИТПЗ РАН в рамках государственного задания и проектов Российского научного фонда цифровая модель сейсмического режима, учитывающая афтершоковую активность, и модель затухания сейсмического воздействия, учитывающая геометрию системы разломов. Модели обеспечивают детальность, необходимую для расчётов риска как для отдельных объектов или их групп, так и для протяжённых территорий. Предполагается регулярное (не реже одного раза в 5 лет) обновление данных и параметров моделей. Таким образом, будет достигаться поддержание карты и методики оценки рисков в актуальном состоянии.

Карты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации с 1997 г. фактически не обновлялись. В 2015 г., после воссоединения Крыма с Россией, был принят новый вариант карт — ОСР-2015. Помимо добавления сейсмического районирования территории Крыма, по сравнению с ОСР-97, на картах была увеличена ожидаемая балльность на севере Якутии и Камчатки, где произошли Илин-Тасское землетрясение 2013 г. и Олюторское 2006 г. На картах ОСР-97 сейсмическая опасность в этих районах оказалась недооценённой на 2 балла. Позднее был принят обновлённый комплект карт ОСР-2016, но затем это изменение отменили, и действующими снова стали карты ОСР-2015, мало отличающиеся от ОСР-97. Такой консерватизм в строительной отрасли вполне объясним и в определённой мере даже необходим. Частая смена нормативной интенсивности сейсмических воздействий неизбежно приводит к значительным издержкам. Тем не менее известно, что карты ОСР содержат ошибки как в сторону недооценки балльности в районе эпицентров целого ряда

землетрясений, так и в сторону примерно 4-кратного завышения ожидаемой за 25 лет с 1997 г. площади зон нормативной интенсивности каждого балла по сравнению с площадью зон фактически наблюдаемой интенсивности [2]. Если ошибки в сторону недооценки балльности можно объяснить тем, что соответствующие землетрясения произошли в малонаселённых (а, следовательно, и малоизученных) районах, то ошибки, связанные с переоценкой сейсмической опасности, по-видимому, в основном связаны с субъективным фактором в методике оценки. Именно субъективный фактор оценок вызывает обычно наибольшую критику в отношении карт ОСР.

Действующие карты ОСР [3] построены по методике вероятностного анализа сейсмической опасности, получившей широкое распространение в мире в 1990-е годы в рамках международной программы GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program) [4]. При этом используются две модели: первая определяет места (гипоцентры) и частоту повторения землетрясений каждой магнитуды, на основе второй — модели затухания — рассчитывается интенсивность воздействия землетрясения с конкретными гипоцентром и магнитудой в конкретной точке на поверхности Земли или на конкретном объекте. Совмещение двух моделей позволяет определить частоту повторения воздействий землетрясений в заданной точке — сотрясаемость.

Идея вероятностного анализа сейсмической опасности — оценка сотрясаемости была впервые предложена членом-корреспондентом АН СССР Ю.В. Ризниченко [5]. Аналогичная идея независимо была выдвинута в 1968 г. американским сейсмологом К. Корнеллом [6]. Основу этой теории составляет известный закон Гутенберга—Рихтера [7], в соответствии с которым логарифм числа землетрясений определённой магнитуды пропорционален магнитуде с отрицательным коэффициентом пропорциональности. Таким образом, детерминистский подход, подразумевающий, что землетрясения происходят на тектонических разломах, сохранивших активность в голоцене, был расширен применением закона Гутенберга—Рихтера. При этом выделяются линейные структуры, соответствующие активным разломам, для которых определяются параметры закона Гутенберга—Рихтера. Поскольку далеко не все гипоцентры землетрясений удавалось ассоциировать с конкретными известными разломами, К. Корнелл дополнительно ввёл площадные структуры. Ему удалось получить аналитическое решение для комбинации этой модели с моделью затухания, в соответствии с которой интенсивность сейсмического воздействия убывает пропорционально логарифму расстояния до гипоцентра (аналитическое решение требовалось потому, что в то время ещё не хватало вычислительных возможностей для решений численных). Разбиение территории на небольшое количество линейных и площадных элементов

решало проблему неполноты каталогов землетрясений. Параметры действия закона Гутенберга–Рихтера можно было оценить лишь для достаточно больших объектов, внутри которых распределение принималось равномерным.

В рамках программы GSHAP упрощённая линейно-площадная модель Корнелла была сохранена, но вместо аналитического решения стал использоваться синтетический каталог землетрясений и метод Монте-Карло. В некоторых странах в модель был добавлен ещё один элемент – отдельные очаги землетрясений. Такое добавление стало результатом наблюдения так называемых характеристических землетрясений [8], повторяемость которых значительно выше, чем ожидаемых по закону Гутенберга–Рихтера и статистике более слабых событий. Включению этого элемента в модель способствовали и получившие развитие палеосейсмические методы обнаружения очагов древних землетрясений [9]. Позднее теория “характеристических” землетрясений неоднократно подвергалась критике. Главным опровергающим её аргументом служит тот факт, что закон Гутенберга–Рихтера выполняется лишь в области, линейный размер которой многократно превышает линейный размер землетрясения максимальной зарегистрированной в этой области магнитуды [10].

В картах ОСР-97, которые строились на принципах GSHAP, также использовалась модель, состоящая из элементов трёх типов. В отечественной литературе эта модель получила название ЛДФ (линеаментно-доменно-фокальная). Линейные структуры, соответствующие активным разломам, получили название линеаментов, а площадные элементы – доменов. Каждый такой элемент характеризуется двумя параметрами закона Гутенберга–Рихтера и максимально возможной магнитудой. Для линеаментов максимальная магнитуда определяется их длиной, для доменов – максимальной фактически наблюдаемой, с фиксированной добавкой. Третий элемент – отдельные очаги – отражает гипотезу характеристических землетрясений. Отдельные очаги характеризуются только магнитудой и повторяемостью. Такая модель, очевидно, включает очень большое количество субъективных факторов. В работах различных авторов положение и границы разломов часто различаются, и нет объективных методов выбора наиболее точного решения. Выбор границ доменов в принципе не имеет однозначного решения. Это хорошо иллюстрируют очень значительные различия ЛДФ-моделей, которые легли в основу карт ОСР-97 [3] и ОСР-2016 [11].

Заметное улучшение за последние десятилетия качества каталогов землетрясений, снижение уровня представительной магнитуды открывают принципиальную возможность перехода от упрощённых моделей типа ЛДФ к моделям сглаженной сейсмичности, в которых параметры закона Гутенберга–

Рихтера определяются, например, в узлах, расположение и густота которых могут быть адаптированы не только к параметрам сейсмического режима, но и к объёму и качеству имеющейся сейсмологической информации. Переход к новым моделям постепенно становится общемировой тенденцией [12]. Различают два основных подхода. Первый из них предполагает, что параметры закона Гутенберга–Рихтера оцениваются в кругах постоянного радиуса [13], в соответствии со вторым – по заданному числу ближайших к узлу сетки эпицентров [14]. В первом случае при достаточно большом радиусе выполняются условия закона Гутенберга–Рихтера, но карта параметров оказывается чрезмерно сглаженной. Во втором – при хорошей контрастности оценок в местах высокой активности нарушается условие выполнения закона Гутенберга–Рихтера. Недавно предложенный метод “среднего положения” [10, 15] сочетает в себе преимущества обоих подходов: параметры определяются в кругах достаточно большого радиуса, но значения приписываются не центру круга, а среднему положению попавших в него эпицентров. В методе учитываются квазифрактальные свойства пространственного распределения сейсмичности, благодаря чему сумма теоретических магнитудно-частотных распределений по всем ячейкам регулярной сетки, рассчитанных по оценкам параметров, совпадает с зарегистрированной по всему региону.

Оценки параметров закона Гутенберга–Рихтера на близкой к регулярной сетке, покрывающей исследуемую территорию, в принципе позволяют получить локальные оценки повторяемости самых сильных землетрясений. Однако при этом ненулевая вероятность таких событий будет получена во всех узлах сетки, а высокие значения повторяемости “размазаны” по слишком большой территории. В результате это может привести к снижению вероятности сильного воздействия от землетрясений в каждой конкретной точке, то есть недооценке сейсмической опасности в действительно опасных местах. Общепринятое решение в рамках моделей сглаженной сейсмичности – ограничение территорий, на которых возможны сильнейшие землетрясения [12]. Например, это могут быть окрестности крупных разломов. Другой вариант – использование результатов распознавания мест возможного возникновения сильных землетрясений [16]. Выделение опасных участков активных разломов возможно также путём исследования напряжённого состояния разломов методами спутниковой навигации, интерферометрии [17, 18] и тектонофизики [19], а также их комбинирования.

Оценки сейсмической опасности могут в значительной степени зависеть от выбора исходных данных – каталогов землетрясений, в особенности от используемой шкалы магнитуды. Наиболее подробные данные о землетрясениях в сейсмоопасных регионах России формируют региональные филиа-

лы Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба Российской академии наук” (ЕГС РАН) [20]. В каждом из её филиалов исторически сложились свои методики определения параметров землетрясений. В качестве энергетической характеристики этих событий традиционно используется энергетический класс, предложенный известным советским и российским сейсмологом Т.Г. Раутиан [21], с различными региональными модификациями, а пересчёт к используемой во всём мире магнитуде ведётся по корреляционным соотношениям.

Данные с большинства сейсмических станций ЕГС РАН передаются в международные центры, в том числе в Международный сейсмологический центр (International Seismological Centre, ISC). В ISC с использованием исходных станционных данных осуществляется перерасчёт магнитуды землетрясений по единой методике [22]. Для наиболее сильных землетрясений используется шкала “моментной магнитуды” M_w , для более слабых, для которых невозможно оценить сейсмический момент и, соответственно, магнитуду M_w , — шкала магнитуды по объёмным волнам. При этом шкалы хорошо стыкуются: магнитудно-частотные распределения сохраняют в билогарифмическом масштабе прямолинейную форму в широком диапазоне [22]. Это свойство позволяет калибровать различные региональные определения магнитуды или энергетического класса к единой шкале [23–25]. В ISC для определения параметров землетрясений на территории России используются данные не только Российских станций. Благодаря этому в каталоге ISC часто присутствуют данные о землетрясениях, отсутствующие в региональных каталогах ЕГС РАН. Верно и обратное, поэтому объединение региональных данных ЕГС РАН и данных ISC позволяет сформировать существенно более полный каталог по сравнению с каждой из используемых составляющих. Для более точных оценок сейсмической опасности и сейсмического риска необходимо создать наиболее полные и однородные по магнитуде каталоги землетрясений. В нереализованном пока идеале это должен быть единый каталог землетрясений всех сейсмоопасных территорий России и приграничных районов, в котором параметры событий будут определены по единой методике с использованием исходных данных максимально возможного числа сейсмических станций. Паллиативное решение предполагает создание объединённых каталогов путём алгоритмической ассоциации данных разных источников с одним и тем же землетрясением. Сравнение разных магнитудных определений в объединённом каталоге для одного и того же сейсмического события позволяет получить корреляционные соотношения разных типов магнитуды и на их основе привести магнитуду к единой шкале. Объективность оценок для результирующего объединённого “калиброванного” каталога землетрясений может обеспечиваться и контролироваться

благодаря открытому доступу к каталогу, как это сделано, в частности, для территорий Российской Арктики [23–25].

Форма представления результатов вероятностной оценки сейсмической опасности в виде карт ОСР не в полной мере соответствует целям такой оценки. Во-первых, на каждом из трёх вариантов карты фиксируется определённый уровень вероятности превышения нормативной интенсивности за 50 лет: 0.1 — вариант А, 0.05 — вариант В и 0.01 — вариант С карт ОСР-97, ОСР-2015 и ОСР-2016. Вариант А используется для объектов массового строительства, вариант В — для объектов повышенного уровня ответственности, таких как объекты социального обеспечения, торговые центры и здания высотой более 75 м, С — для особо ответственных объектов, включая правительственные здания и объекты жизнеобеспечения. Таким образом, каждый из вариантов карт ОСР используется де-факто как детерминистская оценка разной степени надёжности или неопределённости не превышения нормативной интенсивности. Более того, поскольку в основе вероятностного подхода лежит закон Гутенберга–Рихтера, а значит, вероятность понимается в частотном смысле, карты В и особенно С вряд ли можно считать вероятностными. Учёт частоты повторения сейсмических воздействий имеет смысл лишь в том случае, если возможна реализация нескольких циклов события при одних и тех же условиях за некоторый период. Карта С подразумевает повторяемость примерно один раз в 5000 лет. За это время система тектонических разломов претерпевает довольно значимые изменения, и ранее более активные участки могут стать менее активными и наоборот, в итоге смысл “повторяемости” теряется.

Во-вторых, карты ОСР не учитывают корреляцию эффектов от землетрясений по пространству и времени. Зоны одной и той же балльности могут быть образованы как за счёт редких, но сильных сейсмических событий, так и за счёт большого числа более слабых, происходящих в разное время на большой территории. В первом случае разрушения произойдут одновременно на большом пространстве, во втором — эффект каждый раз будет локальным и проявляться в разное время. Совокупный накопленный ущерб при прочих равных условиях в первом случае будет намного значительнее.

Цель вероятностного анализа — получение адекватных оценок сейсмической опасности и сейсмического риска и переход к риск-ориентированному подходу в сейсмостойком строительстве во избежание необоснованных затрат. Для достижения этой цели целесообразно переходить от карт сейсмического районирования к цифровым моделям, включающим каталоги землетрясений, сведения о сейсмогенерирующих структурах и утверждённые алгоритмы расчёта как нормативной сейсмичности и интенсивности сейсмических воздействий, так

и сейсмического риска. При этом открытый доступ к исходным базам данных способствовал бы повышению объективности данных и результатов оценок.

Цифровая модель сейсмичности — это синтетический каталог землетрясений, воспроизводящий свойства реального каталога, но генерируемый на произвольный условный период. Использование синтетического каталога, включающего условное время землетрясений, удобно при расчётах сейсмического риска. Для произвольного объекта строительства или группы объектов методом Монте-Карло (перебором всех событий синтетического каталога) с использованием модели затухания может быть рассчитана частота повторения определённой степени воздействия землетрясений, а по модели экономического ущерба — совокупный ущерб за конкретный период. При этом возможно учитывать и снижение сейсмостойкости при каждом разрушительном воздействии.

Цифровая модель сейсмической опасности допускает учёт вклада сильных повторных толчков — афтершоков. При определении параметров модели сейсмичности афтершоки исключают из рассмотрения. Это связано с тем, что афтершоки концентрируются в пространстве и времени вблизи отдельных землетрясений, на какой-то период значительно увеличивая частоту сейсмических событий. Любой каталог инструментально зарегистрированных землетрясений охватывает период всего в несколько десятков лет. За это время в каких-то местах сильные землетрясения с большим числом афтершоков уже произошли, а в каких-то нет. Поэтому использование полного каталога приводило бы к локальному завышению опасности вблизи эпицентров состоявшихся сильных землетрясений. Но количество удалённых из каталога афтершоков обычно приблизительно совпадает с количеством основных толчков, и среди них бывают очень сильные афтершоки. Внимание к опасности афтершоков резко выросло после серии землетрясений в регионе Кентербери на Южном острове Новой Зеландии в конце 2010 — начале 2011 г. Первое землетрясение 4 сентября 2010 г. магнитудой 7.3 вызвало частичные повреждения зданий и инфраструктуры в регионе, в том числе в г. Крайстчёрч, — на тот период вторым по численности населения городе Новой Зеландии. 22 февраля 2011 г. прямо под городом произошёл афтершок магнитудой 6.3, вызвавший человеческие жертвы и значительные разрушения. Другой яркий пример важности учёта опасности афтершоков — второе землетрясение 6 февраля 2023 г. в Турции. Разрушения от повторных толчков могут быть очень большими, даже если их сила намного меньше силы основного толчка, в результате которого нарушается конструктивная прочность зданий. Чтобы учесть опасность афтершоков в мировой практике уже применяется стохастическое моделирование на основе широко известной модели ETAS (Epidemic-type aftershock

sequences) [26]. Стандартная модель ETAS обычно завышает количество афтершоков, но её модификация на основе закона продуктивности [27, 28] обеспечивает примерно такую же долю афтершоков в синтетическом каталоге, какая была удалена из каталога фактических землетрясений [28].

Синтетический каталог землетрясений может быть использован для количественной проверки соответствия модели реальной сейсмичности. Для этого уже разработаны математические методы [29], которые также позволяют количественно сравнивать разные модели. Подобный анализ важен при выборе наиболее адекватной модели.

Очень сложная и малоисследованная проблема вероятностных оценок — нестационарность сейсмических процессов и неопределённость масштабов времени, в которых сейсмическую активность можно считать стационарной. Учёные постепенно приходят к консенсусу, что вероятностный анализ может давать более или менее надёжные оценки лишь на период около 50 лет [12]. Такие оценки вполне достаточны для расчётов сейсмического риска, необходимых для целей как страхования и перестрахования и приоритизации вложений на сейсмоусиление старых строений. Оценки с использованием цифровой модели сейсмической опасности могут и должны стать основой более детальных исследований в местах, где существует определённая вероятность значительных разрушений при землетрясении. Для обеспечения сейсмобезопасности в таких местах, а также при строительстве ответственных объектов необходимо применять и совершенствовать методы детального сейсмического районирования (ДСР).

В настоящее время ДСР направлено главным образом на учёт локальных особенностей геологического строения, включая грунтовые условия, выявление и уточнение положения сейсмогенерирующих структур, экспериментальное изучение спектров реакции, выявление очагов слабых землетрясений и имеет своей целью уточнение карт ОСР в более детальном масштабе. Развивать ДСР необходимо не только в направлении совершенствования моделей затухания сейсмических волн, вплоть до моделирования сейсмического воздействия потенциальных землетрясений на конкретные сооружения, но и актуализации оценки сейсмического потенциала и напряжённого состояния геологических структур методами тектонофизики, спутниковой геодезии, интерферометрии, математического моделирования.

Важность совершенствования моделей затухания можно пояснить на примере г. Петропавловск-Камчатский. Для этого города опасность может представлять приповерхностное землетрясение, эпицентр которого окажется в непосредственной близости. Но его магнитуда не будет очень большой, а вероятность события невелика. Гораздо большую опасность представляют землетрясения на грани-

це Тихоокеанской и Евразийской литосферных плит, магнитуда которых может достигать 8 и выше. Однако граница плит проходит на расстоянии более 100 км от Петропавловска-Камчатского – либо прямо под городом на глубине, либо ближе к поверхности дна океана, но тоже на удалении. Пример – землетрясение 25 ноября 1971 г. магнитудой 7.2, произошедшее на глубине около 120 км, его эпицентр был недалеко от города. В самом Петропавловске-Камчатском из-за большой глубины очага землетрясение ощущалось силой в VI–VII баллов. Поскольку в этом районе возможны и более сильные землетрясения, точная модель затухания сейсмических волн, а также учёт их вероятных спектральных характеристик позволят с большей точностью смоделировать возможное воздействие землетрясений на здания и инфраструктуру города.

Особую опасность представляют землетрясения, очаг которых выходит на поверхность Земли, такие, как Нефтегорское 28 мая 1995 г., в Турции 6 февраля 2023 г. Для подобных случаев фактически никакие меры по сейсмоусилению конструкций не могут предотвратить их разрушение [30]. Необходимо выявлять места возможного выхода разломов на поверхность при землетрясении и избегать там строительства каких-либо постоянных сооружений.

Важное направление исследований, которое позволит моделировать воздействие гипотетических землетрясений на конкретные объекты, – моделирование протяжённых и сложных очагов землетрясений и излучения из них сейсмических волн. Это направление было успешно начато в 1970-е годы в СССР, активно продолжается за рубежом, а достижения советских и российских исследователей в области моделирования распространения упругих волн [31, 32] позволяют внедрять его в практику отечественной сейсмологии. Моделирование очагов применяется для построения синтетических акселерограмм, широко используемых в инженерной сейсмологии. Для проверки и уточнения моделей воздействия землетрясений большое значение имеет построение баз данных фактических акселерограмм.

Важную роль играют поиск данных об исторических землетрясениях, палеосейсмические исследования. В существующих методах оценки сейсмической опасности обычно принимается предположение о том, что если в данном месте произошло сильное землетрясение, то событие такой же силы в этом месте может повториться. Но, с другой стороны, в результате сильного землетрясения высвобождается накопленная в течение долгого времени упругая энергия, и для нового сильного землетрясения аналогичная энергия должна накопиться снова. Локальное перераспределение напряжений может спровоцировать возникновение очагов сильных повторных толчков на некотором удалении от очага первого события (примеры – второе землетрясение в Турции 6 февраля 2023 г., повторное Симу-

ширское землетрясение 13 января 2007 г.). Но после относительно краткосрочной активизации в районе крупных землетрясений обычно наступает многолетний период снижения сейсмической активности. Вопрос о том, представляют ли очаги состоявшихся землетрясений опасность в обозримом будущем, опасны ли другие участки системы разломов, должен решаться с помощью детальных исследований геофизическими методами. Геодинамическое моделирование с использованием спутниковой геодезии и интерферометрии, достигающих миллиметровой точности в определении смещений точек земной поверхности [18, 33], оценка напряжённого состояния участков системы тектонических разломов методами тектонофизики с использованием данных о механизмах очагов землетрясений [19] могут помочь решению задачи о степени опасности той или иной сейсмогенной структуры на определённый период. Перечисленные методы давно и успешно развиваются в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, частично в Институте теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, ФИЦ “Единая геофизическая служба Российской академии наук”, Институте земной коры СО РАН.

Вариации сейсмической активности могут быть значительными на интервалах порядка десятилетий. Исследования по средне- и долгосрочному прогнозу землетрясений дают возможность перехода к зависящим от времени оценкам сейсмической опасности [34]. Такие оценки всё чаще используются в мире [12].

* * *

Анализ существующих подходов к оценке сейсмической опасности, опыта их применения за последние два–три десятилетия, новых методов параметризации сейсмичности и исследования напряжённого состояния в системах тектонических разломов, которые активно развивались в этот период, дают основания для совершенствования подходов к сокращению ущерба от землетрясений.

Ущерб от землетрясений может быть связан не только с прямыми экономическими потерями, социальными последствиями катастроф, отрицательным влиянием на экономику страны в целом, но и с косвенными потерями – излишними затратами на сейсмоусиление зданий там, где оценка сейсмической опасности неоправданно завышена. Сокращению таких потерь будет способствовать постепенный переход к риск-ориентированному подходу, в котором (при наличии адекватных моделей сейсмического риска) объём средств, выделяемых на меры по сейсмоусилению в пределах предприятия, населённого пункта, района и т.д., будет сопоставляться с ожидаемыми потерями при условии неприменения или частичного применения таких мер.

Вероятностный анализ сейсмической опасности может давать более или менее надёжные оценки на

период около 50 лет. Поэтому основными сферами его применения в сейсмоопасных регионах должны стать оценки сейсмического риска, используемые в системе страхования и перестрахования от стихийных бедствий, для приоритизации расходов на укрепление старых зданий и сооружений. В строительстве вероятностные оценки сейсмической опасности целесообразно по-прежнему использовать в отношении объектов общегражданского назначения и для определения мест необходимого детального районирования.

Актуальна более общая форма представления вероятностных оценок сейсмической опасности в виде цифровой модели, включающей каталоги землетрясений, сведения о сейсмогенерирующих структурах и утверждённые алгоритмы расчёта как нормативной сейсмичности, так и сейсмического риска, то есть ожидаемых человеческих или экономических потерь. Совершенствование вероятностного анализа сейсмической опасности необходимо вести в направлении минимизации влияния на цифровую модель субъективных факторов. Объективность данных и результатов оценок должна обеспечиваться, в частности, открытостью исходных баз данных и алгоритмов их обработки.

Для обеспечения сейсмобезопасности в местах возможных катастрофических землетрясений и строительства ответственных объектов необходимо применять и совершенствовать методы детального сейсмического районирования (ДСР). Развитие ДСР необходимо вести как в направлении усовершенствования моделей затухания сейсмических волн, вплоть до моделирования воздействия потенциальных землетрясений на конкретные сооружения, так и развития методов оценки сейсмического потенциала геологических структур методами тектофизики, спутниковой геодезии, интерферометрии, математического моделирования.

Проблема нестационарности сейсмических процессов даже на временных интервалах порядка десятков лет подтверждает актуальность исследований по прогнозу землетрясений, хотя результаты применения различных алгоритмов прогноза пока не дают оснований для оперативного реагирования. В то же время результаты долгосрочного и, в меньшей степени, среднесрочного прогноза землетрясений уже в настоящее время могут использоваться для построения зависящих от времени вероятностных оценок сейсмической опасности и, соответственно, сейсмического риска.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шебалин П.Н.* Современные подходы к сокращению ущерба от землетрясений // Вестник РАН. 2024. № 8. С. 738–748.
2. *Шебалин П.Н., Гвишиани А.Д., Дзедоев Б.А., Скоркина А.А.* Почему необходимы новые подходы к оценке сейсмической опасности? // Доклады РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 1. С. 91–97.
3. *Шебалин П.Н., Гвишиани А.Д., Дзедоев Б.А., Скоркина А.А.* Why are new approaches to seismic hazard assessment required? // Dokl. Earth Sc. 2022, vol. 507, no. 1, pp. 930–935. (In Russ.)
4. *Giardini D., Grunthal G., Shedlock K.M., Zhang P.* The GSHAP Global Seismic Hazard Map // Annali di Geofisica. 1999, vol. 42, iss. 6, pp.1225–1228. DOI: 10.4401/ag-3784
5. *Ризниченко Ю.В.* От активности очагов землетрясений к сотрясаемости земной поверхности // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1965. № 11. С. 1–12.
6. *Cornell C.A.* Engineering seismic risk analysis // Bulletin of the Seismological Society of America. 1968, vol. 58, iss. 5, pp. 1583–1606.
7. *Gutenberg B., Richter C.F.* Frequency of earthquakes in California // Bulletin of the Seismological Society of America. 1944, vol. 34 (4), pp. 185–188.
8. *Wesnousky S.G.* Crustal deformation processes and the stability of the Gutenberg-Richter relationship // Bulletin of the Seismological Society of America. 1999, vol. 89, no. 4, pp. 1131–1137.
9. *Schwartz D.P., Coppersmith K.J.* Fault behavior and characteristic earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas fault zones // Journal of Geophysical Research. 1984, vol. 89, no. B7, pp. 5681–5698.
10. *Shebalin P.N., Baranov S.V., Vorobieva I.A. et al.* Seismicity Modeling in Tasks of Seismic Hazard Assessment // Dokl. Earth Sc. 2024, vol. 515, pp. 514–525. <https://doi.org/10.1134/S1028334X23603115>.
11. *Уломов В.И., Богданов М.И.* Пояснительная записка к комплекту карт ОСР-2016 и список

- населённых пунктов, расположенных в сейсмо-активных зонах // Инженерные изыскания. 2016. № 7. С. 49–60.
- Ulomov V.I., Bogdanov M.I.* Explanatory note to the set of GSZ-2016 maps and a list of settlements located in seismically active zones // *Ingenernye izyskaniya*. 2016, no. 7, pp. 49–60. (In Russ.)
12. *Gerstenberger M.C., Marzocchi W., Allen T. et al.* Probabilistic seismic hazard analysis at regional and national scales: State of the art and future challenges // *Reviews of Geophysics*. 2020, vol. 58, e2019RG000653. DOI: 10.1029/2019RG000653
 13. *Frankel A.* Mapping seismic hazard in the central and eastern United States // *Seismological Research Letters*. 1995, vol. 66 (4), pp. 8–21.
 14. *Helmstetter A., Werne M.J.* Adaptive spatiotemporal smoothing of seismicity for long-term earthquake forecasts in California // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2012, vol. 102, no. 6, pp. 2518–2529. <https://doi.org/10.1785/0120120062>
 15. *Vorobieva I., Grekov E., Krushelnitskii K. et al.* High resolution seismicity smoothing method for seismic hazard assessment // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2024, v. 24, no. 1, ES1003.
 16. *Гвишиани А.Д., Соловьёв А.А., Дзобоев Б.А.* Проблема распознавания мест возможного возникновения сильных землетрясений: актуальный обзор // *Физика Земли*. 2020. № 1. С. 5–29. DOI: 10.31857/S0002333720010044
 - Gvishiani A.D., Dzeboev B.A., Soloviev A.A.* Problem of recognition of strong-earthquake-prone areas: a state-of-the-art review // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2020, vol. 56, no. 1, pp. 1–23.
 17. *Vladimirova I.S., Lobkovsky L.I., Gabsatarov Y.V. et al.* Patterns of the seismic cycle in the Kuril Island arc from GPS observations // *Pure and Applied Geophysics*. 2020, vol. 177, no. 8, pp. 3599–3617. DOI: 10.1007/s00024-020-02495-z
 18. *Михайлов В.О., Тимошкина Е.П.* Геодинамическое моделирование процесса формирования и эволюции структур литосферы: опыт ИФЗ РАН // *Физика Земли*. 2019. № 1. С. 122–133.
 - Mikhailov V.O., Timoshkina E.P.* Geodynamic modeling of the process of the formation and evolution of lithospheric structures: the experience of Schmidt institute of Physics of the Earth, RAS // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2019, vol. 55, no. 1, CP102–110.
 19. *Ребецкий Ю.Л.* Тектонофизическое районирование сейсмогенных разломов Восточной Анатолии и Караманмарашские землетрясения 06.02.2023 г. // *Физика Земли*. 2023. № 6. С. 37–65.
 - Rebetsky Yu.L.* Ectonophysical zoning of seismogenic faults in Eastern Anatolia and February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2023, vol. 59, no. 6, pp. 851–877.
 20. *Землетрясения России. ФИЦ ЕГС РАН. 2003–2022; Землетрясения Северной Евразии. ФИЦ ЕГС РАН. 1992–2019.*
 - Earthquakes in Russia. Federal Research Center Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences. 2003–2022; Earthquakes in Eastern Eurasia. Federal Research Center Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences 1992–2019. (In Russ.)*
 21. *Rautian T.G., Khalturin V.I., Fujita K. et al.* Origins and methodology of the Russian energy K-class system and its relationship to magnitude scales // *Seismol. Res. Lett.* 2007, vol. 78, pp. 579–590.
 22. *Di Giacomo D., Bondár I., Storchak D.A. et al.* ISC-GEM: Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900–2009), III. Re-computed MS and mb, proxy MW, final magnitude composition and completeness assessment // *Phys. Earth Planet. Inter.* 2015, vol. 239, pp. 33–47.
 23. *Gvishiani A.D., Vorobieva I.A., Shebalin P.N. et al.* Integrated earthquake catalog of the eastern sector of the Russian Arctic // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022, vol. 12, no. 10, 5010.
 24. *Vorobeveva I.A., Gvishiani A.D., Shebalin P.N. et al.* Integrated earthquake catalog II: The Western sector of the Russian Arctic // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023, vol. 13, no. 12, 7084.
 25. *Vorobieva I.A., Gvishiani A.D., Shebalin P.N. et al.* Integrated earthquake catalog III: Gakkel Ridge, Knippovich Ridge, and Svalbard Archipelago // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023, vol. 13, no. 22, 12422.
 26. *Zhuang J., Ogata Y., Vere-Jones D.* Analyzing earthquake clustering features by using stochastic reconstruction // *J. Geophys. Res.* 2004, vol. 109, p. B05301. DOI:10.1029/2003JB002879
 27. *Шебалин П.Н., Дзобоев Б.А., Баранов С.В.* Закон повторяемости количества афтершоков // *Доклады РАН*. 2018. Т. 481. № 3. С. 320–323. DOI: 10.31857/S086956520001387-8
 - Shebalin P.N., Baranov S.V., Dzeboev B.A.* The law of the repeatability of the number of aftershocks // *Dokl. Earth Sc.* 2018, vol. 481, no. 1, pp. 963–966.
 28. *Shebalin P.N., Narteau C., Baranov S.V.* Earthquake Productivity Law // *Geophysical Journal International*. 2020, vol. 222, pp. 1264–1269.
 29. *Zechar J.D., Gerstenberger M.C., Rhoades D.A.* Likelihood-based tests for evaluating space-rate-magnitude forecasts // *Bull. Seismol. Soc. Am.* 2010, vol. 100, no. 3, pp. 1184–1195. <https://doi.org/10.1785/0120090192>
 30. *Тихоцкий С.А., Татевосян Р.Э., Ребецкий Ю.Л. и др.* Караманмарашские землетрясения 2023 г. в Турции: сейсмическое движение по сопряжённым разломам // *Доклады РАН. Науки о Земле*. 2023. Т. 511. № 2. С. 228–235.
 - Tikhotsky S.A., Tatevosyan R.E., Rebetsky Y.L. et al.* The 2023 Kahramanmaraş Earthquakes in Turkey:

- Seismic Movements along Conjugated Faults // *Dokl. Earth Sc.* 2023, vol. 511, no.2, pp. 703–709.
31. *Petrov I.B., Golubev V.I., Beklemysheva K.A., Vasyukov A.V.* Numerical modeling of earthquake impact on engineering structures on Arctic shelf // *Computational Mathematics and Information Technologies.* 2017, vol. 1 (2). <https://doi.org/10.23947/2587-8999-2017-2-163-168>
32. *Golubev V.I., Kvasov I.E., Petrov I.B.* Influence of natural disasters on ground facilities // *Mathematical Models and Computer Simulations.* 2012, vol. 4, no. 2, pp. 129–134.
33. *Steblov G.M., Shebalin P.N., Melnik G.E.* Precise Satellite Geodetic Measurements and Geodynamic Research in Northern Eurasia: State and Prospects // *Dokl. Earth Sc.* 2024, vol. 518, pp. 1577–1584. DOI: 10.1134/S1028334X24602487
34. *Shebalin P., Narteau C., Holschneider M.* From alarm-based to rate-based earthquake forecast models // *Bulletin of the Seismological Society of America.* 2012, vol. 102, no. 1, pp. 64–72.

ON IMPROVING APPROACHES TO REDUCING EARTHQUAKE DAMAGE

P.N. Shebalin^{a,*}, S.A. Tikhotsky^{b,}, A.A. Kovalenko^{c,***}**

^a*Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Schmidt Institute of physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^c*JSC Russian National Reinsurance Company, Moscow, Russia*

*E-mail: shebalin@mitp.ru

**E-mail: sat@ifz.ru

***E-mail: anton.kovalenko@rnrc.ru

Catastrophic earthquakes have not occurred in Russia since the Neftegorsk earthquake of 1995. Almost 30 years of apparent calm do not mean, however, that such disasters will not occur in the coming decades. Over these 30 years, there have been about 10 earthquakes of comparable strength, but all of them were in sparsely populated areas of Kamchatka, the Kuril Islands, and Altai. The experience of recent earthquakes in Turkey and Morocco shows that the approaches to seismic hazard assessment and the system of using such assessments in construction adopted worldwide, including in Russia, need to be adjusted. The paper discusses the need to apply both a probabilistic approach to seismic hazard assessment, necessary for seismic risk calculations, and deterministic analysis methods that will allow moving to more reliable assessments for detailed seismic zoning in areas of possible catastrophic earthquakes and for the construction of important facilities. Seismic risk assessments have not previously been carried out on a national scale, but are necessary for the implementation of a disaster insurance system and prioritization of costs for strengthening buildings in seismically hazardous areas. The article was prepared on the basis of a report heard at a meeting of the presidium of the RAS on June 11, 2024.

Keywords: seismic hazard assessment, probabilistic and deterministic seismic hazard analysis, seismic risk, general seismic zoning, detailed seismic zoning, digital seismic hazard model.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА И НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ В АРКТИКЕ

© 2024 г. В.И. Богоявленский^{a,*}, И.В. Богоявленский^{a,**}, А.В. Кишанков^{a,***}

^aИнститут проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

*E-mail: geo.ecology17@gmail.com

**E-mail: ivb@ipng.ru

***E-mail: alexey137k@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.07.2024 г.

После доработки 06.08.2024 г.

Принята к публикации 23.08.2024 г.

В статье рассмотрены достижения и проблемы геологоразведочных работ на акваториях Арктики. Авторами статьи получены принципиально новые знания о перспективах нефтегазоносности осадочного чехла и гетерогенного фундамента, а также насыщенности газом в свободном и гидратном состояниях верхней части осадочных отложений. Разработан комплекс новых технологий, включая 4D-сейсморазведку в близких к реальному времени условиях. Впервые по данным сейсморазведки методом преломлённых волн выполнено картирование распространения мёрзлых и талых пород на шельфе морей Восточной Сибири. Дано принципиально новое обоснование газодинамического генезиса образования гигантских кратеров в Арктике, подразумевающее формирование под действием эндогенных процессов газонасыщенных полостей в массивах подземного льда. По данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса на мелководном дне термокарстовых озёр и рек полуострова Ямал, а также прибрежных частей Карского моря выявлено 6022 зоны интенсивной (взрывной) дегазации с формированием кратеров (покмарок). Впервые по данным ДЗЗ из космоса на дне арктических термокарстовых озёр обнаружены крупные грязевулканические постройки с явно выраженными кратерами. Исследованы причины и последствия катастрофических техногенных выбросов и самовоспламенений газа при бурении поисково-разведочных скважин на ряде месторождений в Арктике.

Ключевые слова: Арктика, нефтегазоносность, многолетнемёрзлые породы, дегазация Земли, взрывы газа, газогидраты, катастрофы, сейсморазведка, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), БПЛА.

DOI: 10.31857/S0869587324100055, EDN: ERVSFE

Современное состояние, перспективы и проблемы нефтегазовой сейсморазведки. Сейсморазведка служит основным геофизическим методом изучения геологического строения Земли и поиска месторождений

(залежей) углеводородов, применяемым и активно развиваемым свыше 100 лет. На протяжении последних семи десятилетий проводятся региональные исследования методом глубинного сейсмического зон-



БОГОЯВЛЕНСКИЙ Василий Игоревич — член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией комплексного геолого-геофизического изучения и освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа ИПНГ РАН. **БОГОЯВЛЕНСКИЙ** Игорь Васильевич — научный сотрудник ИПНГ РАН. **КИШАНКОВ** Алексей Владимирович — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник ИПНГ РАН.

дирования, основанным на взрывном возбуждении упругих колебаний с регистрацией преломлённых и отражённых сейсмических волн [1]. Метод был разработан под руководством академика Г.А. Гамбурцева в Геофизическом институте АН СССР (в 2004 г. вошёл в состав объединённого Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН).

В современной нефтегазопроисковой сейсморазведке используются отражённые волны, регистрируемые методом общей глубинной точки (МОГТ), запатентованным в 1956 г. У. Мейном (США) [2]. МОГТ предусматривает многократное возбуждение, регистрацию и накопление упругих колебаний и позволяет успешно решать сложнейшие задачи дистанционного выявления потенциальных резервуаров углеводородов, прогнозирования их физических характеристик, типа и характера флюидонасыщения. Практическое применение этого метода первоначально базировалось на двухмерных региональных и локальных исследованиях вдоль выбранных сейсмопрофилей (2D-сейсморазведка).

Первые значительные объёмы сейсмических материалов на основе МОГТ в арктических морях России были получены Комплексной арктической геолого-геофизической экспедицией (ныне АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция») научно-производственного предприятия «Севморгео» под руководством академика И.С. Грамберга в 1970-х годах. Они позволили обосновать высокие перспективы нефтегазоносности Баренцево-Карского региона, в который уходят северные завершения Тимано-Печорского и Западно-Сибирского нефтегазовых бассейнов, и выявить около 40 перспективных структур. На основе этих данных в 1980-х годах были развёрнуты масштабные геолого-геофизические работы силами Всесоюзного морского научно-производственного объединения по геофизическим поискам и разведке месторождений нефти и газа (ВМНПО «Союзморгео»), созданного в 1979 г. на базе Главного управления разведки и разработки морских месторождений нефти и газа «Главморнефтегаз» Министерства газовой промышленности СССР.

В постсоветские годы большой вклад в проведение геолого-геофизических работ на шельфе Арктики внесли АО «МАГЭ» и АО «СМНГ», финансируемые ПАО «Газпром», ПАО «НК «Роснефть» и из госбюджета. Однако уровень изученности (плотность 2D-сейсморазведки) арктического шельфа России к настоящему времени существенно ниже, чем в акваториях Норвегии, Канады и США (рис. 1) [3–7]. По данным «ВНИИОкеангеология», средняя плотность изученности морей Арктики 2D-сейсморазведкой (км/км²) по состоянию на начало 2023 г. неравномерна: Баренцево и Печорское моря – 0.54, Карское – 0.26, Лаптевых – 0.17, Восточно-Сибирское – 0.08, Чукотское – 0.13. В первых трёх морях проведён большой объём 3D-сейсморазведки.

В изучение геологического строения и перспектив нефтегазоносности Циркумарктического мегарегиона большой вклад внесли академики РАН И.С. Грамберг, А.Э. Конторович, Н.П. Лавёров, В.Е. Хаин, Е.В. Артюшков, В.А. Верниковский, А.Н. Дмитриевский, В.Д. Каминский, М.А. Федонкин, доктора геолого-минералогических наук Я.П. Маловицкий, В.П. Гаврилов, Б.В. Сенин, О.И. Супруненко, Э.В. Шипилов и др. Значительный объём исследований выполнен учёными ИПНГ РАН [3–8].

В итоге проводившихся с 1983 по 2023 г. геолого-разведочных работ на шельфе Баренцево-Карского региона пробурены 106 морских поисково-разведочных скважин. При этом был открыт ряд уникальных и крупных по запасам углеводородов месторождений, а также обоснованы перспективы нефтегазоносности морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. На шельфе Баренцева и Печорского морей открыто 12 месторождений (в их числе 2 уникальных и 7 крупных), на шельфе Карского моря с Обской и Тазовской губами – 20 месторождений углеводородов (13 уникальных и 6 крупных). Ещё одно крупное месторождение, Центрально-Ольгинское, открыто с помощью наклонной скважины, пробуренной с бе-

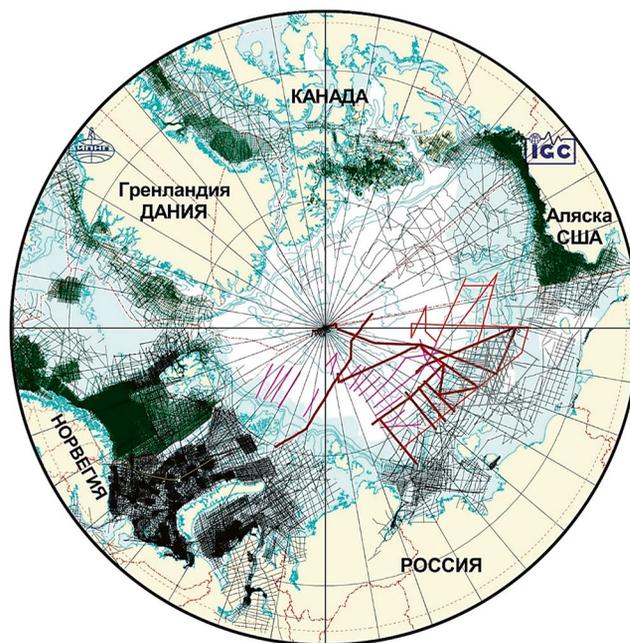


Рис. 1. Изученность акваторий Циркумарктического мегарегиона 2D-сейсморазведкой на основе метода общей глубинной точки

Примечание: российские сейсмопрофили обозначены чёрным цветом, лиловым, красным и бордовым – используемые для обоснования внешней границы российского континентального шельфа; зарубежные сейсмопрофили выделены тёмно-зелёным цветом. Полноцветная версия рисунка 1 и последующихடுத்துна в электронной версии журнала

рега Хатангского залива моря Лаптевых. При этом из 33 месторождений только на трёх ведётся добыча: Приразломное (с 2013 г.) в Печорском море, Юрхаровское (с 2003 г.) и Семаковское (с 2022 г.) в Тазовской губе. В Восточно-Сибирском и Чукотском морях нефтегазопроисловое бурение не проводилось.

Более 10 лет назад мы неоднократно отмечали, что первоочередные месторождения для организации морских нефтегазовых промыслов в условиях сложной ледовой обстановки Арктики рациональнее выбирать вблизи побережья с широко развитой инфраструктурой. При этом особый интерес представляют залежи, которые можно разрабатывать горизонтальными скважинами с берега [5–7]. Это положение базируется на мировом опыте освоения морских ресурсов углеводородов с учётом, что рекордная по длине ствола скважина (15 000 м) с горизонтальным окончанием была пробурена в 2017 г. с морской ледостойкой платформы “Орлан” на сахалинском месторождении Чайво в Охотском море. Её отход от вертикали составил 14 129 м. Подобными скважинами, пробуренными с берега, осваиваются упоминавшиеся Юрхаровское и Семаковское месторождения.

К сожалению, большая часть огромных по площади лицензионных участков в Арктике, полученных в 2009–2014 гг. ведущими отечественными компаниями ПАО «НК «Роснефть»» и ПАО «Газпром», расположена на больших удалениях от берега (от 100 до 1400 км) в экстремальных ледовых условиях, для которых в мире ещё не созданы безопасные технологии нефтегазодобычи. В настоящее время можно констатировать, что лицензионные обязательства по бурению морских скважин большей частью не выполнены, а планы по развёртыванию ширококомасштабной добычи углеводородов на шельфе Арктики к 2030 г. не будут реализованы.

При организации геологоразведочных работ на шельфе Арктики необходимо учитывать большую продолжительность периодов поиска и освоения месторождений. В выборке из 32 морских месторождений углеводородов России и других стран фактическое среднее время начала добычи со дня открытия составило более 25 лет, а по арктическим месторождениям России – свыше 35 лет. Поэтому можно говорить, что работы на шельфе Арктики проводятся на дальнюю перспективу, а открытые месторождения представляют собой стратегический резерв нашей страны. Необходимость государственной поддержки геологоразведочных работ на шельфе Арктики определена потребностью обеспечения национальной безопасности России, для которой требуется “развитие Арктической зоны Российской Федерации как стратегической ресурсной базы и её рациональное использование, включая полномасштабное освоение континентального шельфа” [9, п. 13].

Многомерная сейсморазведка. В последние десятилетия поисково-разведочное бурение обычно

осуществляется после трёхмерной (3D) сейсморазведки, повышающей надёжность обнаружения и изучения залежей углеводородов. При этом морская 3D-сейсморазведка проводится с плавающими косами (обычно от 4 до 24) или с донными станциями (например, отечественный донный комплекс “Краб” АО “МАГЭ” [10]). Применение 3D-сейсморазведки значительно повышает эффективность освоения месторождений за счёт более детального изучения геологического разреза, получения данных об анизотропных свойствах среды для прогноза ориентации систем субвертикальных трещин и фильтрационно-ёмкостных свойств резервуаров (залежей) углеводородов [8].

За рубежом для повышения эффективности разработки морских нефтегазовых месторождений после первого эксперимента 1982–1983 гг. в Техасе всё чаще стал применяться мониторинг процесса флюидозамещения в резервуарах с помощью четырёхмерной (4D) сейсморазведки [11]. Её суть сводится к периодическому (обычно с интервалом в несколько лет) проведению дополнительной 3D-сейсморазведки, при этом при обработке полученных материалов осуществляется разностное сравнение первоначальных и новых данных 3D. Очевидно, что 4D-сейсморазведка – наиболее сложный, трудоёмкий и дорогой метод анализа огромных объёмов информации на базе мощных стационарных вычислительных центров. Однако на фоне повышения коэффициента извлечения нефти в 2 раза и более (свыше 60%) эти затраты мизерны.

В России 4D-сейсморазведка имеет пока очень ограниченное применение. Впервые её осуществила компания “PGS” по заказу “Сахалин Энерджи” на месторождениях Пильтун-Астохское (2010 г.) и Лунское (2018 г.) [12]. В том же 2018 г. “МАГЭ” провела повторные работы 3D с донными станциями на Приразломном месторождении. Таким образом, отечественная нефтегазовая отрасль заметно отстаёт в мониторинге резервуаров, что обусловлено техническими и организационными сложностями, а в некоторой степени и консерватизмом мышления.

Однако в области 4D-сейсморазведки существует возможность “импортоопережения” – кардинального прорыва геофизической отрасли России с целью повышения эффективности и экологической безопасности освоения месторождений углеводородов [12]. Авторами статьи разработан комплекс технологий, базирующийся на различных геофизических принципах, в том числе 4D-сейсморазведка в условиях реального времени (патенты РФ 2539745, 2540005, 2544948, 2579089, 2602735, 2621638, 2691630, 2761052). Комплекс позволяет не только контролировать изменения в залежах углеводородов, но и оперативно выявлять флюидоперетоки в околоскважинном пространстве, угрожающие аварийными и катастрофическими ситуациями (см. ниже). Часть этих разработок выполнена совместно

с ПАО «Газпром» и ООО «Газпром добыча Ямбург», АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «Концерн «Моринсис-Агат» и АО «ЦКБ МТ «Рубин»» [12, с. 470–479]. Это вселяет надежду на их внедрение, в том числе на месторождении Каменномысское-море на строящейся морской ледостойкой платформе. Большая часть наших разработок относится к приоритетному направлению научно-технологического развития в части «Сохранение и рациональное использование природных ресурсов» и входит в перечень «Критических технологий», направленных на «мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды... предупреждение и снижение рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [13, п. 7, 19, 20].

Разработанные технологии ориентированы на своевременное выявление и мониторинг опасных природных и природно-техногенных залежей газа, в первую очередь метана, и жидких углеводородов в верхней части разреза (глубины до 500–900 м) — это одна из важнейших проблем обеспечения безопасности нефтегазового производства и работающего персонала. Из-за выбросов и взрывов газа пострадали и/или полностью разрушены многие сотни буровых установок на суше и акваториях Мирового океана, нанесён огромный урон нефтегазовым промыслам, экосистеме и экономике нефтегазодобывающих стран [6, 7]. К началу 2020 г. прямые финансовые потери компании «BP» и её партнёров «Transocean» и «Halliburton» из-за штрафов и ликвидации работ после катастрофы 2010 г. в Мексиканском заливе превысили 71 млрд долл.

Основные проблемы современной морской сейсморазведки. После трагического развала СССР морской геофизический флот России оказался в крайне сложной ситуации. Производимое в СССР сейсмическое оборудование не могло конкурировать с зарубежным, а финансовые средства на переоснащение геофизических предприятий не выделялись. Тем не менее благодаря активности руководства основных геофизических компаний страны «СМНГ», «ДМНГ» и «МАГЭ», подкреплённой финансовой помощью государственного газового концерна «Газпром» (ныне ПАО «Газпром»), флот был не только сохранён, но и оснащён по западным стандартам. Отметим, что научно-исследовательские суда АН СССР/РАН никогда не имели сейсморазведочного оборудования, подобного используемому в геофизическом флоте СССР/России.

Переоснащение геофизического флота в первой половине 1990-х годов позволило продолжить исследования отечественного шельфа в период навигации и даже получать работу в зимнее время в других странах, несмотря на жёсткую конкуренцию. В 1993–2014 гг. объёмы работ лидера отечественной сейсморазведки «СМНГ» на российском шельфе составляли лишь 9–30% выполняемых им годовых объёмов, что объясняется коротким сезоном работ в летне-осеннее время (2–3 месяца)

и нехваткой заказов, финансируемых из госбюджета и недропользователями.

В 2020 г. российский геофизический флот состоял из 14 судов, полностью оснащённых современными техническими средствами зарубежного производства, включая пять судов для проведения 3D/4D-сейсморазведки, из которых три современных судна («Академик Примаков»/Western Neptune СМНГ «Росгео», «Вячеслав Тихонов»/Polarcus Selma и «Иван Губкин»/Polarcus Amani ПАО «Совкомфлот») способны работать с 8–14 сейсмокосями.

К середине 2024 г. около половины из 14 судов были безвозвратно утеряны или находятся в критическом техническом состоянии. Из-за действия санкций резко обострились проблемы восполнения и ремонта зарубежного геофизического оборудования, а отечественные компетенции, касающиеся плавающего заборного оборудования (сейсмокося), в значительной степени утеряны. Практически единственное исключение — компания «СИ Технологии» (г. Геленджик), в которой благодаря героическим усилиям её руководства ещё сохранились специалисты и производственное оборудование.

Основная проблема сохранения российского геофизического флота — очень ограниченные объёмы финансирования работ, которые в последние годы резко сократились недропользователями и федеральным бюджетом вплоть до близкого к обнулению в 2024 г. Некоторые надежды возлагаются на предусматривающий небольшой объём стабильного финансирования геофизических исследований федеральный проект «Континентальный шельф РФ», который был подготовлен в 2023 г., но ещё не утверждён.

Согласно «Морской доктрине Российской Федерации» [9, п. 23.3] «несоответствие состава и состояния российского научно-исследовательского флота современным требованиям и масштабам задач, стоящих перед Российской Федерацией в сфере морских научных исследований» отнесено к угрозам национальной безопасности России.

Комплексные геофизические исследования перспектив нефтегазоносности Северного Ледовитого океана. За рубежом большое внимание давно уделяют изучению нефтегазоносности глубоких горизонтов, ведут целенаправленный поиск, открыто множество месторождений на глубинах более 5–10 км. Фундаментально важная информация получена в результате изучения палеозойских отложений (до ордовика) глубоких скважин Berta Rogers-1 (забой 9583 м) и Ralph Lowe-1 (забой 8700 м) Анадарского и Пермского бассейнов в южной части США [14, 15]. Можно считать доказанным, что глинистые сланцы палеозоя на глубинах 7–9 км сохраняют значительную способность нефтеобразования, несмотря на температуры свыше 200–230°C и антрацитовый уровень метаморфизма. Высочайший авторитет в области нефтегазовой геологии — академик

А.А. Трофимук – обоснованно считал крайне важными исследования, “расширяющие зону нефтегазообразования за счёт глубокозалегающих осадков, охваченных апокатагенезом”, в которых могут быть открыты “наиболее значительные месторождения нефти и газа” [16, с. 33].

За последние 40 лет геологоразведочных работ глубокие горизонты шельфа Российской Арктики (свыше 3–5 км) изучены крайне мало. До 2013 г. средняя глубина скважин составляла 2940 м, а по скважинам последнего десятилетия этот показатель снизился до 2490 м. Представления о перспективах нефтегазоносности глубоких горизонтов базируются в основном на данных сейсморазведки, бурения скважин и обнажений пород на континентальной суше и некоторых островах. При этом большой оптимизм внушают результаты бурения сверхглубоких скважин на севере Западной Сибири Тюменская-6 (забой 7502 м) и Ен–Яхинская-7 (8250 м), подтвердившие наличие углеводородов и промышленных резервуаров в условиях аномально-высоких пластовых давлений [3].

В ИПНГ РАН проведён широкий комплекс исследований Циркумарктического мегарегиона, основная цель которых состоит в получении принципиально новой информации о перспективах нефтегазоносных и потенциально нефтегазоносных бассейнов с учётом новых данных 2D-сейсморазведки и геохимических анализов образцов кернов, включая показатели отражательной способности витринита [4, 5]. При этом были уточнены модели строения разновозрастного акустического фундамента, мощности осадочного чехла и построена картографическая схема катагенетической преобразованности нефтегазоматеринских толщ нижней части осадочного чехла для всего мегарегиона (рис. 2) [5].

На рисунке 2 наиболее нефтегазоперспективные части нефтегазоносных и перспективных нефтегазоносных бассейнов в порядке приоритета обозначены красным, жёлтым, зелёным и голубым цветами (катагенез от АК до МК₁); частично газоперспективные зоны (ПК) – синим; бесперспективные зоны – серым. Доказано, что осадочные породы нижнего седиментационного этажа ряда нефтегазоносных и перспективных нефтегазоносных бассейнов находятся в зонах мезо- и апокатагенеза, что позволяет говорить о наличии нефтяных и газовых окон генерации углеводородов и продуктивных интервалов в широком глубинном и стратиграфическом диапазонах. Обоснованы высокие возможности перспективных нефтегазоносных бассейнов: шельфа Южно-Чукотского, Новосибирско-Северо-Чукотского, Северо-Карского, Анабаро-Лаптевского, Восточно-Гренландского и Линкольна; котловин Канадской, Подводников и Нансена, а также континентального склона (см. рис. 2) [5]. Перспективы глубоких горизонтов на шельфе Арктики дополнительно подтверждает широкое развитие на глубинах

свыше 2–3 км аномально высокого пластового давления, поддерживающего хорошие коллекторские свойства резервуаров и тормозящего деструкцию углеводородов [4, 17]. При этом оно существенно осложняет проведение буровых работ и многократно приводило к аварийным и катастрофическим ситуациям на суше и акваториях Арктики, о чём пойдёт речь ниже [4, 7].

Авторами статьи впервые выполнен комплексный прогноз потенциальной нефтегазоносности кристаллического и консолидированного фундамента Восточного полушария Циркумарктического мегабассейна (суша и акватории России и Норвегии) и составлена схема размещения перспективных зон и объектов, ранжированных по вероятности обнаружения жидких и газообразных углеводородов (рис. 2) [4, 5]. Технология этих исследований базируется на специально разработан-

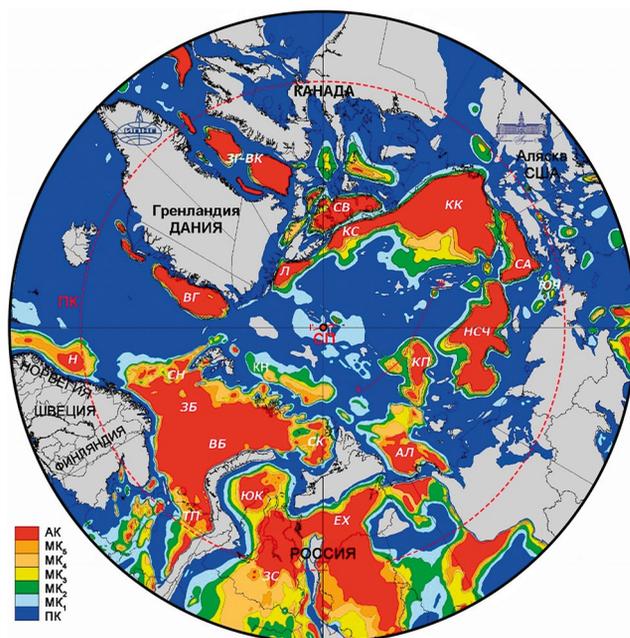


Рис. 2. Нефтегазоносные и потенциально нефтегазоносные бассейны Циркумарктического мегарегиона
Примечание: АК-МК-ПК – катагенез нижней части седиментационных бассейнов; СП – Северный полюс, ПК – Полярный круг. Нефтегазоносные бассейны: ЗБ – Западно-Баренцевский, ВБ – Восточно-Баренцевский, ТП – Тимано-Печорский, ЮК – Южно-Карский, ЕХ – Енисей-Хатангский, СА – Северо-Аляскинский, СВ – Свердрупский, ЗГ-ВК – Западно-Гренландский-Восточно-Канадский, Н – Норвежский, СН – Северо-Норвежский. Потенциальные нефтегазоносные бассейны: СК – Северо-Карский, АЛ – Анабаро-Лаптевский, НСЧ – Новосибирско-Северо-Чукотский, ЮЧ – Южно-Чукотский, ВГ – Восточно-Гренландский, ЮЧ – Южно-Чукотский, КП – котловины Подводников, Л – Линкольна, КС – континентального склона, КК – Канадской котловины

ной алгоритмической формализации комплекса закономерностей образования ряда месторождений в кристаллических фундаментах Норвежского и Южно-Китайского морей (Luno, Белый Тигр, Дракон и др.), выявленных в результате наших предшествующих исследований [4, 5, 18, 19]. Основным поисковым признаком нефтегазоносности кристаллического фундамента служит наличие его прямого контакта с нефтегазоматеринскими толщами осадочных отложений с аномально высоким пластическим давлением, что было успешно подтверждено в Южно-Китайском море в крупном Кыбулонском нефтегазовом бассейне в процессе сотрудничества с СП “Вьетсовпетро” (совместное предприятие АО “Зарубежгеология” и “PetroVietnam”) [19].

Наряду с изучением глубоких горизонтов в ИПНГ РАН проведён широкий комплекс исследований газонасыщенности верхней части разреза на акваториях морей Восточной Сибири, Чукотки и Дальнего Востока. При анализе более 45 тыс. км временных разрезов методом общей глубинной точки АО “МАГЭ”, АО “ДМНГ” и Геологической службы США (USGS) выявлены и закартированы свыше 2.3 тыс. потенциально газонасыщенных объектов [20, 21]. Они искажают характер временных разрезов МОГТ, приводят к погрешностям в глубинных построениях и представляют большую угрозу при бурении скважин.

При анализе временных разрезов МОГТ на ряде акваторий были обнаружены псевдодонные отражающие горизонты BSR (Bottom Simulating Reflector), образующиеся от подошвы потенциально газогидратонасыщенных отложений (в том числе впервые на континентальном склоне моря Лаптевых и во впадине ТИНРО в северной части Охотского моря). Эти исследования сопровождались изучением распространения потенциальных зон стабильности с благоприятными термобарическими условиями для образования и сохранения газогидратов. При этом на основе данных более 622.5 тыс. океанологических станций зондирования построены картографические схемы распределения температур воды вблизи дна на акваториях Циркумарктического мегарегиона (рис. 3а) и выявлены области с зонами стабильности газогидратов от Северного полюса до широты 45° (рис. 3б) [22]. Картирование опасных газонасыщенных объектов на акваториях Северного Ледовитого, Атлантического и Тихого океанов было признано одним из важнейших достижений РАН за 2018 г.

При подготовке морских площадей для установки нефтегазодобывающих платформ и/или строительства искусственных островов в арктических и субарктических условиях в целях безопасности производственных работ необходима информация о физическом состоянии грунтов, особенно о нали-

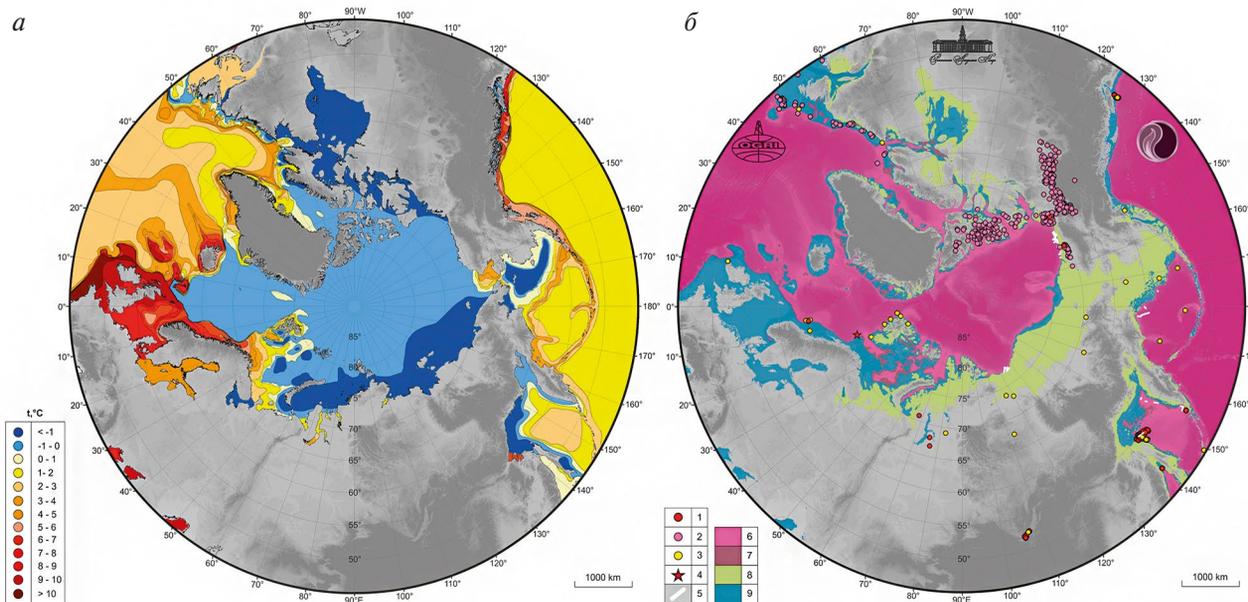


Рис. 3. Циркумарктический мегарегион: картографические схемы распределения температур воды вблизи дна (а) и прогноза зон распространения газогидратов (б) [22]

1 – газогидраты подтверждены образцами со дна и из скважин; 2 – высоковероятный прогноз присутствия газогидратов по каротажу скважин; 3 – BSR и другие косвенные признаки газогидратов; 4 – грязевой вулкан Наакон Mosby с газогидратами; 5 – зоны BSR в морях Лаптевых, Бофорта, Беринговом и Охотском; 6, 7, 8 – зоны благоприятных термобарических условий существования газогидратов вне (6 и 7) и внутри (8) границ существования потенциальных субаквальных многолетнемёрзлых пород; 9 – отсутствие условий для формирования и существования газогидратов на акваториях

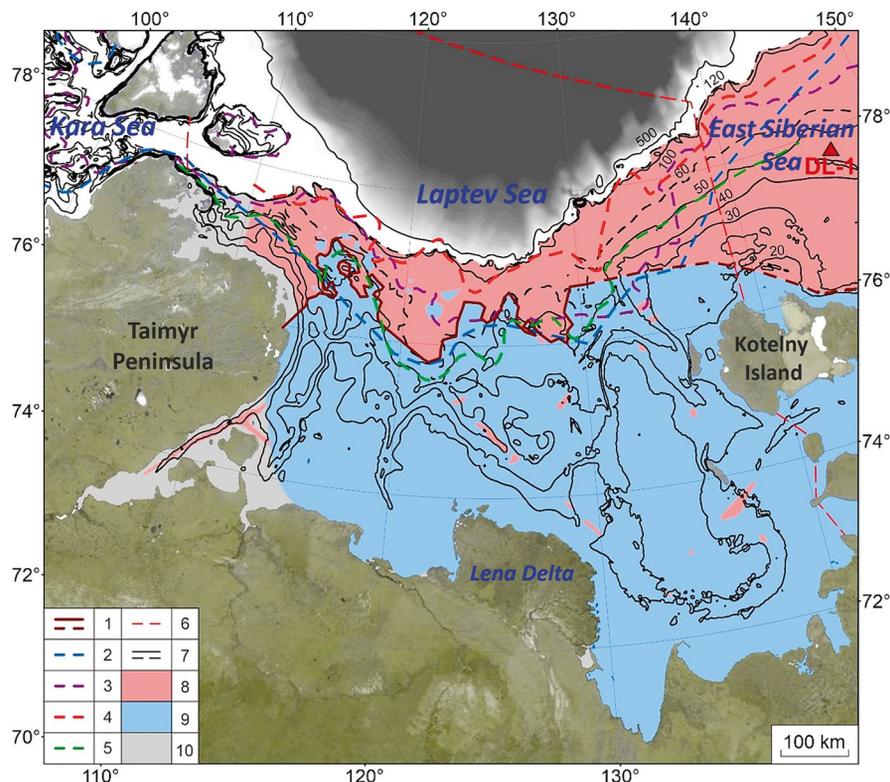


Рис. 4. Сопоставление зон распространения мёрзлых и талых пород на шельфе моря Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря

Границы мёрзлых и талых пород, выделенные по данным: 1 – авторов статьи; 2 – J. Brown, O. Ferrians et al [27]; 3 – M. Angelopoulos, P. Overduin et al [28]; 4 – Н.Н. Романовского и В.Е. Гумского [29]; 5 – Т.В. Матвеевой, В.Д. Каминского и др. [30]; 6 – граница моря Лаптевых; 7 – изобаты (м); 8 – зона прогнозируемого преимущественного отсутствия ММП (талые породы); 9 – зона прогнозируемого преимущественного существования ММП; 10 – “серая зона” (недостаток информации); DL-1 скважина 2022 г.

чий или отсутствию залежей газа в свободном и/или гидратном состоянии, а также субаквальных многолетнемёрзлых пород (ММП).

Обычно для получения информации о распространении ММП необходимо проводить специальные дорогостоящие геофизические исследования (сейсмоакустика, электроразведка) и/или бурение, результаты которых не всегда однозначны. Однако такая информация может быть получена и по имеющимся материалам сейсморазведки МОГТ с применением специальных технологий обработки и анализа. Полевые многоканальные сейсмограммы, регистрируемые при проведении 2D- и 3D-сейсморазведки МОГТ, обычно содержат записи преломлённых волн, регистрируемых в первых вступлениях. При традиционной обработке материалов МОГТ преломлённые волны оказываются помехами, автоматически срезаются мьютингом¹ и отбрасываются. Специфика распространения преломлённых волн в субгоризонтальном направ-

¹ Мьютинг – принудительное обнуление начальной части трасс удалённых сейсмоприемников при цифровой обработке сейсмограмм.

лении вдоль пластов делает их уникальным инструментом анализа физических характеристик отложений. При этом многолетнемёрзлые породы служат сильным преломляющим горизонтом с высокими скоростями распространения упругих колебаний (обычно до 4.0 км/с).

В 2021–2023 гг. впервые для моря Лаптевых проведены обработка и комплексный анализ большого объёма записей первых вступлений преломлённых волн сейсмограмм общего пункта возбуждения сейсмических волн по 114 сеймопрофилям МОГТ АО “МАГЭ” общей протяжённостью более 20 тыс. км [23–26]. Получена принципиально новая информация о состоянии субаквальной криолитозоны, при этом выявлена граница между преимущественным распространением мёрзлых (Южная зона) и талых (Северная зона) пород (рис. 4) [24–26].

Выполненное нами картирование границы распространения ММП кардинально отличается от всех других построений отечественных и зарубежных специалистов (см. рис. 4) [27–31]. При этом наши данные 2021–2022 гг. [23–25] позднее были подтверждены результатами скважины DL-1, про-

буренной ВСЕГЕИ и АО «Росгеология» при поддержке ПАО «НК «Роснефть»» [32].

В 2024 г. наши картографические схемы [23–26], включая приведенную на рис.4, были сопоставлены специалистами ПАО «НК «Роснефть» с неопубликованными данными бурения более 10 структурно-параметрических и мерзлотных скважин и получили полное подтверждение. При этом было официально признано, что «результаты исследований обладают высокой научно-практической ценностью».

В связи с получением новых знаний о распространении многолетнемерзлых пород на всём шельфе Восточной Сибири требуется пересмотр границ возможного существования криогенных газогидратов, что позволит значительно скорректировать оценки их ресурсов в меньшую сторону, а также оценку риска влияния диссоциации газогидратов на глобальные изменения климата [23–26].

Таким образом, специальные технологии обработки и интерпретации архивных материалов 2D-сейсморазведки МОГТ позволяют получать принципиально новую информацию о физическом состоянии верхней части разреза, включая наличие или отсутствие многолетнемерзлых пород и насыщения пород-коллекторов газом в свободном и/или гидратном состояниях. Это повышает достоверность структурных построений и точность прогнозирования нефтегазонасыщенности, снижает риски при бурении скважин и повышает эффективность и экологическую безопасность добычи нефти и газа.

Природная взрывная дегазация земли в Арктике. Дегазация Земли – широко распространённое естественное перманентное явление, влияющее на состав газа её атмосферы, что, в свою очередь, может приводить к изменениям климата. Процесс добычи углеводородов по физической сути следует отнести к контролируемой человеком техногенной форме дегазации недр. Однако при добыче и транспортировке углеводородов, а также из неработающих аварийных, ликвидированных и законсервированных скважин нередко происходят неконтролируемые утечки газа и жидких углеводородов, и они вносят существенный вклад в увеличение парникового эффекта, повышающего температуру нижней части атмосферы.

Влияние глобальных климатических изменений привело к ускоренным темпам потепления в Арктике, в результате чего активизируется деградация ММП, порождающая широкий спектр проблем, которые оказывают значительное влияние на жизнедеятельность человека. Среди этих проблем особо выделим ухудшение несущей способности грунтов и возможное усиление процессов дегазации Земли за счёт изменения условий стабильности газогидратов и уменьшения экранирующих свойств ММП на пути субвертикальной миграции газа. Это способствует активизации газодинамических процессов,

в том числе во взрывной форме, при мощных импульсных выбросах газа из ММП, в результате чего в Арктике образуются гигантские кратеры на суше, дне водоёмов и в прибрежных частях морей [7, 18, 33–43]. Кроме того, это приводит к увеличению эмиссии парниковых газов в атмосферу, что может активизировать дальнейшее потепление климата. В связи с изложенным подчеркнём, что наши исследования направлены на решение важнейшей проблемы снижения риска возникновения (предотвращения) возможных катастроф в Арктике прямо или косвенно связанных с природной и техногенной дегазацией Земли.

Проводимые нами исследования носят междисциплинарный характер и подразумевают сбор и комплексный анализ больших объёмов информации, на основе которого рождаются новые знания. Более 15 лет назад в ИПНГ РАН была создана геоинформационная система «Арктика и Мировой океан» (ГИС «АМО»), которая содержит более 20 баз данных о различных опасных природных и техногенных явлениях и процессах [7, 18, 33–43]. В значительной степени они основаны на использовании данных геофизических исследований, в первую очередь 2D-сейсморазведки, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса и с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Из данных ДЗЗ наиболее широко используются космоснимки среднего (например, Sentinel и Landsat) и высокого (Keyhole, WorldView, GeoEye, PlanetScope, Ресурс-П, Канопус-В) разрешений, а также цифровые модели рельефа местности ArcticDEM с разрешением 2 м.

В 2014 г. средства массовой информации взбудоражили мировое сообщество видео- и фотоизображениями двух гигантских кратеров в Российской Арктике, при этом циркулировали самые фантастические гипотезы их образования. В течение последующих 10 лет на севере Западной Сибири обнаружено и в разной степени изучено более 20 подобных кратеров газового выброса (рис. 5) [7, 18, 33–43]. Большинство из них расположены вблизи и/или даже непосредственно на территории уникального по запасам газа Бованенковского месторождения, а также вблизи магистрального газопровода «Бованенково–Ухта» и ямальской железной дороги «Обская–Карская» ПАО «Газпром». При взрывах разлёт крупных кусков породы достигал 300–900 м.

Во всех пяти случаях наблюдения выбросов газа (объекты С3, С11, С12, С21 и С23 в ГИС «АМО») очевидцами из коренного населения были зафиксированы его самовоспламенения, что повышает силу взрыва и его опасность для жизнедеятельности человека. При комплексных исследованиях различных событий природных и техногенных выбросов газа (включая извержения грязевых вулканов) впервые было обосновано, что одна из основных причин его самовоспламенений – электризация окружающего



Рис. 5. Гигантские полости в массивах подземного льда, обнажившиеся после выбросов/взрывов газа на севере Западной Сибири [34]

Объекты: 1 – С1, 2 – С12, 3 – С17 на полуострове Ямал, 4 – С3 на полуострове Гыданский

пространства и электростатические разряды, возникающие при фонтанировании струи газа с неоднородными частицами в воздушной среде [33–35].

Особо важная информация при мониторинге эволюции объектов выбросов газа была получена в результате построений цифровых 3D и 4D-моделей объектов по данным ДЗЗ из космоса и с применением БПЛА. Мониторинговые исследования ряда объектов (Антипаютинский С3, Сеяхинский С11, Открытие и др.) выявили продолжающиеся газогидродинамические процессы.

Применение широкого комплекса геолого-геофизических исследований, включая георадиолокацию, эхолокацию, сейсморазведку, геохимический анализ проб газа, анализ концентрации метана в атмосфере по данным спектрометра ТРОПОМІ [38, 39], аэрофотосъёмку с БПЛА и вертолётов, позволило получить необходимую информацию для детектирования генезиса опасных объектов взрывной дегазации [33–43].

Уникальная информация была получена в августе 2020 г. во время экспедиции “Ямал-2020” при изучении Бованенковского объекта С17 с применением БПЛА DJI Mavic Pro на двух уровнях полёта (в том числе внутри кратера на 15 м ниже поверхности земли) (рис. 5.3) [18, 40]. В результате фотограмметрической обработки аэрофотоснимков построена цифровая 3D-модель рельефа местности,

кратера и гигантской полости/пещеры (глубина дна до 35 м), сформировавшейся в массиве подземного льда [18, 40]. Характерный вид кратера и полости объекта С17, представленных на физической 3D-модели, изготовленной на 3D-принтере из пластика (рис. 6а), можно объяснить только эндогенным генезисом полости с подтоком газа по разлому субмеридиональной ориентации и/или по флюидопроницаемым пластам в толще ММП с криопэгмами. С помощью специальной обработки 3D-модели объекта С17 было сформировано его представление в виртуальном пространстве (рис. 6б), которое позволяет с применением специального оборудования погружаться в него для изучения любой части объекта [18]. Подобные результаты были получены в ходе экспедиции “Ямал-2024” и последующей обработки данных изучения нового Дуплетного объекта взрыва газа С22 в 2023 г., уникальность которого заключается в его непосредственной близости (около 200 м) от объекта С2, взорвавшегося в 2012 г. [43].

Одним из важнейших достижений РАН 2020 г. признано обоснование авторами статьи генезиса взрывной дегазации Земли в Арктике: “Впервые установлены закономерности формирования опасных газонасыщенных объектов в криолитосфере Земли: газодинамического роста многолетних бугров пучения, мощных выбросов, самовоспламе-



Рис. 6. Физическая 3D-модель (а) и изображение в виртуальной реальности со дна (б) подземной полости с кратером выброса газа Бованенковского объекта С17

нений и взрывов газа с образованием гигантских кратеров” [44, с. 348, 349]. Наши исследования позволили обосновать, что до взрывов в ММП существовали наполненные газом со сверхвысоким (сверхлитостатическим) давлением огромные термокарстовые полости в массивах подземного льда (см. рис. 5, 6), возникшие в местах его плавления снизу под локальным действием теплового потока и/или термосуффозии [33, 34]. При этом на поверхности земли под газодинамическим воздействием формировались многолетние бугры пучения, которые взрывались при преодолении давлением газа упруго-прочностных свойств мёрзлых грунтов.

Более полувека на акваториях многих морей мира изучаются интенсивные проявления дегазации Земли в виде кратеров выбросов газа на дне, также называемых покмарками (rockmarks), и сипов газа (gas seeps), формирующих на эхограммах изображения, названные факелами газа (gas flares) [7]. Данные ДЗЗ из космоса и с применением БПЛА позволяют успешно решать широкий круг задач, связанных с изучением процессов дегазации Земли с мелководного дна арктических термокарстовых озёр, рек и морей [7, 18, 33–43].

В 2014–2024 гг. впервые в результате комплексных аэрокосмических исследований на полуострове Ямал на дне 3551 термокарстового озера и 16 рек обнаружены 4992 зоны мощных выбросов (взрывов) газа в виде кратеров (покмарок) [39–42]. Кроме того, в прибрежных зонах Карского моря выявлено ещё 669 зон взрывной дегазации, преимущественно в губах, заливах, лиманах и бухтах (рис. 7а). С учётом полуострова Югорский и острова Белый всего в регионе исследований найдено 6022 зоны взрывной дегазации. Таким образом, был получен результат, также признанный важнейшим достижением РАН 2020 г.: “Построена не имеющая аналогов картографическая схема распространения зон мощной дегазации со дна термокарстовых озёр, рек и заливов полуострова Ямал, базирующаяся на комплексном анализе данных космосъёмки высокого разрешения и экспедиционных исследований” [44, с. 348].

В ходе исследований плотности распространения зон дегазации в расчёте на 25 км² (рис. 7б) сделан вывод, что Нейтинско-Сеяхинский и Сабеттинский районы имеют экстремально высокие показатели (соответственно, 19–36 и 20–22), в связи с чем они признаны наиболее газозрывоопасными. Обосно-

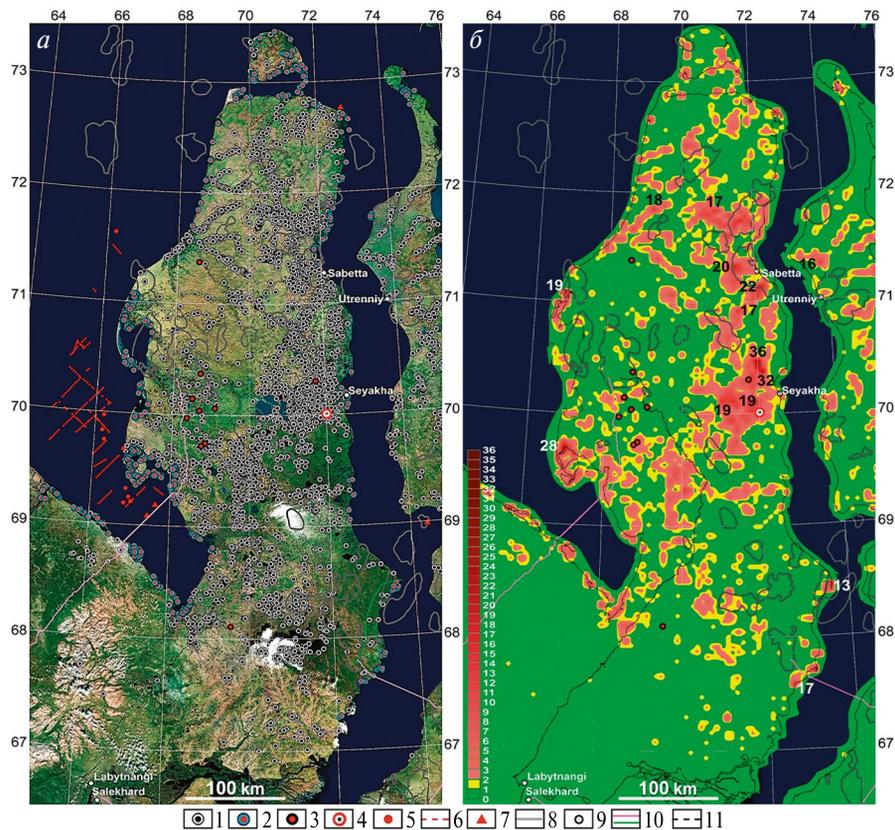


Рис. 7. Схемы распространения зон дегазации Земли с кратерами выбросов газа в Ямальском регионе (а) и плотности распространения зон дегазации (б) (картографическая основа – космоснимок ESRI) [41]

1, 2 – зоны с кратерами на дне термокарстовых озёр, рек (1) и Карского моря (2); 3 – кратеры выбросов газа на суше; 4 – озеро Открытие [36, 37]; 5, 6 – силы газа на шельфе – одиночные интенсивные (5) и менее интенсивные вдоль профилей эхолокации (6) [41]; 7 – выбросы газа при бурении инженерных скважин на шельфе [41]; 8 – месторождения углеводородов; 9 – газопроводы (выделены розовым цветом) и нефтепроводы (зелёный цвет); 10 – города и посёлки; 11 – железная дорога

вано, что возможная интенсивная природная дегазация Земли, особенно происходящая в процессе деградации субаквальных ММП и диссоциации газогидратов, способна кардинально изменить упруго-прочностные свойства придонного грунта, при этом его насыщение газом может нарушить условия строительства различных объектов, включая подводные газопроводы, на которых уже происходили аварийные всплытия [41].

В 2019 г. в итоге специальных исследований ряда термокарстовых озёр в Сеяхинском районе Ямала впервые доказана большая мощность выбросов/взрывов газа со дна глубоких арктических термокарстовых озёр, способных разбить лёд толщиной до 1.5 м, сформировать крупные зоны его деструкции диаметром в десятки метров (по факту до 15–45 м) и разбросать крупные глыбы льда на удалении свыше 50 м от эпицентра взрыва [37]. Экспедиционные исследования “Ямал-2019” с применением разнообразного геофизического инструментария на термокарстовом озере Открытие с кра-

тером выброса газа подтвердили первоначальные выводы. При этом на основе технологии пассивного микросейсмического мониторинга (4D-сейсморастворка) в районе озера Открытие выявлена активная ярко выраженная субвертикальная газогидродинамическая зона [37]. По закономерностям распределения микросейсмических событий обоснована миграция пластовых флюидов (в первую очередь газа) из верхнемеловых водогазонасыщенных отложений сеномана (глубина около 1120 м) с мощными грязевулканическими извержениями со дна озера, в результате которых сформировались четыре гигантских кратера диаметром до 30–40 м.

В 2023 г. впервые на дне арктических термокарстовых озёр Лабварто и Ямбуто по данным ДЗЗ высокого разрешения были обнаружены крупные обособленные поднятия, идентифицированные нами как грязевулканические постройки с явно выраженными кратерами (рис. 8) [18, 35]. На основе мониторинга обстановки по ретроспективным космоснимкам на ямальских озёрах Открытие,

Лабварто и Ямбуто доказано наличие периодических выбросов пластовых флюидов. Во время экспедиции “Ямал-2023” на вершине центральной грязевулканической постройки в озере Лабварто (рис. 8б) была собрана жидкая грязевая брекчия, включающая извергнутые крупные угловатые и округлые образцы мелкодисперсных песчаноглинистых отложений (рис. 8в).

Грязевулканические открытия на полуострове Ямал, дополненные комплексными аналитическими исследованиями различных регионов суши и шельфа Арктики, позволили нам обосновать широкое распространение грязевого вулканизма в Циркумарктическом мегарегионе [35]. В июне 2024 г. завершилась экспедиция Арктического университета Норвегии EXTREME24 в западной части Баренцева моря, в ходе которой было открыто 10 новых грязевых вулканов, подтверждающих ранее сделанный нами вывод.

Не вызывает сомнений, что в ближайшие годы в Арктике нас ждут новые открытия грязевых вулканов и других важных объектов интенсивной дегазации Земли. Мы обосновали, что космические технологии будут предоставлять принципиально новые возможности в решении геологических, геофизических, геохимических, экологических и других задач.

Катастрофическая техногенная дегазация в Арктике. Открытия месторождений углеводородов в XIX и XX вв. часто сопровождалось неконтролируемыми аварийными фонтанами углеводородных смесей, нередко с катастрофическими последствиями. Не вызывает сомнений важность исследования причин возникновения подобных чрезвычайных ситуаций, несущих прямые угрозы национальной безопасности страны, с целью предупреждения их повторения.

Основная причина утечек газа в районах устьев скважин заключается в его просачивании по законным и межколонным каналам (пустоты, макро- и микротрещины), возникающем в результате широко распространённого некачественного цементирования обсадных колонн при строительстве скважин, особенно в Арктике. По данным ООО “Газпром ВНИИГАЗ”, “по самым скромным статистическим оценкам цементный камень разрушен или полностью отсутствует в половине добывающих скважин, эксплуатирующих сеноманские залежи. Оценки сделаны <...> после завершения бурения. Несомненно, к настоящему времени процент скважин с разрушенным цементным камнем гораздо выше” [45]. Это фактически подтверждают данные ООО “Газпром газобезопасность” на основе мониторинговых “обследований 47 устьев морских скважин, включая 27 законсервированных, 15 ликвидированных, а также 5 эксплуатационных скважин в акваториях Баренцева, Карского и Охотского морей, а также Обско-Тазовской губы <...> выявлено 22 устья с источниками барботации газа слабой и средней интенсивности” (46.8%), продолжающейся длительное время [46].

По нашим данным, самая крупная катастрофа в Арктике произошла в ноябре 1980 г. в Ненецком автономном округе в районе устья реки Печора в северной части Кумжинского газоконденсатного месторождения [47]. Здесь 25 мая 1981 г. для ликвидации неконтролируемого мощного фонтана смеси газообразных и жидких углеводородов в специально пробуренной скважине был применён подземный ядерный взрыв “Пирит” мощностью 37.6 килотонны (суммарная мощность взрывов в Хиросиме и Нагасаки), который лишь ухудшил ситуацию. Из-за образовавшейся в верхней части разреза природно-техногенной залежи площадью около 30 км²

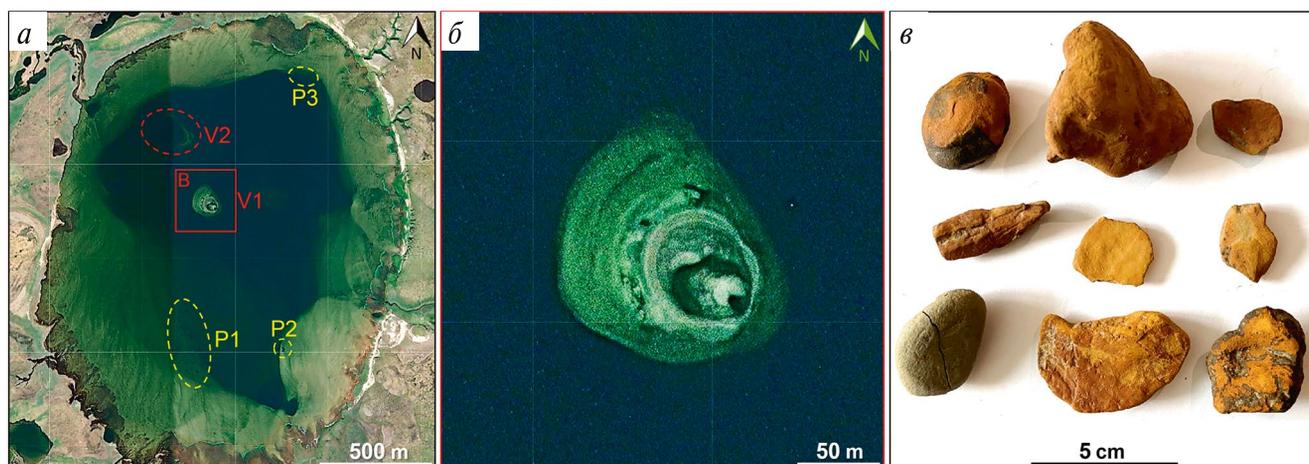


Рис. 8. Космоснимок WorldView-2 термокарстового озера Лабварто (а), его увеличенный фрагмент (б), собранные образцы грязевых брекчий (в)
P1, P2 и P3 – пометки; V1 и V2 – грязевые вулканы

(зафиксированы выходы газа в радиусе до 3 км) газ вырывался в атмосферу в ряде мест, в том числе вблизи скважин № 9, 5, 10 и 134. В итоге в районе аварийной площади размером 260×600 м около разрушенных устьев этих скважин образовались три гигантских кратера диаметром от 70 до 130 м, затопленные речной водой (рис. 9а). Побережья протоки Малый Гусинец реки Печора и Печорского моря были загрязнены жидкими углеводородами, при этом сильно пострадала ихтиофауна.

Тяжёлая борьба с катастрофическим фонтанированием на Кумжинском месторождении продолжалась 6.5 лет (2362 суток), фонтан был погашен лишь 18 мая 1987 г. [47]. Однако наши исследования на основе данных ДЗЗ из космоса показали, что эмиссия газа и жидких углеводородов продолжается до настоящего времени. Ежегодно в весенние месяцы это наглядно видно на космоснимках высокого и среднего разрешений, включая WorldView-2 и Sentinel-2, в виде полыней – пробоин во льду и его загрязнений жидкими углеводородами (рис. 9б).

Подобная ситуация наблюдается на ряде других месторождений, на которых во времена СССР происходили катастрофические выбросы газа и нефти. На полуострове Ямал самой долговременной стала ликвидация фонтанирования газа в объёме до 7 млн м³/сут на скважине Бованенковская-118, на которой 21 июня 1984 г. произошёл катастрофический выброс и воспламенение газа. В результате сформировался гигантский кратер (диаметр около 250 м), в котором утонуло всё буровое оборудование. Кроме того, газ выходил по заколонному пространству в виде грифонов и на удаленностях от устья скважины не менее 1.5 км. В дальнейшем газ стал выхо-

дить на поверхность с образованием грифонов на дне соседних озёр, рек, водотоков и заболоченных участков на удаленностях в радиусе как минимум 1.5 км (вероятно, даже до 5–7 км). При этом в разных грифонах газ неоднократно самовоспламенялся, что подтверждено космоснимками Landsat. Борьба с фонтанированием продолжалась более четырёх лет (1517 суток) до ликвидации 15 августа 1988 г. Однако проводимый нами мониторинг ситуации по данным ДЗЗ во время таяния льда однозначно свидетельствует о непрерывно продолжающейся эмиссии газа, создающей проталины во льду (рис. 10а), что подтверждено в ходе экспедиции “Ямал-2021”. На космоснимках также видно значительное поражение тундровой растительности, не восстановившейся даже спустя 36 лет (см. рис. 10).

* * *

Тематика проводимых нами исследований ориентирована на реализацию “Стратегии национальной безопасности Российской Федерации”, в которой к стратегическим национальным приоритетам при обеспечении и защите национальных интересов России отнесены: “Охрана окружающей среды, сохранение природных ресурсов и рациональное природопользование, адаптация к изменениям климата” [48, п. 25.6].

Приведённые в статье результаты исследований – это приоритетное направление научно-технологического развития – “сохранение и рациональное использование природных ресурсов”, которое входит в перечень критических технологий “мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды... предупреждения и снижения рисков

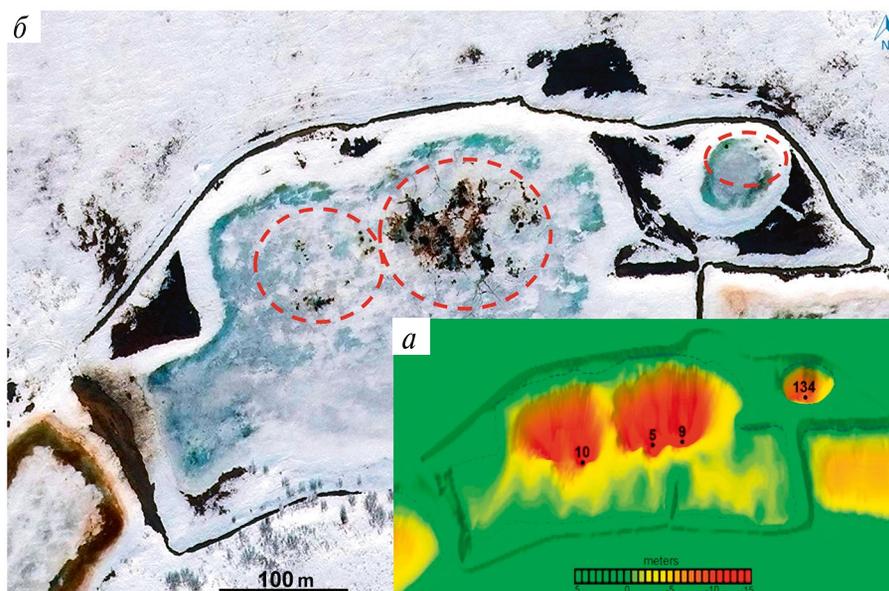


Рис. 9. Катастрофа на Кумжинском месторождении: 3D-модель рельефа местности и дна техногенного водоёма с кратерами (а) и космоснимок WorldView-2 2 мая 2016 г. с полынями – пробоинами во льду (б)



Рис. 10. Космоснимки WorldView-2 14 июня (а) и 21 июля (б) 2014 г. техногенного кратера вокруг устья скважины Бованенковская-118

чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера” [13, п. 7, 19, 20]. Исследования носят междисциплинарный характер (привлекаются знания геологии, геофизики, геохимии, геокриологии, геоморфологии, гляциологии, гидрогеологии, геоэкологии, вулканологии, сейсмологии, спелеологии и других наук).

Среди основных научных результатов выделим следующие.

1. В результате широкого комплекса исследований Циркумарктического мегарегиона получены принципиально новые знания о перспективах нефтегазоносности осадочного чехла и разновозрастного гетерогенного фундамента, а также насыщенности газом в свободном и гидратном состояниях верхней части осадочных отложений.

2. Впервые по данным сейсморазведки методом преломлённых волн выполнено картирование распространения мёрзлых и талых пород на шельфе морей Восточной Сибири, подтверждённое бурением и кардинально отличающееся от всех построений других исследователей.

3. Разработан комплекс новых технологий, включая 4D-сейсморазведку в условиях близких к реальному времени, повышающих эффективность и экологическую безопасность освоения месторождений нефти и газа на суше и акваториях Арктики.

4. На основе междисциплинарных исследований и широкого комплекса экспедиционных работ дано принципиально новое обоснование генезиса образования гигантских кратеров в Арктике, подразумевающее формирование под действием эндогенных процессов газонасыщенных полостей в массивах подземного льда. При этом под газодинамическим воздействием аномально высоких и сверхлитостатических давлений формируются бугры пучения, которые разрушаются мощными импульсными выбросами газа, усиливающимися его самовоспламенениями и взрывами.

5. В 2014–2024 гг. впервые по данным ДЗЗ из космоса на дне мелководных водоёмов полуострова Ямал и прибрежных частей Карского моря выявлено 6022 зоны интенсивной (взрывной) дегазации с формированием кратеров (покмарок) и обоснована способность подводных импульсных выбросов-взрывов разрушать ледовое покрытие толщиной до 1.5 м.

6. В 2023 г. впервые по данным ДЗЗ из космоса на дне арктических термокарстовых озёр обнаружены крупные грязевулканические постройки с явно выраженными кратерами, при этом сделан вывод о широком распространении грязевого вулканизма в Циркумарктическом мегарегионе, подтверждённый новыми открытиями 2024 г.

7. Исследованы причины и последствия многолетних катастрофических техногенных выбросов и самовоспламенений газа при бурении поисково-разведочных скважин в Арктике на ряде месторождений, включая Кумжинское и Бованенковское.

Результаты исследований способствуют повышению безопасности функционирования объектов нефтегазового комплекса, а также судоходства в Арктике благодаря снижению рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с взрывными выбросами газа из криолитозоны. Обосновано, что космические технологии будут предоставлять принципиально новые возможности в решении геологических, геофизических, геохимических, экологических и других задач.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках госзадания ИПНГ РАН по теме “Повышение эффективности и экологической безопасности освоения нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли в условиях меняющегося климата” (№ 122022800264-9).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность за долговременную поддержку проводимых экспедиционных работ на полуострове Ямал и научное сотрудничество РАН, РФФИ, правительству Ямало-Ненецкого автономного округа, ПАО “Газпром”, включая ООО “Газпром добыча Надым”, ООО “Газпром добыча Ямбург” и АО “Газпром ВНИИГАЗ”, ПАО “НОВАТЭК”, ООО “Ямал СПГ”, НП “Российский центр освоения Арктики”, ГК “Роскосмос”, АО “МАГЭ”, СП “Вьетсовпетро”, АО “АКИН”, ГЕОХИ РАН, ООО “НПЦ Геотех”.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гамбурцев Г.А.* Глубинное сейсмическое зондирование земной коры // Докл. АН СССР. Новая сер. XXXVII. 1952. № 6. С. 943–946.
Gamburtsev G.A. Deep seismic sounding of the Earth's crust // Dokl. USSR Academy of Sciences. New ser. XXXVII. 1952, no. 6, pp. 943–946. (In Russ.)
2. *Mayne W.H.* Common reflection point horizontal data stacking techniques // Geophysics. 1962, vol. 27, iss. 6, pp. 927–938. <https://doi.org/10.1190/1.1439118>
3. *Богоявленский В.И., Полякова И.Д.* Перспективы открытия крупных месторождений нефти и газа в Южно-Карском регионе // Бурение и нефть, 2011. № 1. С. 8–11.
Bogoyavlensky V.I., Polyakova I.D. Prospects for the discovery of large oil and gas fields in the South Kara region // Drilling and oil. 2011, no. 1, pp. 8–11. (In Russ.)
4. *Богоявленский В.И., Полякова И.Д., Будагова Т.А., Богоявленский И.В.* Геолого-геофизическая изученность и нефтегазоносность акваторий циркумарктического сегмента Земли // Геология нефти и газа. 2011. № 6. С. 45–58.
Bogoyavlensky V.I., Polyakova I.D., Budagova T.A., Bogoyavlensky I.V. Geological and geophysical knowledge and oil and gas potential of the water areas of the circum-Arctic segment of the Earth // Geology of Oil and Gas. 2011, no. 6, pp. 45–58. (In Russ.)
5. *Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Богоявленская О.В., Никонов Р.А.* Перспективы нефтегазоносности седиментационных бассейнов и фундамента Циркумарктического региона // Геология нефти и газа. 2017, № 5. С. 5–20.
Bogoyavlensky V.I., Bogoyavlensky I.V., Bogoyavlenskaya O.V., Nikonov R.A. Prospects for oil and gas content of sedimentary basins and the basement of the Circumarctic region // Geology of Oil and Gas. 2017, no. 5, pp. 5–20. (In Russ.)
6. *Богоявленский В.И., Лавёров Н.П.* Стратегия освоения морских месторождений нефти и газа Арктики // Морской сборник. 2012. № 6. С. 50–58.
Bogoyavlensky V.I., Laverov N.P. Strategy for the development of offshore oil and gas fields in the Arctic // Marine collection. 2012, no. 6, pp. 50–58. (In Russ.)
7. *Богоявленский В.И.* Арктика и Мировой океан: современное состояние, перспективы и проблемы освоения ресурсов углеводородов // Труды Вольного экономического общества России. 2014. Т. 182. № 3. С. 12–175.
Bogoyavlensky V.I. The Arctic and the World Ocean: current state, prospects and problems of developing hydrocarbon resources // Proceedings of the Free Economic Society of Russia. 2014, vol. 182, no. 3, pp. 12–175. (In Russ.)
8. *Богоявленский В.И., Урунов А.К., Будагова Т.А., Добрынин С.В.* Анизотропные свойства осадочного чехла континентального шельфа // Газовая промышленность. 1997. № 7. С. 16–18.
Bogoyavlensky V.I., Urupov A.K., Budagova T.A., Dobrynin S.V. Anisotropic properties of the sedimentary cover of the continental shelf // Gas Industry. 1997, no. 7, pp. 16–18. (In Russ.)
9. Морская доктрина Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 31 июля 2022 г. № 512. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/48215/>
Maritime doctrine of the Russian Federation. Approved by Decree of the President of the Russian Federation dated July 31, 2022. No. 512. (In Russ.)
10. *Казанин Г.С., Казанин А.Г., Базилевич С.О.* Основные результаты геофизического изучения акваторий Арктики ОАО “МАГЭ”, проблемы разработки и применения отечественных геофизических комплексов морской сейсморазведки // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3 (39). С. 99–111.
Kazanin G.S., Kazanin A.G., Bazilevich S.O. Main results of geophysical studies of the Arctic offshore areas at JSC “MAGE”, development and implementation problems of domestic geophysical equipment for marine seismic survey. Arctic: Ecology and Economy. 2020, no. 3 (39), pp. 99–111. (In Russ.)
11. *Lando M., Solheim O.A., Hilde E. et al.* The Gullfaks 4D seismic study // Petroleum Geosciences. vol. 5, p. 213–226. <https://doi.org/10.1144/petgeo.5.3.213>
12. *Арабский А.К., Башкин В.Н., Богоявленский В.И. и др.* ООО “Газпром добыча Ямбург”: 40 лет инновационного развития. Коллективная монография. М.: Изд. дом “Недра”, 2024.
Arabsky A.K., Bashkin V.N., Bogoyavlensky V.I. et al. Gazprom Dobycha Yamburg LLC: 40 years of innovative development. Collective monograph. M.: Publishing House “Nedra”, 2024. (In Russ.)
13. Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоёмких технологий. Указ Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529. <http://kremlin.ru/acts/news/74328/>
On approval of priority areas of scientific and technological development and the list of the most important science-intensive technologies. Decree of

- the President of the Russian Federation of June 18, 2024. No. 529. (In Russ.).
14. Price L.C., Clayton J.L., Rumen L.L. Organic geochemistry of the 9.6 km Bertha Rogers-1 Well, Oklahkoma // *Journal of Organic Geochemistry*. 1981, vol. 3, pp. 59–77.
 15. Price L.C. The organic geochemistry (and causes thereof) of high rank rocks from the Ralph Lowe-1 and other well bores. US Geology Survey, Open-file Report 88–651, 1991.
 16. Трофимук А.А. Вклад учёных Сибирского отделения АН СССР (СО РАН) в становление и развитие Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Повышение эффективности освоения газовых месторождений Крайнего Севера. М.: Наука, 1997. С. 25–34.
Trofimuk A.A. The contribution of scientists of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences (SB RAS) to the formation and development of the West Siberian oil and gas province // Increasing the efficiency of development of gas fields of the Far North. M.: Nauka, 1997, pp. 25–34. (In Russ.)
 17. Хант Дж.М. Геохимия и геология нефти и газа. М.: Мир, 1982.
Hunt J.M. Petroleum Geochemistry and Geology. Oxford: W.H. Freeman, 1979.
 18. Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Кушанков А.В. и др. Повышение эффективности и экологической безопасности освоения нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли в условиях меняющегося климата // Актуальные проблемы нефти и газа. 2023. № 3 (42). С. 235–263. DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2023-42.art15
Bogoyavlensky V.I., Bogoyavlensky I.V., Kishankov A.V. et al. Increasing the efficiency and environmental safety of the development of oil and gas resources in the Arctic and Subarctic zones of the Earth in a changing climate // Actual Problems of Oil and Gas. 2023, iss. 3 (42), pp. 235–263. (In Russ.)
 19. Богоявленский В.И., Дзюбло А.Д., Иванов А.Н. и др. Нефтегазоносность кристаллического фундамента шельфа Вьетнама: Белый Тигр и Дракон // Геология нефти и газа. 2016. № 5. С. 102–116.
Bogoyavlensky V.I., Dzyublo A.D., Ivanov A.N. et al. Oil and gas potential of the crystalline basement of the Vietnam shelf: White Tiger and Dragon // *Geology of oil and gas*. 2016, no. 5, pp. 102–116. (In Russ.)
 20. Богоявленский В.И., Керимов В.Ю., Ольховская О.О. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Охотское море // Нефтяное хозяйство. 2016. № 6. С. 43–47.
Bogoyavlensky V.I., Kerimov V.Yu., Olkhovskaya O.O. Dangerous gas-saturated objects in the waters of the World Ocean: Sea of Okhotsk // *Oil industry*. 2016, no. 6, pp. 43–47. (In Russ.)
 21. Богоявленский В.И., Казанин А.Г., Кушанков А.В., Казанин Г.А. Дегазация Земли в Арктике: комплексный анализ факторов мощной эмиссии газа в море Лаптевых // Арктика: экология и экономика. 2021. Т. 11. № 2. С. 178–194.
Bogoyavlensky V.I., Kazanin A.G., Kishankov A.V., Kazanin G.A. Degassing of the Earth in the Arctic: a comprehensive analysis of the factors of powerful gas emissions into the Laptev Sea // *Arctic: ecology and economy*. 2021, vol. 11, no. 2, pp. 178–194. (In Russ.)
 22. Bogoyavlensky V., Kishankov A., Yanchevskaya A., Bogoyavlensky I. Forecast of Gas Hydrates Distribution Zones in the Arctic Ocean and Adjacent Offshore Areas // *Geosciences*. 2018, vol. 8, 453. DOI:10.3390/geosciences8120453
 23. Богоявленский В.И., Кушанков А.В., Казанин А.Г. Мерзлота, газогидраты и сипы газа в центральной части моря Лаптевых // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 500. № 1. С. 70–76. <https://doi.org/10.31857/S2686739721090048>
Bogoyavlensky V.I., Kishankov A.V., Kazanin A.G. Permafrost, Gas Hydrates, and Gas Seeps in the Central Part of the Laptev Sea // *Doklady Earth Sciences*. 2021, vol. 500, part 1, pp. 766–771. DOI: 10.1134/S1028334X2109004X
 24. Богоявленский В.И., Кушанков А.В., Казанин А.Г. Мерзлота и газогидраты на Арктическом шельфе Восточной Сибири // Доклады РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 1. С. 110–117. DOI: 10.31857/S268673972260134X
Bogoyavlensky V., Kishankov A., Kazanin A. Permafrost and Gas Hydrates on the East Siberian Arctic Shelf // *Doklady Earth Sciences*. 2022, vol. 507, part 1, pp. 946–951. DOI: 10.1134/S1028334X22600578
 25. Bogoyavlensky V., Kishankov A., Kazanin A. Evidence of wide-scale absence of frozen ground and gas hydrates in the northern part of the East Siberian Arctic Shelf (Laptev and East Siberian seas) // *Marine and Petroleum Geology*. 2023, vol. 148, 106050. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.106050>
 26. Богоявленский В.И., Кушанков А.В., Казанин А.Г. Распространение субаквальной мерзлоты в море Лаптевых по данным сейсморазведки методом преломленных волн // Арктика: экология и экономика. 2023. Т. 13. № 4. С. 378–392. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-4-378-392
Bogoyavlensky V.I., Kishankov A.V., Kazanin A.G. Distribution of subaqueous permafrost in the Laptev Sea according to seismic data using the refracted wave method // *Arctic: ecology and economy*. 2023, vol. 13, no. 4, pp. 378–392. (In Russ.)
 27. Brown J., Ferrians O.J.J., Heginbottom J.A., Melnikov E.S. Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions. Washington, D.C., U.S. Geological Survey in Cooperation with the Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 2001. <https://doi.org/10.3133/cp45>

28. *Angelopoulos M., Overduin P.P., Miesner F. et al.* Recent advances in the study of Arctic submarine permafrost // *Permafrost and Periglacial Process*, John Wiley & Sons Ltd. 2020, vol. 31, pp. 442–453. <https://doi.org/10.1002/ppp.2061>
29. *Romanovskii N.N., Tumskoi V.E.* Retrospective approach to the estimation of the contemporary extension and structure of the shelf cryolithozone in East Arctic // *The Cryosphere of the Earth*. 2011, vol. 15 (1), pp. 3–14.
30. *Matveeva T.V., Kaminsky V.D., Semenova A.A., Shchur N.A.* Factors Affecting the Formation and Evolution of Permafrost and Stability Zone of Gas Hydrates: Case Study of the Laptev Sea // *Geosciences*. 2020, vol. 10, 504. DOI: 10.3390/geosciences10120504
31. *Bukhanov D., Chuvilin E., Zhmaev M. et al.* In Situ Bottom Sediment Temperatures in the Siberian Arctic Seas: Current State of Subsea Permafrost in the Kara Sea vs Laptev And East. Siberian Seas // *Marine and Petroleum Geology*. 2023, vol. 1 (157), 106467. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2023.106467
32. *Петров О.В., Никушин А.М., Петров Е.И. и др.* Результаты стратиграфического бурения в Восточно-Сибирском море с целью геологического изучения зоны сочленения структур континентального шельфа и глубоководных акваторий Северного Ледовитого океана // *Доклады РАН*. 2023. Т. 512 (2). С. 100–110. DOI: 10.31857/S268673972360100X
Petrov O.V., Nikishin A.M., Petrov E.I. et al. Results of stratigraphic drilling in the East Siberian Sea for the purpose of geological study of the junction zone of the continental shelf structures and deep waters of the Arctic Ocean // *Doklady Earth Sciences*. 2023, vol. 512 (2), pp. 1014–1023. DOI: 10.1134/S1028334X23601256
33. *Богоявленский В.И.* Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений горючих ископаемых в криолитосфере Земли // *Горная промышленность*. 2020. № 1. С. 97–118. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-97-118
Bogoyavlensky V.I. Natural and technogenic threats in fossil fuels production in the Earth cryolithosphere // *Russ. Min. Ind.* 2020, no. 1, pp. 97–118. (In Russ.)
34. *Богоявленский В.И.* Фундаментальные аспекты генезиса катастрофических выбросов газа и образования гигантских кратеров в Арктике // *Арктика: экология и экономика*. 2021. Т. 11. № 1. С. 51–66. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-51-66
Bogoyavlensky V.I. Fundamental aspects of the catastrophic gas blowout genesis and the formation of giant craters in the Arctic. *Arctic: Ecology and Economy*. 2021, vol. 11, no. 1, pp. 51–66. (In Russ.)
35. *Богоявленский В.И.* Новые данные о грязевом вулканизме в Арктике на полуострове Ямал // *Доклады РАН*. 2023. Т. 512. № 1. С. 92–99. DOI: 10.31857/S2686739723601084
Bogoyavlensky V.I. New Data on Mud Volcanism in the Arctic on the Yamal Peninsula // *Doklady Earth Sciences*. 2023, vol. 512 (1), pp. 847–853. DOI: 10.1134/S1028334X23601116
36. *Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Каргина Т.Н., Никонов Р.А.* Цифровые технологии дистанционного выявления и мониторинга развития бугров пучения и кратеров катастрофических выбросов газа в Арктике // *Арктика: экология и экономика*. 2020. № 4 (40). С. 90–105.
Bogoyavlensky V.I., Bogoyavlensky I.V., Kargina T.N., Nikonov R.A. Digital technologies for remote monitoring and the development of heaving mounds and reduction of catastrophic global gases in the Arctic // *Arctic: ecology and economy*. 2020, no. 4 (40), pp. 90–105.
37. *Богоявленский В.И., Ерохин Г.Н., Никонов Р.А. и др.* Изучение зон катастрофических выбросов газа в Арктике на основе пассивного микросейсмического мониторинга (на примере озера Открытие) // *Арктика: экология и экономика*. 2020. № 1 (37). С. 93–104. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-93-104
Bogoyavlensky V.I., Erokhin G.N., Nikonov R.A. et al. Study of catastrophic gas blowout zones in the Arctic based on passive microseismic monitoring (on the example of Lake Otkrytiye) // *Arctic: Ecology and Economy*. 2020, no. 1 (37), pp. 93–104. (In Russ.)
38. *Богоявленский В.И., Сизов О.С., Никонов Р.А. и др.* Дегазация Земли в Арктике: генезис природной и антропогенной эмиссии метана // *Арктика: экология и экономика*. 2020. № 3 (39). С. 6–22.
Bogoyavlensky V.I., Sizov O.S., Nikonov R.A. et al. Earth degassing in the Arctic: the genesis of natural and anthropogenic methane emissions // *Arctic: Ecology and Economy*. 2020, no. 3 (39), pp. 6–22. (In Russ.)
39. *Богоявленский В.И., Сизов О.С., Никонов Р.А., Богоявленский И.В.* Мониторинг изменений концентрации метана в атмосфере Арктики в 2019–2021 годах по данным спектрометра TROPOMI // *Арктика: экология и экономика*. 2022. Т. 12. № 3. С. 304–319.
Bogoyavlensky V.I., Sizov O.S., Nikonov R.A., Bogoyavlensky I.V. Monitoring of the methane concentration changes in the Arctic atmosphere in 2019–2021 according to the TROPOMI spectrometer data // *Arctic: Ecology and Economy*. 2022, vol. 12, no. 3, pp. 304–319. (In Russ.)
40. *Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Каргина Т.Н.* Катастрофический выброс газа в 2020 г. на полуострове Ямал в Арктике. Результаты комплексного анализа данных аэрокосмического зондирования // *Арктика: экология и экономика*. 2021. Т. 11. № 3. С. 362–374.
Bogoyavlensky V.I., Bogoyavlensky I.V., Kargina T.N. Catastrophic gas blowout in 2020 on the Yamal Peninsula in the Arctic. Results of comprehensive

- analysis of aerospace RS data // *Arctic: Ecology and Economy*. 2021, vol. 11, no. 3, pp. 362–374. (In Russ.)
41. *Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Никонов Р.А.* Взрывная дегазация Земли на полуострове Ямал и прилегающей акватории Карского моря // *Арктика: экология и экономика*. 2024. Т. 14. № 2. С. 177–191. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-2-177-191
Bogoyavlensky V.I., Bogoyavlensky I.V., Nikonov R.A. Explosive degassing of the Earth on the Yamal Peninsula and the adjacent Kara Sea // *Arctic: Ecology and Economy*. 2024, vol. 14, no. 2, pp. 177–191. (In Russ.)
42. *Bogoyavlensky V., Bogoyavlensky I., Nikonov R. et al.* Seyakha catastrophic gas blowout and explosion from the cryosphere of the Arctic Yamal Peninsula // *Cold Regions Science and Technology*. 2022, vol. 196, 103507. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2022.103507>
43. *Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Никонов Р.А.* Мониторинг развития Дуплетного объекта взрыва газа С22 на полуострове Ямал по данным дистанционного зондирования Земли // *Арктика: экология и экономика*. 2024. Т. 14. № 3. С. 318–331.
Bogoyavlensky V.I., Bogoyavlensky I.V., Nikonov R.A. Development monitoring of the C22 gas blowout Doublet object on Yamal peninsula using remote sensing data // *Arctic: Ecology and Economy*. 2024, vol. 14, no. 3, pp. 318–331. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-318-331. (In Russ.)
44. Материалы общего собрания членов Российской академии наук 20 апреля 2021 года. М. 2021.
Materials of the general meeting of members of the Russian Academy of Sciences on April 20, 2021. М. 2021.
45. *Самсонов Р.О., Казак А.С., Башкин В.Н., Лесных В.В.* Системный анализ геоэкологических рисков в газовой промышленности. М.: Научный мир, 2007.
Samsonov R.O., Kazak A.S., Bashkin V.N., Lesnykh V.V. System analysis of geo-ecological risks in the gas industry. М.: Scientific world, 2007.
46. *Сверчков С.В.* Особенности обеспечения противоблужетной безопасности в Арктической зоне РФ. Презентация. RAO/CIS Offshore 2023.
Sverchkov S.V. Features of ensuring blowout safety in the Arctic zone of the Russian Federation. Presentation. RAO/CIS Offshore 2023.
47. *Богоявленский В.И., Перекалин С.О., Бойчук В.М. и др.* Катастрофа на Кумжинском газоконденсатном месторождении: причины, результаты, пути устранения последствий // *Арктика: экология и экономика*. 2017. № 1 (25). С. 32–46.
Bogoyavlensky V.I., Perekalin S.O., Boychuk V.M. et al. Disaster at the Kumzhinskoye gas condensate field: causes, results, ways to eliminate the consequences // *Arctic: ecology and economy*. 2017, no. 1 (25), pp. 32–46.
48. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47046>
National Security Strategy of the Russian Federation. Approved by Decree of the President of the Russian Federation of July 2, 2021, No. 400. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47046>

GEOPHYSICAL METHODS OF ENSURING TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY AND NATIONAL SECURITY OF RUSSIA IN THE ARCTIC

V.I. Bogoyavlensky^{a,*}, I.V. Bogoyavlensky^{a,}, A.V. Kishankov^{a,***}**

^a*Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**E-mail: geo.ecology17@gmail.com*

***E-mail: ivb@ipng.ru*

****E-mail: alexey137k@yandex.ru*

The article discusses the achievements and problems of geological exploration in the Arctic offshore areas. The authors of the article obtained fundamentally new knowledge about the prospects for oil and gas content of the sedimentary cover and heterogeneous basement, as well as gas saturation in the free and hydrated states in the upper part of sedimentary deposits. A complex of new technologies has been developed, including 4D seismic exploration in near real time conditions. For the first time, seismic refraction data were used to map the distribution of frozen and thawed ground on the shelf of the seas of Eastern Siberia. A fundamentally new justification has been given for the gas-dynamic genesis of the formation of giant craters in the Arctic, which implies the formation of gas-saturated cavities in the masses of ground ice under the influence of endogenous processes. According to remote

sensing of the Earth (RS) from space on the shallow bottom of thermokarst lakes and rivers of the Yamal Peninsula, as well as coastal parts of the Kara Sea, 6022 zones of intense (explosive) degassing with the formation of craters (pockmarks) were revealed. For the first time, according to RS data from space, large mud-volcanic edifices with pronounced craters were discovered at the bottom of the Arctic thermokarst lakes. Causes and consequences of catastrophic man-made gas blowouts and self-ignition during drilling of exploratory wells at a number of fields in the Arctic were investigated.

Keywords: Arctic, oil and gas content, permafrost, Earth degassing, gas explosions, gas hydrates, disasters, seismic exploration, remote sensing of the Earth (RS), UAVs.

К 300-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСТОРИИ ХИМИИ

© 2024 г. Ю.А. Золотов^{a,b,*}

^aМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^bИнститут общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
Москва, Россия

*E-mail: zolotov.32@mail.ru

Поступила в редакцию 24.07.2024 г.

После доработки 31.07.2024 г.

Принята к публикации 26.08.2024 г.

В представленном обзоре перечислены главные достижения и публикации российских учёных в области истории химии. Обозначены ведущие исследования, крупные труды, научные центры, названы имена выдающихся деятелей науки. Подчёркивается важность создания Комиссии РАН по истории химии в 2023 г., указаны основные направления её деятельности, конкретные задачи и первые полученные результаты.

Ключевые слова: история химии, Комиссия РАН по истории химии, историки химии, 300-летие РАН.

DOI: 10.31857/S0869587324100063, EDN: ERVBSU

Известный русский химик Л.А. Чугаев (1873–1922), заведовавший менделеевской кафедрой неорганической химии в Петербургском университете, написал в 1917 г. слова, которые могут послужить эпиграфом к данной статье: “Знание нашего прошлого по каждой отрасли науки не только составляет нашу естественную национальную потребность, но имеет и огромное воспитательное значение для будущих деятелей науки, подобно тому, как знание политической и экономической истории страны необходимо для воспитания гражданина вообще” [1, с. 1171]. Это цитата из рецензии Чугаева на труд академика П.И. Вальдена “Очерки истории химии в России”, вышедший в том же 1917 г. В предисловии Павел Иванович писал об изучении истории химии: “Начало химии связано с началом культуры; история химии – только глава из истории че-

ловеческой культуры. Отражая, подобно зеркалу, в различные периоды времени все колебания материальной и духовной культуры отдельных стран



ЗОЛОТОВ Юрий Александрович – академик РАН, советник РАН, главный научный сотрудник химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, главный научный сотрудник ИОНХ РАН.



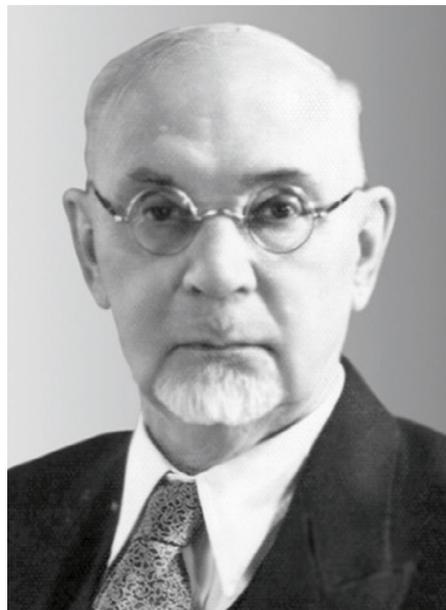
Академик Павел Иванович (Пауль) Вальден (1863–1957)

и народов, история химии является и экономическим, и интеллектуальным, а равно и политическим барометром” [2, с. 361].

Понимая значение такого “барометра”, в 2023 г. Отделение химии и наук о материалах РАН учредило Комиссию РАН по истории химии. Комиссия призвана объединить учёных, занимающихся и интересующихся историей химической науки, дать импульс исследовательским работам в этой области и способствовать популяризации сведений о путях развития химии и её выдающихся деятелях.

Такая комиссия уже существовала в Академии наук в 1944–1953 гг., её председателем был академик А.Е. Арбузов (1877–1968). В 1985 г. известный историк химии профессор Н.А. Фигуровский писал: “В наши дни деятельность комиссии по истории химии (1944–1952 гг.) почти забыта. Однако под руководством А.Е. [Арбузова] комиссия сыграла большую роль в организации и развитии исследований по истории химии. Она объединила большой коллектив учёных нашей страны, занятых и интересующихся исследованиями и литературной деятельностью по истории химии. Комиссии принадлежит заслуга в организации серьёзных исследований по истории отечественной химии и выпуску ряда фундаментальных изданий. Именно по её инициативе были изданы собрания сочинений А.М. Бутлерова, В.В. Марковникова и других учёных, началась систематическая разработка научного наследия Д.И. Менделеева” [3, с. 161]. К этому следует добавить, что та комиссия провела два всесоюзных совещания по истории отечественной химии, труды которых были опубликованы [4, 5].

Работы по истории химии в России были начаты ещё в XIX в. и продолжились в начале XX в. В 1888 г. профессор Петербургского университета Н.А. Меншуткин (1842–1907) издал “Очерки развития химических воззрений” [6]. В 1891 г. профессор Н.А. Бунге (1842–1915) выступил с предложением собирать материалы по истории отечественной химии, однако на тот момент не существовало органа (центра), который мог бы этим заниматься. Правда, “Журнал русского физико-химического общества” публиковал очерки об отдельных химиках и некрологи. В 1901 г. был составлен и издан “Ломоносовский сборник”, который объединил сведения о химических лабораториях российских высших учебных заведений [7]. В наше время он был переиздан [8]. Более основательно историей химической науки занимался упоминавшийся выше академик П.И. Вальден, а его “Очерк истории химии в России” считается первой монографией на эту тему. Позднее он опубликовал серию книг и статей по истории химической науки, включая “Историю химии” на немецком языке [9]. Его перу принадлежат несколько очерков о химиках, в частности о Д.И. Менделееве. Почти сразу после кончины великого учёного Вальден написал очерк на 80 страницах о его жизни и трудах [10] – по



Академик Александр Ерминингельдович Арбузов (1877–1968)

сути, это была первая, хотя и небольшая, монография о Д.И. Менделееве.

В 1904 г. Б.Н. Меншуткин открыл миру М.В. Ломоносова как физика и химика, что вызвало большой интерес и получило отклик во всём химическом сообществе [11]. В 1936 г. Меншуткин на основе собранных им материалов о Ломоносове издал монографию [12].

В 1920–1930 гг., если не учитывать упомянутые труды проживавшего с 1920 г. в Германии П.И. Вальдена, работы по истории химии в нашей стране не были масштабными. Следует вспомнить ленинградского профессора М.А. Блоха – автора научной биографии Г. Вант-Гоффа [13], “Хронологии важнейших событий в истории химии” [14], а также справочника о выдающихся химиках [15]. В 1932 г. Макс Абрамович организовал курс по истории химии в Ленинградском педагогическом институте.

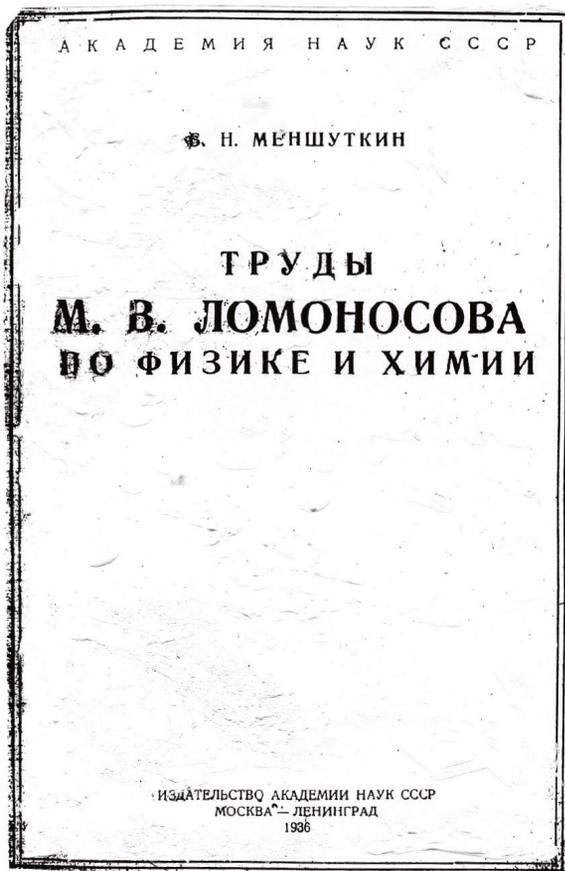
Исследования по истории химической науки, прежде всего отечественной, получили широкое развитие в послевоенные годы (1940–1980). В 1948 г. А.Е. Арбузов издал книгу “Краткий очерк развития органической химии в России” [16]. Если прежде экскурсии в историю химии делали химики, главным делом которых были работы по физической и органической химии, то после войны начало складываться сообщество профессиональных историков химии. Основные силы таких специалистов были сосредоточены в Институте истории естествознания и техники АН СССР. Историей химии занимались и в некоторых высших учебных заведениях. Значительный вклад в эту область внесли Н.А. Фигуров-



Профессор Николай Александрович Фигуровский (1909–1986)



Профессор Владимир Иванович Кузнецов (1915–2005)



Титульный лист монографии Б.Н. Меншуткина

ский, Ю.М. Соловьёв, В.И. Кузнецов, Г.В. Быков, Ю.С. Мусабеков, А.Н. Шамин, Д.Н. Трифонов и другие. Было написано очень много научно-биографических книг о ведущих химиках мира, монографий о путях развития химии, учебных пособий и научно-популярных книг.

Можно упомянуть глубокие монографии В.И. Кузнецова историко-философского толка, в которых, в частности, развивалось представление о смене парадигм химической науки [17–19]. Наиболее плодотворным из когорты историков химии был Ю.И. Соловьёв (1924–2005), написавший огромное число научных биографий химиков (С. Аррениус, Я. Берцелиус, А. Вернер, В. Оствальд, А.А. Баландин, Г.И. Гесс, Н.С. Курнаков, Н.А. Меншуткин, Л.А. Чугаев и другие), а также монографий и учебных пособий [20–22]. Ряд крупных работ научного и научно-популярного характера выпустил Д.Н. Трифонов (1932–2010), занимавшийся в том числе историей открытия лантанидов, актинидов и других элементов, а также историей периодического закона [23, 24]. Г.В. Быков (1914–1982) отдал много сил изучению трудов А.М. Бутлерова по созданию теории строения органических соединений [25, 26]. Историей органической химии интересовался Ю.С. Мусабеков (1910–1970) [27]. А.Н. Шамин – автор работ по истории биохимии [28–30]. Академик Б.М. Кедров (1903–1985) занимался историей открытия Периодического закона химических элементов [31, 32]. Профессор Московского химико-технологического института им. Д.И. Менделеева П.М. Лукьянов (1889–1975) написал многотомный труд об истории химических промыслов и химической промышленности в Рос-



Профессор Алексей Николаевич Шамин (1931–2002)

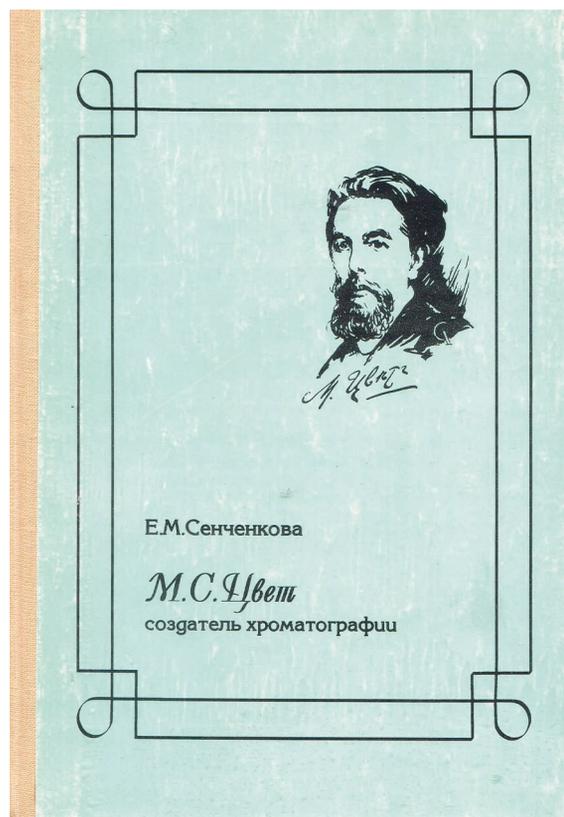
сии [33]. В относительно недавнее время существенный вклад в исследования по истории химии внёс А.М. Смолеговский [34].

В настоящее время сообщество российских специалистов по истории химии ослабло. В Институте истории естествознания и техники РАН нет отдельного подразделения по истории химической науки. Работы в этой области ведёт доктор химических наук А.Н. Родный, автор многих трудов по социологическим аспектам истории химии, в частности, монографии “Процесс формирования профессионального сообщества химиков-технологов (конец XVIII – первая половина XX в.)” [35] и других многочисленных публикаций. В Санкт-Петербургском филиале института работает доктор химических наук И.С. Дмитриев – знаток жизни и деятельности Д.И. Менделеева [36]. Доктор химических наук Е.М. Сенченкова несколько десятилетий посвятила основательному исследованию трудов и жизни создателя хроматографии М.С. Цвета [37, 38]. Кандидат химических наук Е.Н. Будрейко – автор книги об Н.А. Изгарышеве [39], в настоящее время она работает над историей советской химической промышленности (1940–1990) и Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева.

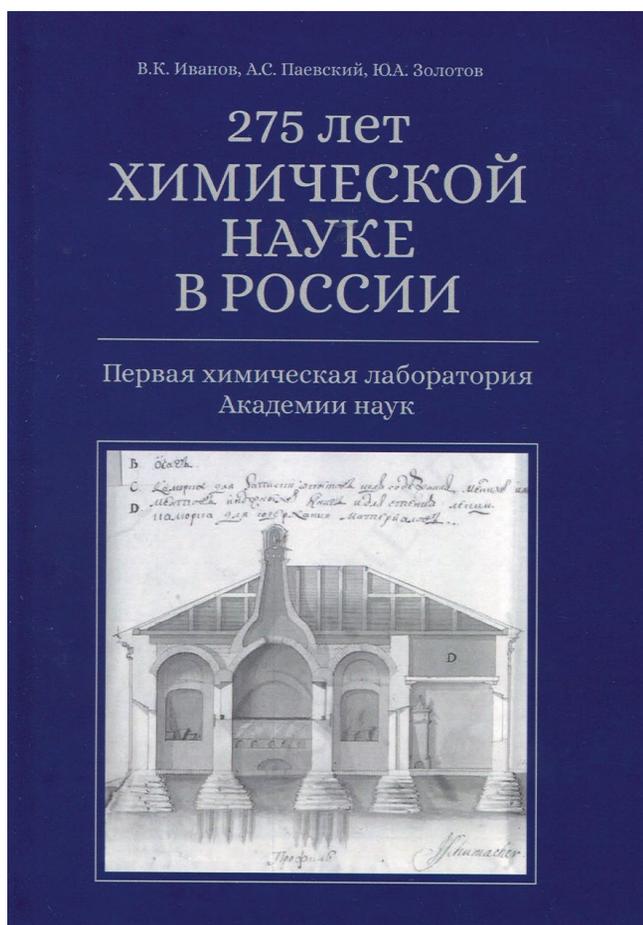
Активную деятельность ведёт группа МГУ имени М.В. Ломоносова в лице Е.А. Баум и Т.В. Богатовой. Эта группа – остаток существовавшей в 1948–1955 гг. на химическом факультете кафедры (затем лабора-

тории, кабинета) истории химии, которой заведовал Н.А. Фигуровский. Е.А. Баум и Г.И. Любина издали фундаментальную монографию о крупном российском термохимике В.Ф. Лугинине [40], Т.В. Богатова подготовила и опубликовала книги об учителе Д.И. Менделеева А.А. Воскресенском [41], а также о В.С. Гулевиче [42]. Авторству Баум и Богатовой принадлежат многочисленные статьи, они неоднократно выступали с докладами на историко-химические темы, ведут педагогическую работу по истории химии со студентами. Сотрудники МГУ организовали серию конференций по вопросам истории химии, материалы которых обычно публиковались в виде сборников [43, 44]. Химики-органики химического факультета МГУ подготовили коллективную монографию об истории органической химии в российских университетах [45] – своего рода продолжение “Ломоносовского сборника” 1901 г. [7].

Сотрудник Пермского университета С.И. Рогожников успешно разрабатывает тему “Женщины в химии” и ряд других направлений общего характера, а также изучает деятельность химиков, работавших в Перми [46, 47]. Важно отметить активную работу казанских химиков, особенно В.И. Курашова [48]. В Уфе историей нефтепереработки и нефтехимии занимается Э.М. Мовсумзаде [49]. Следует упомянуть большое учебное пособие – двухтомник И.Я. Миттовой и А.М. Самойлова [50].



Книга Е.М. Сенченковой о М.С. Цвете



Книга о 275-лети химической науки в России

Комиссия РАН по истории химии поставила своей задачей способствовать историко-химическим исследованиям по ряду направлений: подготовка научных биографий выдающихся химиков, история общества Х.С. Леденцова, создание словаря “Женщины-химики”, работа с музейной коллекцией химического лабораторного инструментария, формирование базы данных о диссертациях по истории химии и др. Комиссия планирует провести Симпозиум по истории химии в рамках XXII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, учредить диссертационный совет, который сможет принимать диссертации по истории химии (химические науки), способствовать появлению аспирантуры по истории химии в одном-двух ведущих университетах. Намечена организация Музея химической науки, создан сайт комиссии, готовится Telegram-канал. Запланирован перевод на русский язык нескольких лучших иностранных изданий по истории химии. Среди достижений членов комиссии – книги, посвящённые зарождению химической науки в России [51], аналитической химии в Академии наук [52], а также ряд статей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чугаев Л.А.* [О работе П.И. Вальдена] // Природа. 1917. № 11/12. С. 1169–1172.
Chugaev L.A. [On the work by Walden] // Priroda. 1917, no. 11–12, pp. 1169–1172. (In Russ.)
2. *Вальден П.И.* Очерк истории химии в России // Проф. А. Ладенбург. Лекции по истории развития химии от Лавуазье до нашего времени. Пер. с нем. Одесса: MATHESIS, 1917. С. 361–654.
Walden P.I. An essay on the history of chemistry in Russia // Prof. A. Ladenburg. Lectures on the history of the development of chemistry from Lavoisier to our time. Odessa: MATHESIS, 1917. Pp. 361–654. (In Russ.)
3. *Фигуровский Н.А.* А.Е. Арбузов в воспоминаниях современников // Академик Александр Ерминингельдович Арбузов: мировоззрение, наука, жизнь. Изд. 2-е, доп. и перераб. Казань: Татарское книжное изд-во, 1985.
Figurovsky N.A. A.E. Arbuzov in the memoirs of contemporaries // Academician Alexander Erminingeldovich Arbuzov: worldview, science, life. 2nd edition, additional and revised. Kazan: Tatar Book Publishing House, 1985. (In Russ.)
4. Материалы по истории отечественной химии // Сб. докладов на Первом Всесоюзном совещании по истории отечественной химии. 12–15 мая 1948 г. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950.
Materials on the history of domestic chemistry // Collection of reports at the First All-Union Meeting on the history of domestic chemistry. May 1–15, 1948. Moscow–Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1950. (In Russ.)
5. Материалы по истории отечественной химии // Сб. докладов на Втором Всесоюзном совещании по истории отечественной химии. 21–26 апреля 1951 г. М.: Изд-во АН СССР, 1953.
Materials on the history of domestic chemistry // Collection of reports at the Second All-Union Meeting on the history of domestic chemistry. April 21–26, 1951. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1953. (In Russ.)
6. *Меншуткин Н.* Очерки развития химических воззрений. СПб.: Тип. В. Демакова, 1888.
Menshutkin N. Essays on the development of chemical views. St. Petersburg: V. Demakov Publishing House, 1888. (In Russ.)
7. Ломоносовский сборник. Материалы для истории развития химии в России. Москва. Тов-во типографии А.И. Мамонтова, 1901.
The Lomonosov collection. Materials for the history of the development of chemistry in Russia. Moscow: The publishing house of A.I. Mamontov, 1901. (In Russ.)
8. Химия в университетах России: путь в полтора столетия (Ломоносовский сборник) / Научн.

- предисл. В.В. Лунина. Репр. воспр. текста 1901 г. М.: Логос, 2004.
- Chemistry in Russian universities: the path to a century and a half (Lomonosov collection) / Scientific preface by V.V. Lunin. Repr. of the text of 1901. Moscow: Logos, 2004. (In Russ.)
9. *Walden P.* Geschichte der Chemie. Bonn: Athenäum Verlag, 1950.
 10. *Walden P.* Dmitri Iwanowitsch Mendelyeff // Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft. 1909, Jg. 41, Bd. 3, H. 19, S. 4719–4800.
 11. *Меншуткин Б.Н.* М.В. Ломоносов как физико-химик: к истории химии в России // Журнал Русского физико-химического общества. Часть химическая. Отд. второй. Гл. 8–11. 1904. № 8. С. 159–219; гл. 12–14. 1904. № 9. С. 221–304.
Menshutkin B.N. M.V. Lomonosov as a physicochemist: towards the history of chemistry in Russia // Journal of the Russian Physico-Chemical Society. The chemical part. Chapters 8–11. 1904, no. 8, pp. 159–219. Chapters 12–14. 1904, no. 9, pp. 221–304. (In Russ.)
 12. *Меншуткин Б.Н.* Труды М.В. Ломоносова по физике и химии. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1936.
Menshutkin B.N. The works of M.V. Lomonosov in physics and chemistry. Moscow–Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1936. (In Russ.)
 13. *Блох М.А.* Жизнь и творчество первого лауреата Нобелевской премии по химии Я.Г. Вант-Гоффа. М.: URSS, 2021.
Bloch M.A. The life and work of the first Nobel Prize laureate in chemistry J.G. Vant Hoff. Moscow: URSS, 2021. (In Russ.)
 14. *Блох М.А.* Хронология важнейших событий в истории химии и смежных дисциплин и библиография по истории химии. Л.–М.: Госхимиздат, 1940.
Bloch M.A. Chronology of the most important events in the history of chemistry and related disciplines and a bibliography on the history of chemistry. Leningrad–Moscow: Goskhimizdat, 1940. (In Russ.)
 15. *Блох М.А.* Библиографический справочник. Выдающиеся химики и учёные XIX и XX столетий, работавшие в смежных с химией областях науки. Т. 1–2. Л., 1923–1931.
Bloch M.A. Bibliographic reference. Outstanding chemists and scientists of the XIX and XX centuries who worked in fields of science related to chemistry. Vol. 1–2. Leningrad, 1923–1931. (In Russ.)
 16. *Арбузов А.Е.* Краткий очерк развития органической химии в России. М.: Изд-во АН СССР, 1948.
Arbuзов A.E. A brief outline of the development of organic chemistry in Russia. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1948. (In Russ.)
 17. *Кузнецов В.И.* Эволюция представлений об основных законах химии. М.: Наука, 1967.
Kuznetsov V.I. The evolution of viewpoints about the basic laws of chemistry. Moscow: Nauka, 1967. (In Russ.)
 18. *Кузнецов В.И.* Диалектика развития химии. От истории к теории развития химии. М.: Наука, 1973.
Kuznetsov V.I. Dialectics of chemistry development. From history to the theory of the development of chemistry. Moscow: Nauka, 1973. (In Russ.)
 19. *Кузнецов В.И.* Общая химия: тенденции развития. М.: Высшая школа, 1989.
Kuznetsov V.I. General chemistry: development trends. Moscow: Higher School, 1989. (In Russ.)
 20. *Соловьёв Ю.И.* История химии в России. Научные центры и основные направления исследований / Под ред. С.А. Погодина. М.: Наука, 1985.
Solovyov Yu.I. History of chemistry in Russia. Research centers and main areas of research / Ed. by S.A. Pogodin. Moscow: Nauka, 1985. (In Russ.)
 21. *Соловьёв Ю.И.* История химии. Развитие химии с древнейших времён до конца XIX века. Пособие для учителей. М.: Просвещение, 1976.
Solovyov Yu.I. History of chemistry. The development of chemistry from ancient times to the end of the XIX century. A manual for teachers. Moscow: Prosveshchenie, 1976. (In Russ.)
 22. *Соловьёв Ю.И., Трифонов Д.Н., Шамин А.Н.* История химии. Развитие основных направлений современной химии. Пособие для учителей. М.: Просвещение, 1978.
Solovyov Yu.I., Trifonov D.N., Shamin A.N. History of chemistry. The development of the main directions of modern chemistry. A manual for teachers. Moscow: Prosveshchenie, 1978. (In Russ.)
 23. *Трифонов Д.Н., Трифонов В.Д.* Как были открыты химические элементы. М.: Просвещение, 1980.
Trifonov D.N., Trifonov V.D. How chemical elements were discovered. Moscow: Prosveshchenie, 1980. (In Russ.)
 24. *Соловьёв Ю.И., Трифонов Д.Н., Шамин А.Н.* История химии. Развитие основных направлений современной химии. М.: Просвещение, 1984.
Solovyov Yu.I., Trifonov D.N., Shamin A.N. History of chemistry. The development of the main directions of modern chemistry. Moscow: Prosveshchenie, 1984. (In Russ.)
 25. *Быков Г.В.* История классической теории химического строения. М.: Изд-во АН СССР, 1980.
Bykov G.V. History of the classical theory of chemical structure. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1980. (In Russ.)

26. *Быков Г.В.* История органической химии: открытие важнейших органических соединений. М.: Наука, 1978.
Bykov G.V. The history of organic chemistry: the discovery of the most important organic compounds. Moscow: Nauka, 1978. (In Russ.)
27. *Мусабеков Ю.С.* История органического синтеза в России. М.: Изд-во АН СССР, 1958.
Musabekov Y.S. The history of organic synthesis in Russia. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1958. (In Russ.)
28. *Шамин А.Н.* История биологической химии. Истоки науки. М.: Наука, 1990.
Shamin A.N. History of biological chemistry. The origins of science. Moscow: Nauka, 1990. (In Russ.)
29. *Шамин А.Н.* История биологической химии. Формирование биохимии. М.: Наука, 1993.
Shamin A.N. History of biological chemistry. Formation of biochemistry. Moscow: Nauka, 1993. (In Russ.)
30. *Шамин А.Н.* История биологической химии. Институционализация биохимии. М.: Наука, 1994.
Shamin A.N. History of biological chemistry. Institutionalization of biochemistry. Moscow: Nauka, 1994. (In Russ.)
31. *Менделеев Д.И.* Периодический закон // Классики науки / Редакция, статья и примечания Б.М. Кедрова. М.: Изд-во АН СССР, 1958.
Mendeleev D.I. Periodic law // Classics of Science / Editing, article and notes by B.M. Kedrov. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1958. (In Russ.)
32. *Кедров Б.М.* Закон Менделеева: логико-исторический аспект. М.: Наука, 1969.
Kedrov B.M. Mendeleev's Law: a logical and historical aspects. Moscow: Nauka, 1969. (In Russ.)
33. *Лукьянов П.М.* История химических промыслов и химической промышленности в России до конца XIX века. В 6 т. / Под ред. С.И. Вольфовича. М.: Изд-во АН СССР, 1940–1950.
Lukeyanov P.M. The history of chemical crafts and chemical industry in Russia until the end of the XIX century. In 6 vols. / Ed. by S.I. Volkovich. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1940–1950. (In Russ.)
34. *Смолеговский А.М.* Развитие теории полиморфизма в контексте изучения новых наночастиц углерода и их физико-химических свойств. М.: URSS, 2009.
Smolegovsky A.M. The development of the theory of polymorphism in the context of the study of new carbon nanoforms and their physico-chemical properties. Moscow: URSS, 2009. (In Russ.)
35. *Родный А.Н.* Процесс формирования профессионального сообщества химиков-технологов (конец XVIII в. – первая половина XX в.). М.: ИИЕТ РАН, 2005.
Rodny A.N. The process of forming a professional community of chemical technologists (the end of the XVIII century – the first half of the XX century). Moscow: S. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, RAS, 2005. (In Russ.)
36. *Дмитриев И.С.* Человек эпохи перемен. Очерки о Д.И. Менделееве и его времени. СПб.: Химиздат, 2004.
Dmitriev I.S. A man of the era of change. Essays on D.I. Mendeleev and his time. St. Petersburg: Khimizdat, 2004. (In Russ.)
37. *Сенченкова Е.М.* М.С. Цвет – создатель хроматографии. М.: Янус–К, 1997.
Senchenkova E.M. M.S. Tsvet – the creator of chromatography. Moscow: Janus–K, 1997. (In Russ.)
38. *Сенченкова Е.М.* Рождение идеи и метода адсорбционной хроматографии. М.: Наука, 1991.
Senchenkova E.M. The birth of the idea and method of adsorption chromatography. Moscow: Nauka, 1991. (In Russ.)
39. *Будрейко Е.Н.* Николай Алексеевич Изгарышев. 1884–1956. М.: Наука, 2008.
Budreiko E.N. Nikolay Alekseevich Izgaryshev. 1884–1956. Moscow: Nauka, 2008. (In Russ.)
40. *Зайцева (Баум) Е.А., Любина Г.И.* Владимир Фёдорович Лугинин. 1834–1911. М.: Изд-во Московского университета, 2012.
Zaitseva (Baum) E.A., Lyubina G.I. Vladimir Fedorovich Luginin. 1834–1911. Moscow: Publishing House of Moscow University, 2012. (In Russ.)
41. *Богатова Т.В.* Александр Абрамович Воскресенский. 1808–1880. М.: Наука, 2011.
Bogatova T.V. Alexander Abramovich Voskresensky. 1808–1880. Moscow: Nauka, 2011. (In Russ.)
42. *Богатова Т.В.* Владимир Сергеевич Гулевич. 1867–1938. М.: Наука, 2017.
Bogatova T.V. Vladimir Sergeevich Gulevich. 1867–1938. Moscow: Nauka, 2017. (In Russ.)
43. Женщины-химики. Биографический портрет, вклад в образование и науку, признание / Отв. ред. В.В. Лунин, ред.-сост. Е.А. Зайцева (Баум), Т.В. Богатова. М.: Янус–К, 2013.
Women chemists. Biographical portrait, contribution to education and science, recognition / Ed. by V.V. Lunin, ed.-comp. E.A. Zaitseva (Baum), T.V. Bogatova. Moscow: Janus–K, 2013. (In Russ.)
44. История химии: область науки и учебная дисциплина. К 100-летию профессора Н.А. Фигуровского / Отв. ред. В.В. Лунин, В.М. Орёл. М.: Изд-во Московского университета, 2001.
The history of chemistry: a field of science and an academic discipline. To the 100th anniversary of Professor N.A. Figurovsky / Ed. by V.V. Lunin, V.M. Orel. Moscow: Publishing House of Moscow University, 2001 (In Russ.)

45. История органической химии в университетах России. От истоков до наших дней / Под ред. Е.К. Белоглазкиной, И.П. Белецкой, В.Г. Ненайденко. М.: Техносфера, 2018.
The history of organic chemistry in Russian universities. From the origins to the present day / Ed. by E.K. Beloglazkina, I.P. Beletskaya, V.G. Nenaidenko. Moscow: Technosphere, 2018. (In Russ.)
46. Рогожников С.И. Сколько лет живут химики, или так уж опасны занятия химией? Saarbrücken: LAP LAMBERT Acad. Publ. GMBH, 2013.
Rogozhnikov S.I. How many years do chemists live, or is chemistry occupation so dangerous? Saarbrücken: LAP LAMBERT Acad. Publ. GMBH, 2013. (In Russ.)
47. Рогожников С.И. Женщины – авторы книг по алхимии и химии с древнейших времён и до конца XIX века // Первый конгресс Русского общества истории и философии науки “История и философия науки в эпоху перемен”. Сб. научных ст. 2018. Т. 2. С. 108–109.
Rogozhnikov S.I. Women – authors of books on alchemy and chemistry from ancient times to the end of the XIX century // The First Congress of the Russian Society for the History and Philosophy of Science “History and Philosophy of Science in the era of change”. Collection of scientific articles. 2018, vol. 2, pp. 108–109. (In Russ.)
48. Курашов В.И. Химия с историко-философской точки зрения. Казань: Изд-во Казанского государственного технического университета, 2008.
Kurashov V.I. Chemistry from a historical and philosophical point of view. Kazan: Publishing House of Kazan State Technical University, 2008. (In Russ.)
49. Мовсумзаде Э.М., Сыркин А.М. От древней химии до современной нефтепереработки. Учебное пособие. Уфа, 2000.
Movsumzade E.M., Syrkin A.M. From ancient chemistry to modern oil refining. A study guide. Ufa, 2000. (In Russ.)
50. Миттова И.Я., Самойлов А.М. История химии с древнейших времён до конца XX века. Т. 1, 2. Долгопрудный: Интеллект, 2009.
Mittova I.Ya., Samoilov A.M. The history of chemistry from ancient times to the end of the twentieth century. Vol. 1, 2. Dolgoprudny: Intellect, 2009. (In Russ.)
51. Иванов В.К., Паевский А.С., Золотов Ю.А. 275 лет химической науке в России. Первая химическая лаборатория Академии наук. М.: Техносфера, 2023.
Ivanov V.K., Paevsky A.S., Zolotov Yu.A. 275 years of chemical science in Russia. The First Chemical Laboratory of the Academy of Sciences. Moscow: Technosphere, 2023. (In Russ.)
52. Золотов Ю.А., Тумурова Л.В. Аналитическая химия в Академии наук. М.: РАН, 2024.
Zolotov Yu.A., Tumurova L.V. Analytical Chemistry at the Academy of Sciences. Moscow: RAS, 2024. (In Russ.)

DOMESTIC RESEARCH ON THE HISTORY OF CHEMISTRY

Yu.A. Zolotov^{a,b,*}

^aLomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

^bKurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*E-mail: zolotov.32@mail.ru

The presented review lists the main achievements and publications of Russian scientists in the field of the history of chemistry. The leading researches, major works, scientific centers are designated, the names of outstanding figures of science are named. The importance of the creation of the RAS Commission on the History of Chemistry in 2023 is emphasized, the main directions of its activities, specific tasks and the first results obtained are indicated.

Keywords: history of chemistry, RAS Commission on the History of Chemistry, historians of chemistry, 300th anniversary of RAS.

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

МИГРАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ И ВОСПРОИЗВОДСТВО НАСЕЛЕНИЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

© 2024 г. О.Д. Воробьева^{а*}, А.В. Топилин^{а**,} В.А. Устинова^{б***}

^аИнститут демографических исследований Федерального научно-исследовательского социологического центра РАН, Москва, Россия

^бМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: 89166130069@mail.ru

**E-mail: topilinav@mail.ru

***E-mail: valeria.ustinova.2014@mail.ru

Поступила в редакцию 14.07.24 г.

После доработки 19.08.2024 г.

Принята к публикации 04.09.2024 г.

Статья посвящена анализу трендов двух составляющих изменения численности населения — его воспроизводства и миграции в малых и средних городах северо-запада Европейской России (на примере городов Вологодской и Новгородской областей). Вслед за демографическим сжатием сельских населённых пунктов и их исчезновением аналогичный процесс затронул малые и средние города древних культурных, исторических и экономических центров России. Выявлены причины и последствия социально-экономических деформаций традиционных российских территорий. Предложено пересмотреть ключевые подходы к развитию городской сети расселения в регионе, определены меры по стабилизации численности населения и трудовых ресурсов, улучшению возрастной структуры, повышению миграционной привлекательности малых и средних городов.

Ключевые слова: население малых и средних городов, воспроизводство населения, миграция, городская сеть расселения.

DOI: 10.31857/S0869587324100079, EDN: ERPBVH

В последние десятилетия внутренняя миграция в Российской Федерации приобрела новые масштабы, направленность и интенсивность. Это касается всех потоков, которые учитывает текущая статисти-

стика миграции и отражают переписи населения. Переезды на постоянное жительство из одной городской местности в другую развиваются в соответствии с закономерностями, открытыми более 150 лет



ВОРОБЬЁВА Ольга Дмитриевна — доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник ИДИ ФНИСЦ РАН. ТОПИЛИН Анатолий Васильевич — доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник ИДИ ФНИСЦ РАН. УСТИНОВА Валерия Андреевна — магистр МГУ им. М.В. Ломоносова.

назад Э.Г. Равенштейном¹. Основным магнитом для жителей малых и средних городов становятся самые крупные города независимо от их территориальной близости к месту постоянного жительства. Лидером по притягательности в России остаётся столичный регион, причём его влияние на привлечение населения со всей страны усиливается. Это происходит во многом благодаря территориальному росту столицы и безудержному строительному буму, который сопровождается и будет сопровождать расширение границ города.

По данным Всероссийской переписи населения 2020 г., продолжают исчезать мелкие сельские населённые пункты, сокращается людность средних и крупных сельских поселений, численность и доля сельского населения, в первую очередь за счёт миграции. Складывавшаяся столетиями сеть расселения в Европейской России, в частности в её северо-западном регионе, для которого всегда было характерно наличие относительно многочисленных центральных мест организации хозяйственной и культурной жизни в форме малых и средних городов, постепенно исчезает в результате миграционных процессов. Основные причины и факторы миграционного поведения населения, социально-экономические последствия этого процесса для хозяйственного и культурного развития традиционных российских территорий — тема настоящей статьи.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Миграционным процессам, миграционному поведению населения, мотивам, закономерностям, характерным для территориального перемещения населения, посвящено большое число монографий, публикаций, дискуссий, открытий и исследований. Миграции — это повсеместное условие существования человеческих сообществ в любые времена [1, с. 153]. Классиками в изучении миграций населения стали в том числе и российские учёные дореволюционного периода — А.А. Кауфман, И.Л. Ямзин, В.П. Вошинин и другие [2]. В СССР в послевоенные годы XX столетия большой вклад в исследования внутренней, сельской, сельско-городской миграции внесли Т.И. Заславская [3], Ж.А. Зайончковская, В.И. Переведенцев, Б.С. Хорев, Л.Л. Рыбаковский [4]. В последние десятилетия исследованию межгосударственных миграционных процессов посвящены работы С.В. Рязанцева [5], О.Д. Воробьёвой [6], А.В. Топилина [7], специфике внутренних миграционных процессов — Т.М. Нефёдовой [8], Н.В. Мкртчяна [9], Л.Б. Карачуриной и других. Процессы миграции привлекают внимание демографов и социологов, как за рубежом, так и в нашей стране.

¹ Э.Г. Равенштейн — английский географ, считается самым ранним теоретиком миграции. В конце XIX в. он предпринял первую попытку разработать законы миграции, используя данные переписи населения Англии и Уэльса (1885–1889), и пришёл к выводу, что миграция населения происходит в результате действия факторов выталкивания.

Несмотря на множественность точек зрения и определений понятия “миграция населения”, исследователи солидарны в том, что миграция — один из важнейших процессов, влияющих на расселение по территории, на формы и характер расселения, на численность населения и его качественный состав, а также, безусловно, на урбанизацию. Образование, развитие и исчезновение городов зависят от притока или оттока населения.

В настоящее время среди теоретических подходов к изучению города специалисты выделяют геопространственный и социопространственный [10, с. 9]. В первом случае города выступают как геопространственный элемент в границах определённого региона, с учётом его географического положения и таких аспектов жизнедеятельности населения, как культура, история, религия, экономика, политика. По мере расширения проблемного поля получили распространение социопространственные теории. С этих позиций территорию рассматривают не только с точки зрения её географических характеристик, но и как реальную материальную среду, социальное пространство.

Определение понятия “город” в российском региональном законодательстве чаще всего формулируется следующим образом: “Город — это населённый пункт с развитой социальной и производственной инфраструктурой, который является промышленным, финансовым, экономическим, транспортным, культурным центром, имеющим достаточную численность населения, большая часть которого занята вне сельского хозяйства” [11].

Роль городов в процессе формирования жизненного пространства людей постоянно возрастала и по-прежнему возрастает, продолжают процессы урбанизации. Существуют несколько общепринятых критериев, по которым принято относить населённый пункт к категории города: размер (численность населения), гетерогенность (разнородность населения по социальным, экономическим, демографическим и прочим признакам), плотность расселения. Эти критерии были предложены в 1938 г. американским социологом Л. Виртом [12, с. 15]. В России официально в органах статистики принята следующая типология:

- малые города (до 50 тыс. человек);
- средние (50–100 тыс. человек);
- большие (100–500 тыс. человек);
- крупнейшие (500 тыс. — 1 млн человек);
- города-миллионники (свыше 1 млн человек).

Эта классификация практически совпадает с предложенной российским урбанистом Г.М. Лаппо, который дополнительно выделял среди больших городов две группы: большие города — 100–250 тыс. человек, крупные города — 250–500 тыс. [13, с. 43]. Собственную классификацию предложил урбанист В.Г. Давидович [14], он учитывал характер

застройки, развитость общественного транспорта, коммунального хозяйства. По его классификации, малые города – от 10 до 25 тыс. жителей, средние – от 25 до 100 тыс. Однако существуют населённые пункты, отнесённые к категории городов, численностью менее 10 тыс. человек. (В Московской области самый маленький по численности населения город Верей – 5 тыс.)

В прямой зависимости от общей численности жителей в сложившихся условиях воспроизводства населения находятся трудовые ресурсы. По данным исследования, проведённого в 85 субъектах РФ по показателям изменения численности трудоспособного населения в период 2020–2035 гг., выявлено несколько групп регионов [15, с. 70–84]. В группу с интенсивным, на 10–20%, снижением численности населения трудоспособного возраста и пониженной долей молодёжи вошли 16 регионов, в основном в Центральной России, на Северо-Западе и в Поволжье. Вместе с тем в некоторых городах ожидается рост численности трудоспособного населения в среднем на 7.5–8.9% до 2035 г. Это Москва, Санкт-Петербург, города Воронежской, Калининградской, Новосибирской, Тюменской областей (без автономий). Роль территориальных перемещений в этом процессе первостепенна.

Наиболее миграционно активными, по данным многочисленных исследований, являются люди в возрасте от 16 до 35 лет. Отток населения этих возрастных групп из малых городов России приобрёл значительные масштабы. Н.В. Мкртчян, опираясь на данные социологического опроса выпускников школ и интервьюирования экспертов в четырёх российских малых городах (г. Вязники Владимирской области, г. Ртищево Саратовской области, г. Сатка Челябинской области и г. Камень-на-Оби Алтайского края), проведённого в 2015 г., анализирует причины миграции, её масштабы и направления, а также возможности и препятствия возвращения молодёжи домой [16]. Основная причина выезда – учёба в более крупном городе, а невозвращения – отсутствие сфер приложения труда по полученным профессиям и специальностям в малых городах, низкий уровень оплаты труда.

Как показало исследование, сразу переехать в самые крупные города России – Санкт-Петербург и Москву готовы немногие выпускники школ, так как для этого необходимы большие материальные средства. В основном молодёжь уезжает в центр своего региона или более крупный центр соседнего региона. Подтверждается закономерность миграции населения, открытая Э.Г. Равенштейном.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обратим более пристальное внимание на малые и средние города отдельных регионов северо-запада европейской части России. Именно в них наблюда-

ются негативные тенденции воспроизводства населения и миграционных процессов. Это тревожная ситуация, тем более что в прошлом они являлись не только экономическим ядром северо-западных территорий, но и яркими очагами культурных традиций и обычаев народа. Они обладают богатым культурным разнообразием и историческим наследием. Каждый субъект в составе СЗФО уникален по природно-климатическим условиям и природным ресурсам, необходимым для экономического развития. Однако больше половины этих субъектов имеют отрицательный естественный прирост и миграционную убыль населения. Если исключить Санкт-Петербург и Ленинградскую область, то самая крупная по численности населения Вологодская область, а Новгородская область – самая малочисленная [17].

Для изучения социально-экономической и демографической ситуации, влияния на неё миграционных процессов, выявления основных “выталкивающих” население факторов были отобраны малые и средние города двух областей – Вологодской и Новгородской.

Численность населения Вологодской области, по данным Росстата на начало 2023 г., составляет 1 128 тыс. человек, городское население – 73.1%, плотность населения – 7.81 человек на квадратный километр. На территории области расположено 15 городов, 14 посёлков городского типа и более 8 тыс. сельских населённых пунктов. Крупные города – Вологда и Череповец, 13 малых и средних городов (численность населения на 1 января 2023 г. [18]): г. Сокол (34 298 человек), г. Великий Устюг (28 266), г. Грязовец (14 424), г. Бабаево (11 646), г. Вытегра (10 292), г. Тотьма (8 647), г. Харовск (8 361), г. Белозёрск (8 183), г. Устюжна (7 653), г. Никольск (7 607), г. Кириллов (7 069), г. Красавино (5 460), г. Кадников (4 022).

В Новгородской области проживает 583 387 человек (не считая автономный округ в составе Архангельской области) [17]. Это один из главных культурных центров северо-запада России. Новгород был первой столицей Русского государства, вольным городом с богатыми демократическими традициями, а область (губерния) – одним из самых богатых регионов, с густой сетью сельских поселений и малых городов. Многие предприятия являются филиалами предприятий Санкт-Петербурга или смежными с ними. В Новгородской области, помимо областного центра, расположены ещё два города областного значения – Боровичи (47 353 человек) и Старая Русса (27 183) и семь городов – центров административных районов: Валдай (13 887), Малая Вишера (9 805), Окуловка (9 538), Пестово (13 731), Сольцы (8 173), Холм (3 137) и Чудово (14 023) (численность населения на 1 января 2023 г.) [18].

Анализ основан на официальных данных переписей населения, текущего учёта воспроизводства

населения и миграции, данных социологического исследования о причинах оттока жителей из малых и средних городов, где особенно интенсивно идёт депопуляция.

ДИНАМИКА ВОСПРОИЗВОДСТВА, ЧИСЛЕННОСТИ И СОСТАВА НАСЕЛЕНИЯ С 1970 ПО 2020 г.

По данным переписей населения за 50 лет чётко прослеживаются два периода – 1970–1989 гг. и 1989–2020 гг. В первый (советский) период численность населения большинства малых и средних городов росла достаточно высокими темпами, например, в Вологодской области: Кадников – на 50.4%, Грязовец – на 41.1%, Кириллов – на 40.3%; в Новгородской области: Чудово – на 43.3%. Лишь в трёх городах – Окуловка (Новгородская обл.), Красавино и Харовск (Вологодская обл.) – население сократилось соответственно на 10.4%, 12.4% и 7.8%. В 1989–2010 гг. рост сменился на противоположную тенденцию. Численность жителей сократилась во всех без исключения малых и средних городах обеих областей.

Наибольшие потери населения в 1989–2010 гг. понесли следующие города: в Вологодской области

Красавино – на 26.5%, Харовск на – 23.6%, Белозёрск – на 22.5%, в Новгородской области Окуловка – на 27.5%, Старая Русса – на 23.4%, Холм – 21.2%. В 2010–2020 гг. сжатие демографического пространства большинства малых и средних городов региона продолжилось, за исключением городов Бабаево, Великий Устюг, Устюжна (Вологодская обл.), численность жителей которых осталась прежней или увеличилась незначительно. Пандемия внесла весомую лепту в сокращение численности жителей этих городов. За 2020–2023 гг. ежегодный темп убыли населения во многих городах был выше, чем в период 2010–2020 гг. (табл. 1).

Миграция оказывает значительное влияние на возрастную структуру населения малых и средних городов. Общий вектор этого влияния – ускорение старения населения. По данным переписи 2020 г., во всех городах доля лиц моложе трудоспособного возраста включая детей, проживающих не с рождения, составляет 4–5%, что в 2–3 раза меньше, чем среди постоянного населения. Тем самым сужается база роста населения. Доля же лиц старших возрастов, и без того высокая, за счёт отъезда молодёжи ещё больше увеличивается, достигая в девяти из вошедших в выборку малых и средних городов 45% и более. В первую очередь это города, в которых

Таблица 1. Численность и темпы изменения численности населения малых и средних городов за 1970–2023 гг., тыс. человек

Город	1970	1989	2010	2020	2023	1989 к 1970	2010 к 1989	2020 к 2010	2023 к 2020
Бабаево	12.301	14.211	12.053	12.053	11.646	115.5	84.8	100.0	96.6
Белозёрск	12.097	12.300	9.532	8.580	8.183	101.7	77.5	90.0	95.4
Боровичи	54.763	63.009	53.690	49.012	47.883	115.1	85.2	91.3	97.7
Валдай	14.118	19.173	16.098	13.987	14.074	135.8	84.0	86.9	100.6
Великий Устюг	36.737	36.202	30.926	31.019	28.266	96.9	85.4	100.3	91.1
Вытегра	11.729	12.905	10.491	10.123	10.292	110.0	81.3	97.1	101.7
Грязовец	11.640	16.424	15.201	14.808	14.424	141.1	92.6	97.4	97.4
Кадников	3.533	5.312	4.614	4.478	4.022	150.4	86.9	97.1	89.8
Кириллов	6.285	8.817	7.710	7.491	7.069	140.3	87.4	97.2	94.4
Красавино	10.880	9.535	7.004	5.859	5.460	87.6	73.5	83.7	93.1
Малая Вишера	15.381	15.647	12.461	10.253	9.996	101.7	79.6	82.3	97.5
Никольск	6.451	8.574	8.476	7.908	7.607	132.9	98.9	93.3	96.2
Окуловка	19.194	17.197	12.464	9.772	9.949	89.6	72.5	78.4	101.8
Сокол	48.253	46.604	37.233	36.433	34.298	96.6	79.9	97.9	94.1
Сольцы	9.357	11.782	10.086	8.535	8.449	125.9	85.6	84.6	99.0
Старая Русса	34.577	41.538	31.809	27.739	27.487	120.1	76.6	87.2	99.1
Тотьма	8.465	10.622	9.776	9.690	8.647	125.5	92.0	99.1	89.2
Устюжна	8.851	10.035	8.343	8.443	7.653	113.4	83.1	101.2	90.6
Харовск	14.102	13.083	9.998	8.776	8.361	92.8	76.4	87.8	95.3
Холм	3.827	4.849	3.820	3.539	3.214	126.7	78.8	87.9	95.7
Чудово	12.520	17.982	15.397	13.909	14.302	143.6	85.6	90.3	102.8

Источник: [18].

нет промышленного производства, – Белозёрск, Кириллов, Красавино (Вологодская обл.), Валдай, Сольцы (Новгородская обл.).

Возрастная структура населения, проживающего не с рождения, то есть мигрантов, заметно отличается от возрастной структуры постоянного населения. За счёт миграции численность населения в трудоспособном возрасте увеличивалась только в семи малых и средних городах, так как эти возрастные группы более многочисленны среди внешних мигрантов, чем среди постоянного населения. В то же время в результате миграции во всех городах увеличивается и доля лиц старших возрастов, за счёт их более высокой доли среди мигрантов по сравнению с постоянным населением. И только доля детей среди мигрантов значительно ниже, чем среди постоянного населения (табл. 2).

Согласно данным, опубликованным в Национальном демографическом докладе “Демографическое самочувствие регионов России” [19], в котором использованы данные официального статистиче-

ского учёта демографических процессов, опубликованных в ЕМИСС [20], демографическая подпитка городов за счёт сельского населения практически исчерпана, так как сокращение численности населения происходит главным образом вследствие демографического сжатия села. Численность сельского населения сократилась в Вологодской области на 22 п.п. (с 403.2 до 313.8 тыс. человек), в Новгородской – с 219.0 до 154.8 тыс. человек (на 30 п.п.). Традиционно более высокие показатели рождаемости и естественного прироста в сельской местности вот уже на протяжении более трёх десятков лет стали столь низкими, что не обеспечивают простое воспроизводство населения (табл. 3). Естественная убыль – превышение смертности над рождаемостью – усугубляет миграционная убыль.

Выскажем осторожное предположение: если темпы сокращения численности населения малых и средних городов сохранятся на уровне последних 30 лет, есть риск ускоренного разрушения опорного каркаса системы расселения и опустынивания об-

Таблица 2. Возрастная структура постоянного населения и проживающих не с рождения в малых и средних городах, 2020 г., %

Город	Население моложе трудоспособного возраста		Население в трудоспособном возрасте		Население старше трудоспособного возраста	
	Среди постоянного населения	Проживающие не с рождения	Среди постоянного населения	Проживающие не с рождения	Среди постоянного населения	Проживающие не с рождения
Бабаево	20.0	5.1	54.7	59.6	25.3	35.3
Белозёрск	17.3	4.1	50.4	49.1	32.3	46.8
Боровичи	16.4	5.1	52.0	50.6	31.6	44.3
Валдай	16.7	5.3	51.5	49.6	31.8	45.1
Великий Устюг	18.0	6.7	53.7	57.0	28.3	36.3
Вытегра	19.2	8.5	55.5	55.7	25.3	35.8
Грязовец	19.8	5.8	55.1	53.3	25.1	40.9
Кадников	18.8	6.1	54.1	53.9	27.1	40.0
Кириллов	16.9	4.1	51.5	48.2	31.6	47.7
Красавино	16.5	6.5	48.2	41.1	35.3	52.4
Малая Вишера	15.1	6.4	54.5	50.9	30.4	42.7
Никольск	22.1	8.1	54.7	58.3	23.2	33.6
Окуловка	19.1	6.1	50.7	50.3	30.2	43.6
Сокол	19.0	5.8	53.7	57.3	27.3	36.9
Сольцы	17.8	6.2	48.6	44.5	33.6	49.3
Старая Русса	13.2	4.3	51.4	41.3	35.4	54.4
Тотьма	19.6	5.4	52.8	54.1	27.6	40.6
Устюжна	16.8	4.3	52.6	53.8	30.6	41.9
Харовск	16.3	3.9	49.6	48.5	34.1	47.6
Холм	18.3	3.8	46.9	44.2	34.8	52.0
Чудово	17.7	5.7	51.4	48.1	30.9	46.2

Источник: Итоги Всероссийской переписи населения 2020 г. (по запросу)

ширных территорий. Такие города, как Красавино и Окуловка могут исчезнуть до конца нынешнего столетия, остальные – на несколько десятилетий позже.

Демографическая нагрузка по малым и средним городам колеблется в значительном диапазоне. Выделяются три группы городов по этому показателю (табл. 4). Критическая ситуация сложилась в третьей группе – не обеспечивается даже простое воспроизводство рабочей силы.

В декабре 2011 г. на международном урбанистическом форуме в Москве Э.С. Набиуллина, будучи в ранге главы Минэкономразвития России, высказала мнение, что число малых и средних городов РФ должно неуклонно сокращаться, а население мигрировать в мегаполисы. Она сообщила, что, по оценкам, в ближайшие 20 лет из малых и средних городов может высвободиться и переедет в крупные города

до 15–20 млн человек, “поэтому нужно серьёзно подумать о специальных проектах по росту качества городской среды городов-миллионников”. На наш взгляд, подобные высказывания недопустимы, ведь таким образом противопоставляются и даже сталкиваются интересы населения малых и средних городов, с одной стороны, и крупнейших городов – с другой, не учитываются интересы людей, родившихся, выросших и живущих в малых городах и не желающих их покидать, разрушается система расселения, которая складывалась исторически и которую необходимо развивать и поддерживать, а не обрекать на исчезновение. Пагубная идея разрушить поселенческую сеть, считая её каркас бесперспективным, переселить людей из привычной среды обитания не только негуманна, но и не отвечает национальным интересам, повлечёт за собой деградацию исторических территорий на северо-западе европейской части России, в колыбели россий-

Таблица 3. Показатели естественного движения населения Вологодской и Новгородской областей в 2000–2023 гг., на 1 000 человек населения

Вологодская область – город							Вологодская область – село					
Годы	2000	2005	2010	2015	2020	2023	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Показатели												
ОКР	9.2	10.3	12.5	15.0	10.1	8.6	7.9	10.9	12.6	10.6	7.2	5.9
ОКС	14.5	16.5	14.5	13.3	14.4	12.9	19.2	24.1	22.0	18.7	19.0	16.0
КЕП\У	-5.3	-6.2	-2.0	1.7	-4.3	-4.3	-11.3	-13.2	-9.4	-8.1	-11.8	-10.1
Новгородская область – город							Новгородская область – село					
Годы	2000	2005	2010	2015	2020	2023	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Показатели												
ОКР	7.8	9.4	11.3	13.0	8.9	7.4	6.8	9.0	11.4	9.2	6.3	5.8
ОКС	17.4	19.5	17.5	16.6	17.5	15.5	26.3	29.7	26.3	19.6	20.0	17.9
КЕП\У	-9.6	-10.1	-6.2	-3.6	-8.6	-8.1	19.5	-20.7	-14.9	-10.4	-13.7	-12.1

Примечание: ОКР – общий коэффициент рождаемости, ОКС – общий коэффициент смертности, КЕП/У – коэффициент естественного прироста/убыли.

Источник: [21, с. 40, 22].

Таблица 4. Демографическая нагрузка, на 1000 человек, 2020 г.

1 группа: 800–900 человек на 1000		2 группа: 901–1000 человек на 1000		3 группа: 1000 человек и больше на 1000	
Город	Значение	Город	Значение	Город	Значение
Вытегра	802	Устюжна	901	Харовск	1016
Грязовец	815	Боровичи	923	Сольцы	1058
Бабаево	828	Валдай	942	Красавино	1074
Никольск	828	Кириллов	942	Холм	1132
Малая Вишера	835	Старая Русса	946		
Кадников	848	Чудово	946		
Великий Устюг	862	Окуловка	972		
Сокол	862	Белозёрск	984		
Тотьма	894				

Источник: Итоги Всероссийской переписи населения 2020 г. (по запросу)

ской государственности и культуры. Близка к этой идее и другая инициатива подобного рода – обеспечить приоритетное развитие 14 крупнейших городов России как опорных центров технологического прогресса. Мы считаем, что, напротив, необходима программа поддержки малых и средних городов, экономического их роста, разработка комплекса мер по сохранению населения и уменьшению миграции из них, по сокращению территориальной социально-экономической дифференциации.

ДИНАМИКА ТРУДОВОГО ПОТЕНЦИАЛА

Структура занятости населения в Вологодской и Новгородской областях существенно отличается от структуры занятости в более крупных регионах и городах. Если в последних велика доля работников финансовой, страховой сфер и операций с недвижимостью, торговли, образования и здравоохранения (например, в Санкт-Петербурге 5.6, 19.0, 7.2, 5.6% соответственно от общей численности занятых), то в указанных областях большинство занятых работают в реальном секторе экономики: в обрабатывающих производствах (19.9% в Вологодской и 19.7% в Новгородской области), на транспорте (7.8%), в строительстве (6.8%), а также в бюджетной сфере – государственном управлении (Вологодская область 6.3%, Новгородская 7.2%).

В настоящем исследовании для анализа занятости населения малых и средних городов в разрезе отраслей и видов экономической деятельности использованы данные социологического опроса населения, а также информация, размещённая в Википедии. На основании этих материалов можно сделать следующие выводы.

Специализацию хозяйства малых и средних городов Северо-Западного федерального округа определяет отраслевая направленность экономики региона. Преобладают предприятия с небольшой численностью занятых, в том числе с участием иностранного капитала. Наиболее развиты в этих городах деревообрабатывающие производства, пищевая и лёгкая промышленность. Распределим все малые и средние города региона на три группы: в первую вошли наиболее “молодые” города с долей лиц моложе трудоспособного возраста 19% и выше; во вторую – города с относительно высокой долей населения в трудоспособном возрасте (52% и более); в третью – города с самым старым населением (более 30% составляют представители старших возрастных групп, то есть почти каждый третий) (табл. 5).

Как видим, несколько городов первой группы попали и во вторую группу – с высокой долей населения в трудоспособном возрасте. Так, в городе Сокол находится крупнейший в Вологодской области центр деревообрабатывающей промышленности по производству целлюлозной бумаги разных сортов, пиломатериалов, деталей домов, фанерной тары, мебели. В городе Бабаево размещён завод электронной техники “Светлана”. В самом “молодом” городе Никольске, где доля молодёжи достигает 22.1%, находится молококомбинат ЗАО “Агрофирма” и пищевой комбинат. В Тотьме работают предприятия пищевой промышленности: хлебокомбинат, маслозавод, цех по производству безалкогольных напитков. Все указанные города, а также Вытегра и Грязовец, вошли и во вторую группу городов с самой высокой долей населения в трудоспособном возрасте, как и Великий Устюг, в котором распо-

Таблица 5. Группировка малых и средних городов по трём укрупнённым возрастным группам населения, 2020 г.

1 группа: города с высокой долей населения моложе трудоспособного возраста		2 группа: города с максимальной долей населения в трудоспособном возрасте		3 группа: города с высокой долей населения старших возрастов	
Город	Значение	Город	Значение	Город	Значение
Никольск	22.1	Вытегра	55.5	Старая Русса	35.4
Бабаево	20.0	Грязовец	55.1	Красавино	35.3
Грязовец	19.8	Никольск	54.7	Холм	34.8
Тотьма	19.6	Бабаево	54.7	Харовск	34.1
Вытегра	19.2	Малая Вишера	54.5	Сольцы	33.6
Окуловка	19.1	Кадников	54.1	Валдай	31.8
Сокол	19.0	Великий Устюг	53.7	Боровичи	31.6
		Сокол	53.7	Кириллов	31.6
				Чудово	30.9
				Устюжна	30.6
				Малая Вишера	30.4

Примечание: пять городов – Никольск, Бабаево, Грязовец, Вытегра, Сокол – входят в первую и вторую группы.

Источник: Итоги Всероссийской переписи населения 2020 г. (по запросу)

ложен крупнейший в стране завод по производству древесных топливных гранул.

Наиболее проблемными с точки зрения демографической перспективы являются города третьей группы. В неё вошли 12 малых и средних городов. Список самых “старых” по возрасту жителей городов возглавляет Старая Русса, где доля пенсионеров достигает 35.4%. В эту группу вошли только два города, не имеющих промышленных предприятий: Валдай – известный туристический центр и Сольцы.

Сохранение масштабов миграции из малых и средних городов, которые сложились за последние 20–30 лет, ускоряет процесс старения населения. Число городов с высокой долей пенсионеров будет возрастать. Возможности для развития промышленности и увеличения спроса на рабочую силу за счёт привлечения иностранного капитала невелики. Последствия дальнейшего оттока населения из малых и средних городов могут быть удручающими: разрушается опорный каркас системы расселения, исторические памятники культуры, утрачивается преемственность поколений.

Малые и средние города Северо-Запада издревле являются культурными центрами России. В них находятся знаменитые памятники архитектуры, например, Кирилло-Белозёрский мужской монастырь в Кириллове, они нередко связаны с именами известных писателей и деятелей культуры, речь идёт о Н.А. Римском-Корсакове, С.В. Рахманинове, Н.С. Гумилёве, О.Ф. Бергольце. В городе Сольцы часто бывали М.М. Пришвин, В.Я. Шишков,

П.И. Чайковский, К.С. Петров-Водкин, Т.Н. Хренников. Тотьма – родина поэта Н.М. Рубцова. Уникальное культурное и творческое наследие нашего народа должно быть сохранено для потомков.

МИГРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ: НАПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ

Ситуацию в малых и средних городах Вологодской и Новгородской областей характеризует миграционная убыль населения (максимальная в Великом Устюге); кое-где отмечен небольшой прирост (максимальный в Харовске) (табл. 6). В целом шесть из 13 городов теряют население. Некоторое сокращение выезда из городов Кириллов, Устюжна и Харовск, скорее всего, связано с возрастной структурой населения: доля людей нетрудоспособного возраста составила здесь в 2022 г. 32, 31 и 33% соответственно [23].

Наиболее тесные миграционные связи городов Вологодской и Новгородской областей, по данным переписи населения 2020 г., сформировались с регионами ЦФО, ПФО и СФО, то есть с территориями со схожими или относительно худшими социально-экономическими условиями (уровень доходов, ситуация на рынке труда, социальная инфраструктура – коммунальная инфраструктура, доступность и качество здравоохранения, образования). Если для Вологодской области основные миграционные партнёры – Ярославская, Костромская и Ивановская области, то для Новгородской – Тверская, Московская и Брянская. Родившиеся в Вологодской и Новгородской областях (данные Всероссийской

Таблица 6. Миграция населения по малым и средним городам Вологодской области, 2020 и 2022 гг., человек

Город	Число прибывших 2022	Число выбывших 2022	Миграционный прирост	Город	2020 выбыло	2022 выбыло	2022 к 2020, %
Бабаево	335	330	5	Бабаево	301	330	110
Белозёрск	128	170	–42	Белозёрск	158	170	107
Великий Устюг	783	910	–127	–			
Вытегра	255	246	9	Вытегра	181	246	136
Кириллов	170	141	29	Кириллов	175	141	80
Никольск	293	268	25	Никольск	276	268	97
Сокол	380	452	–72	–			
Кадников	61	78	–17	–			
Тотьма	398	360	38	Тотьма	317	360	114
Устюжна	89	122	–33	Устюжна	172	122	71
Харовск	239	139	100	Харовск	192	139	72
Красавино	216	217	–1				
Грязовец	294	212	82				

Источник: данные территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Вологодской области (по запросу)

переписи 2020 г.), чаще всего переезжают в соседние области СЗФО, а также ЦФО. Относительно высока доля уроженцев Вологодской и Новгородской областей и в Южных регионах: Краснодарском крае, Ростовской области, встречного потока из которых практически нет (табл. 7, 8).

Данные приведены по регионам, в которых доля выходцев из Вологодской и Новгородской областей выше 1%. В связи с этим не приведены данные о переселившихся из Вологодской области в Калининградскую, Псковскую области, Ненецкий автономный округ; о переселившихся из Новгородской области в Архангельскую область, Республику Коми, Ненецкий автономный округ, хотя миграционные связи с этими регионами достаточно тесные.

Статистическая информация текущего учёта по муниципальным округам доступна лишь по городам, которые составляют полностью городскую местность муниципального округа. В связи с этим можно рассмотреть данные только по следующим городам: Бабаево, Белозёрск, Вытегра, Кириллов, Никольск, Тотьма, Устюжна и Харовск. Показатели уровня образования среди выбывших из этих городов представлены в таблице 9. Среди них (кроме Тотьмы) преобладают люди с высшим и средним профессиональным образованием, затем – со сред-

ним общим образованием. Очевидны качественные потери человеческого капитала малых городов.

Причины переезда из малых городов Вологодской области можно проследить по данным текущего учёта муниципальных образований (табл. 10, 11): в основном это желание получить образование и поиск работы. Именно отсутствие таких возможностей у себя является неким выталкивающим фактором при переезде. К числу личных причин относятся и семейные обстоятельства: изменение места работы одного из супругов, вступление в брак, забота о детях или о пожилых родителях. Упоминают и экологические проблемы или желание жить в более благоприятных климатических условиях.

Из данных текущего учёта о причинах въезда и выезда из малых и средних городов следует, что тот немногочисленный контингент населения, который приезжает в эти города, движим причинами семейного характера. Возвращение не связано с учёбой (кроме города Тотьма), мало связано с наличием мест приложения труда (максимально в Вытегре и Кириллове – 7 и 6%), в то время как выезд продиктован, помимо семейных обстоятельств, именно стремлением получить образование или работу (от 20 до 36% в сумме по этим двум причинам). Исключение составляет город Тотьма, где есть востребо-

Таблица 7. Ранжирование регионов въезда уроженцев Вологодской области, численность и доля в общей численности не местных уроженцев, по состоянию на 2020 г.

Регионы въезда	Численность проживающих уроженцев Вологодской обл., человек	В % к общей численности не местных уроженцев
г. Санкт-Петербург	23 962	14.5
Архангельская обл.	16 477	10.0
Ленинградская обл.	16 183	9.8
Мурманская обл.	12 419	7.5
г. Москва	9 234	5.6
Московская обл.	8 681	5.3
Ярославская обл.	6 694	4.1
Республика Карелия	6 150	3.7
Волгоградская обл.	5 252	3.2
Краснодарский край	4 480	2.7
Республика Коми	4 474	2.7
Ростовская обл.	2 669	1.6
Новгородская обл.	2 177	1.3
Тюменская обл.	2 061	1.2
Костромская обл.	1 977	1.2
Свердловская обл.	1 975	1.2
Кировская обл.	1 854	1.1
Тверская обл.	1 829	1.1

Источник: итоги Всероссийской переписи населения 2020 г. (по запросу)

Таблица 8. Ранжирование регионов въезда уроженцев Новгородской области, численность и доля в общей численности не местных уроженцев, по состоянию на 2020 г.

Регионы въезда	Численность проживающих уроженцев Новгородской обл., человек	В % к общей численности не местных уроженцев
г. Санкт-Петербург	30 394	31.6
Ленинградская обл.	16 248	16.9
г. Москва	5 493	5.7
Московская обл.	5 161	5.4
Тверская обл.	3 273	3.4
Краснодарский край	2 468	2.6
Мурманская обл.	2 411	2.5
Псковская обл.	2 386	2.5
Вологодская обл.	1 317	1.4
Республика Карелия	1 297	1.3
Новосибирская обл.	1 249	1.3
Калининградская обл.	1 184	1.2
Нижегородская обл.	1 114	1.2
Ростовская обл.	1 026	1.1

Источник: Итоги Всероссийской переписи населения 2020 г. (по запросу)

Таблица 9. Распределение выбывших из малых и средних городов Вологодской области по уровню образования, 2014–2022 гг., человек

Город	Высшее профессиональное (высшее)	Неполное высшее профессиональное (незаконченное высшее)	Среднее профессиональное (среднее специальное)	Начальное профессиональное	Среднее общее (полное)	Основное общее (среднее общее неполное)	Начальное общее (начальное) и не имеющие образования
Бабаево	382	66	495	30	263	150	29
Белозёрск	196	41	245	25	149	78	22
Вытегра	213	50	320	26	202	86	17
Кириллов	201	21	273	26	166	75	34
Никольск	277	63	447	32	203	186	134
Тотьма	329	66	382	30	205	531	20
Устюжна	272	37	312	26	191	74	11
Харовск	267	56	300	24	205	124	38

Источник: данные территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Вологодской области (по запросу)

ванные среди молодёжи учебные заведения (правда, возможно, что в данном случае имеет значение особенность учёта причин миграции).

Официальные данные органов статистики основаны на формализованной анкете, поэтому для более точного понимания факторов и причин отъезда из малых и средних городов следует воспользоваться данными социологического исследования. В рамках

проведённого весной 2024 г. опроса собрано 200 анкет, заполненных жителями 11 субъектов СЗФО. Почти половина респондентов (45%) связывает свой переезд с поиском работы с более высокой заработной платой, которую практически невозможно получить в родном городе. Желание повысить комфортность условий жизни стало причиной переезда 40% опрошенных. Учитывая молодой возраст

Таблица 10. Причины переселения из малых и средних городов Вологодской области, 2020–2022 гг., %

Город	В связи с учёбой	В связи с работой	Возвращение на прежнее место жительства	Причины личного, семейного характера	Иные причины		Возвращение после временного отсутствия
					всего	в том числе приобретение жилья (покупка, наследование и т.п.)	
Бабаево	14	11	1	34	8	7	32
Белозёрск	16	16	5	34	12	8	17
Вытегра	17	10	2	46	13	11	13
Кириллов	13	7	1	24	13	12	41
Никольск	15	10	1	37	17	16	19
Тотьма	9	8	1	25	9	8	47
Устюжна	13	16	1	34	11	9	24
Харовск	14	10	2	43	10	10	20

Источник: данные территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Вологодской области (по запросу)

Таблица 11. Причины переезда населения в малые и средние города Вологодской области, 2020–2022 гг., %

Город	В связи с учёбой	В связи с работой	Возвращение на прежнее место жительства	Причины личного, семейного характера	Иные причины		Возвращение после временного отсутствия
					всего	в том числе приобретение жилья (покупка, наследование и т.п.)	
Бабаево	0	7	2	48	9	8	35
Белозёрск	1	2	1	26	6	4	64
Вытегра	1	7	4	29	18	18	41
Кириллов	11	6	5	27	14	14	36
Никольск	10	3	4	31	17	15	35
Тотьма	28	3	1	29	15	14	25
Устюжна	0	3	3	24	3	1	66
Харовск	0	3	2	42	13	10	40

Источник: данные территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Вологодской области (по запросу)

мигрантов, неудивительно, что для многих из них причиной переезда стало стремление к жизненным переменам и новизне (поиск счастья). Но главное для молодёжи – необходимость получить более качественное образование (39%), чем это возможно в родном городе. Получение не только более высокооплачиваемой, но и интересной, содержательной работы по специальности – ещё один серьёзный мотив переезда в более крупные города (на это указала треть опрошенных).

Самым сильным сдерживающим от переезда фактором, особенно для женщин, стало нежелание отрываться от родителей, других родственников, друзей, привычного образа жизни. Респонденты, имеющие детей, как и ожидалось, менее склонны

к перемене места постоянного проживания. Для тех, кто готов покинуть родные места, ограничивающим обстоятельством часто становится отсутствие материальной возможности. Можно предположить, таким образом, что повышение уровня жизни, с одной стороны, способно подстегнуть миграционные намерения населения, с другой – будет действовать как тормозящий фактор, который снижает потенциальную территориальную мобильность местных уроженцев и способствует удержанию мигрантов.

* * *

По данным официального статистического учёта демографических процессов, опубликованных в ЕМИСС [24], за 20 лет – с 2000 по 2020 г. – числен-

ность населения Вологодской области сократилась с 1319.2 до 1142.0 тыс. человек, а городского населения, которое проживает главным образом в малых и средних городах, — с 916.0 тыс. до 837.2 тыс. человек. Численность населения Новгородской области сократилась с 718.6 тыс. человек в 2000 г. до 571.4 тыс. в 2024 г., то есть это один из самых малонаселённых регионов (по плотности населения — 13.8 чел./км² в 1989 г. против 10.49 в 2024 г.). К общему сокращению численности населения приводят как естественная убыль (превышение смертности над рождаемостью), так и миграционная убыль. Исчерпывается основной источник роста сельского населения — естественный прирост, обусловленный прежде высокой рождаемостью, а следовательно, исчезает источник демографической подпитки городов. Численность сельского населения Новгородской области снизилась с 2000 г. на 22% (с 403.2 до 313.8 тыс. человек). Исторически традиционные и сообразно демографическим закономерностям более высокие показатели рождаемости и естественного прироста населения в сельской местности вот уже на протяжении более трёх десятилетий сменились на столь низкие, что не обеспечивают даже простое воспроизводство населения. Не последнюю роль здесь играют ограниченная сфера занятости, относительно низкий уровень оплаты труда и уровень жизни. На наш взгляд, приостановить пагубные процессы может привлечение инвестиций для развития современных и традиционных видов экономической деятельности, что требует государственной поддержки ныне депрессивных регионов, которые, однако, столь значимы в культурном и историческом отношении. Социально-экономическое развитие малых и средних городов, безусловно, связанное с инвестициями, государственными стратегиями и программами, может приостановить миграционную убыль населения европейского северо-запада России.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Переведенцев В.И.* Методы изучения миграции населения. М.: Наука, 1975.
Perevedentsev V.I. Methods for studying population migration. Moscow: Nauka, 1975. (In Russ.)
2. *Моисеенко В.М.* Очерки изучения миграции населения в России во второй половине XIX — начале XX столетия. М.: ТЕИС, 2008.
Moiseenko V.M. Essays on the study of population migration in Russia in the second half of the 19th - early 20th centuries. Moscow: TEIS, 2008. (In Russ.)
3. *Заславская Т.И., Рыбаковский Л.Л.* Процессы миграции и их регулирование в социалистическом обществе // Социологические исследования. 1978. № 1. С. 56–65.
Zaslavskaya T.I., Ribakovskiy L.L. (1978) Migration functions and their regulation in socialist society. Sociological studies, no. 1, pp. 56–65. (In Russ.)
4. *Рыбаковский Л.Л.* Миграция населения: учебное пособие для вузов. М.: Юрайт, 2020.
Rybakovsky L.L. Population migration: textbook for universities. Moscow: Urait Publishing House, 2020. (In Russ.)
5. *Рязанцев С.В.* Демографические перспективы России. М.: Экон-информ, 2008.
Ryazantsev S.V. Demographic prospects of Russia. Moscow: Econ-Inform, 2008. (In Russ.)
6. *Воробьёва О.Д., Рыбаковский Л.Л., Рыбаковский О.Л.* Миграционная политика России: учеб. пособие для бакалавров и магистратуры. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2018.
Vorobieva O.D., Rybakovsky L.L., Rybakovsky O.L. Migration policy of Russia: textbook for bachelors and masters. 2nd ed., rev. and add. Moscow: Urait Publishing House, 2018. (In Russ.)
7. Миграция населения: теория и политика. Учеб. пос. / Под ред. О.Д. Воробьёвой и А.В. Топилина. М.: Экономическое образование, 2012.
Vorobieva O.D., Topilin A.V. (ed.) Population migration: theory and policy (textbook). Moscow: Ekonomicheskoye obrazovaniye, 2012. (In Russ.)
8. *Нефёдова Т.Г., Стрелецкий В.Н., Тревиш А.И.* Поляризация социально-экономического пространства современной России: причины, направления и последствия // Вестник Российской академии наук. 2022. № 6. С. 551–563.
Nefedova T.G., Streletskiy V.N., Treivish A.I. Polarization of Modern Russia's Socioeconomic Space: Causes, Trends, and Consequences. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2022, no.6, pp. 551–563. (In Russ.)
9. *Мкртчян Н.В.* Миграция молодёжи из малых городов России // Мониторинг. 2017. № 1 (137). <https://cyberleninka.ru/article/n/migratsiya-molodezhi-iz-malyh-gorodov-rossii>
Mkrтчян N.V. The youth migration from small towns in Russia. Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes. 2017, no. 1. <https://cyberleninka.ru/article/n/migratsiya-molodezhi-iz-malyh-gorodov-rossii> (In Russ.)
10. Пространственное развитие малых городов: социальные стратегии и практики / Отв. ред. М.Ф. Черныш, В.В. Маркин; предисл. М.К. Горшкова. М.: ФНИСЦ РАН, 2020. DOI: 10.19181/monogr.978-5-89697-335-5.2020
Spatial development of small towns: social strategies and practices / Ed. by M.F. Chernysh, V.V. Markin; preface by M.K. Gorshkov. Moscow: FNISTC RAS, 2020. (In Russ.)
11. *Фролова Т.А.* Понятие “город” в законодательстве субъектов Российской Федерации об административно-территориальном делении // Пролог: журнал о праве. 2016. № 3. <https://cyberleninka.ru/article/n/>

- ponyatie-gorod-v-zakonodatelstve-subektov-rossiyskoy-federatsii-ob-administrativno-territorialnom-delenii
- Frolova T.A.* The concept City in the legislation of subjects of the Russian Federation on administrative and territorial division. Prologue: Law Journal. 2016, no. 3, pp. 51–55. <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-gorod-v-zakonodatelstve-subektov-rossiyskoy-federatsii-ob-administrativno-territorialnom-delenii/viewer> (In Russ.)
12. Собственная логика городов: Новые подходы в урбанистике / Под ред. Х. Беркинга, М. Лев. М.: Новое литературное обозрение, 2017.
Berking H. Own logic of cities: New approaches in urban studies. Moscow: New Literary Review, 2017. (In Russ.)
 13. *Ланно Г.М.* География городов. М.: Издательский центр “ВЛАДОС”, 1997.
Lappo G.M. (1997). Geography of cities. Moscow: Publishing center “VLADOS”, 1997. (In Russ.)
 14. *Секушина И.А.* Теоретические подходы к классификации малых и средних городов России // Научный вестник ЮИМ. 2019. № 2. <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-podhody-k-klassifikatsii-malyh-i-srednih-gorodov-rossii>
Sekushina I.A. (2019). Theoretical approaches to the classification of small and medium-sized cities of Russia. Scientific bulletin of the Southern Institute of Management. 2019, no. 2, pp. 84–93. <https://doi.org/10.31775/2305-3100-2019-2-84-93> (In Russ.)
 15. *Топилин А.В., Воробьёва О.Д., Максимова А.С.* Воспроизводство трудового потенциала в период депопуляции 2019–2035 гг. и компенсирующая роль миграционного фактора // Статистика и Экономика. 2019. № 16(5). С. 70–84. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2019-5-70-84>
Topilin A.V., Vorob'eva O.D., Maksimova A.S. (2019). The labor potential reproduction in depopulation period of 2019–2035 and the compensating role of migration. Statistics and Economics. 2019, no. 16(5), pp. 70–84. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2019-5-70-84> (In Russ.)
 16. *Мкртчян Н.В.* Миграция молодёжи из малых городов России // Мониторинг. 2017. №1 (137). <https://cyberleninka.ru/article/n/migratsiya-molodezhi-iz-malyh-gorodov-rossii>
Mkrтчyan N.V. (2017). The youth migration from small towns in Russia. Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes. 2017, no. 1. <https://cyberleninka.ru/article/n/migratsiya-molodezhi-iz-malyh-gorodov-rossii> (In Russ.)
 17. Итоги Всероссийской переписи населения 2020 года. <https://rosstat.gov.ru/vpn/2020>
 18. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282>
Population of the Russian Federation by municipalities. Retrieved from <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282>
 19. Демографическое самочувствие регионов России. Национальный демографический доклад-2021 / Отв. ред. Т.К. Ростовская, А.А. Шабунова. М.: ФНИСЦ РАН, 2021.
Demographic well-being of Russian regions. National Demographic Report-2021 / Т.К. Rostovskaya, А.А. Shabunova et al.; ed. Т.К. Rostovskaya, А.А. Shabunova. Moscow: FCTAS RAS, 2021. DOI: 10.19181/monogr.978-5-89697-369-0.2021. Retrieved from <https://www.fnisc.ru/publ.html?id=10111>
 20. Численность и миграция населения Российской Федерации: стат. бюллетень // Фед. служба гос. статистики. <https://rosstat.gov.ru/folder/11110/document/13283>
Population size and migration of the Russian Federation: stat. bulletin / Federal State Statistics Service. Retrieved from <https://rosstat.gov.ru/folder/11110/document/13283>
 21. Статистический ежегодник Вологодской области. 2020. Росстат. [https://35.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ежегодник%202020\(1\).pdf](https://35.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ежегодник%202020(1).pdf)
Statistical yearbook of the Vologda region. 2020. Rosstat. Retrieved from [https://35.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ежегодник%202020\(1\).pdf](https://35.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ежегодник%202020(1).pdf)
 22. Естественное движение населения в Вологодской области в 2023 году // Росстат. <https://35.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Естественное%20движение%20населения%20Вологодской%20области%20в%202023%20году.pdf>
Natural population movement in the Vologda region in 2023. Rosstat. Retrieved from <https://35.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Естественное%20движение%20населения%20Вологодской%20области%20в%202023%20году.pdf>
 23. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Вологодской области. <https://35.rosstat.gov.ru/folder/31463>
Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Vologda Region. Retrieved from <https://35.rosstat.gov.ru/folder/31463>
 24. Единая межведомственная информационно-статистическая система // Федеральная служба гос. статистики. <https://fedstat.ru>
 25. Unified interdepartmental information and statistical system / Federal State Statistics Service. Retrieved from <https://fedstat.ru>

MIGRATION LOSSES AND REPRODUCTION OF THE POPULATION OF SMALL AND MEDIUM CITIES OF NORTH-WEST RUSSIA

O.D. Vorobieva^{a,*}, A.V. Topilin^{a,**}, V.A. Ustinova^{b,***}

^a*Institute for Demographic Research FCTAS, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

**E-mail: 89166130069@mail.ru*

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

****E-mail: valeria.ustinova.2014@mail.ru*

The article is devoted to the analysis of trends in two components of population change – its reproduction and migration in small and medium-sized cities in the north-west of European Russia (using the example of cities in the Vologda and Novgorod regions). Following the demographic compression of rural settlements and their disappearance, a similar process affect the small and medium-sized cities of the ancient cultural, historical and economic centers of Russia. The causes and consequences of socio-economic deformations of traditional Russian territories identified. It is proposed to reconsider key approaches to the development of the urban settlement network in the region, measures of stabilization of the population and labor resources, improvement of the age structure, and increasing the migration attractiveness of small and medium-sized cities.

Keywords: population of small and medium-sized cities, population reproduction, migration, urban settlement network.

“В НАШЕМ ДЕЛЕ НЕТ МЕЛОЧЕЙ”

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА В.П. МАКЕЕВА

© 2024 г. В.Г. Дегтярь^{а,*}

^аАО “Государственный ракетный центр
имени академика В.П. Макеева”, Миасс, Россия

*E-mail: src@makeyev.ru

Поступила в редакцию 17.05.2024 г.

После доработки 16.06.2024 г.

Принята к публикации 02.09.2024 г.

Статья знакомит с вехами жизненного пути академика В.П. Макеева (1924–1985) – выдающегося учёного и конструктора, основоположника отечественной школы морского ракетостроения, дважды Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской и трёх Государственных премий СССР, внёсшего большой вклад в создание ракетно-ядерного щита нашей страны. В течение 22 лет Макеев возглавлял Конструкторское бюро машиностроения в г. Миассе Челябинской области. За эти годы здесь были созданы три поколения баллистических ракет подводных лодок и стратегических морских ракетных комплексов, послуживших основой становления и развёртывания одного из главных компонентов стратегических ядерных сил страны. Выполненные под руководством и при участии Макеева исследования и разработки по тонкостенным оболочкам из композиционных материалов признаны президиумом АН СССР одним из важнейших достижений в области механики за 1981–1985 гг. Значителен вклад В.П. Макеева в дело воспитания молодых специалистов высокого научно-технического уровня. При подготовке статьи автор использовал воспоминания коллег В.П. Макеева.

Ключевые слова: В.П. Макеев, Конструкторское бюро машиностроения, отечественная школа морского ракетостроения, ракетно-ядерный щит, проектирование и отработка ракетной техники, испытания, композиционные материалы, стратегические морские ракетные комплексы.

DOI: 10.31857/S0869587324100083, EDN: ERNKNB

“Всегда берите на себя самую трудную и сложную задачу, иначе успеха не достигнете”.

В.П. Макеев

Имя академика В.П. Макеева – выдающегося учёного и конструктора, основателя отечественной школы морского ракетостроения – неразрывно связано с предприятием, образованным в 1947 г. на Урале в связи с разработкой в СССР атомного проекта. Специальное конструкторское бюро № 385 (ныне АО “ГРЦ Макеева”) было призвано в сжатые сроки создать ракетно-ядерный щит страны для обеспечения её безопасности.

Виктор Петрович Макеев родился 25 октября 1924 г. в деревне Протопопово Коломенского рай-



Виктор Петрович Макеев (1924–1985)

ДЕГТЯРЬ Владимир Григорьевич – академик РАН, генеральный директор, генеральный конструктор АО “ГРЦ Макеева”.

она (ныне один из районов Коломны) Московской области в семье потомственного рабочего. Окончив 7 классов, работал учеником чертёжника на Московском авиационном заводе № 22. В 1941 г. после эвакуации завода сдал экстерном экзамены за 10 классов и поступил на вечернее отделение Казанского авиационного института. Здесь он проявил способности успешно решать конструкторские задачи в условиях напряжённого серийного производства самолёта Пе-2, за что был награждён медалью “За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.”. В 1944 г. он перевёлся на дневное отделение Московского авиационного института, а после его окончания отучился на Высших инженерных курсах при МВТУ им. Н.Э. Баумана.

В 1947 г., в период дипломного проектирования, Макеев был принят на работу в Особое конструкторское бюро С.П. Королёва (ОКБ-1). Вся его дальнейшая деятельность, кроме двух лет работы инструктором отдела рабочей молодёжи ЦК ВЛКСМ (1950–1952), связана с проектированием и отработкой ракетной техники.

В формировании будущего учёного и конструктора решающую роль сыграл основоположник практической космонавтики С.П. Королёв, ставший для него не только учителем, но и примером, образцом поведения, отношения к работе и людям. Знакомство и совместная работа с Сергеем Павловичем определили судьбу молодого инженера. Королёв быстро оценил незаурядные творческие и организаторские способности Макеева и в 1952 г. назначил его ведущим конструктором одного из новых комплексов, который разрабатывало ОКБ-1.

В 1955 г. с лёгкой руки С.П. Королёва 30-летний Макеев был направлен на Урал, в СКБ-385. При этом решительно заявил, что поедет только на должность главного конструктора. Кроме того, он заручился поддержкой Королёва при отборе специалистов из состава ОКБ-1 на ключевые позиции в новое СКБ-385. (Тогда С.П. Королёв не был удовлетворён работой этого конструкторского бюро, за короткое время в нём сменилось несколько руководителей.)

С приходом Виктора Петровича СКБ-385 были переданы работы по ракетам Р-11, Р-11М, Р-11ФМ. Макеев сразу занялся созданием первой морской баллистической ракеты Р-11ФМ по проекту королёвского ОКБ-1. По предложению ряда флотских специалистов были проведены доработка и испытания ракеты Р-11, которая изначально предназначалась для сухопутных войск, применительно к пуску с подводной лодки. Для таких испытаний на полигоне Капустин Яр были построены неподвижный стенд в виде рубки и качающийся стенд, имитирующий условия старта ракеты с подводной лодки. Испытания прошли успешно. Первый пуск с морской стартовой позиции состоялся 16 сентября 1955 г., а чуть раньше, в августе того же года, было принято правительственное постановление



В годы учёбы в Московском авиационном институте. Конец 1940-х годов

о создании ракеты Р-11ФМ с надводным стартом. Проектная документация на неё была разработана в ОКБ-1 НИИ-88, а сама ракета доведена до серийного производства СКБ-385. Так С.П. Королёв передал важнейшее направление – морское ракетостроение – своему ученику В.П. Макееву [1].

Заслуженный работник АО “ГРЦ Макеева”, бывший начальник проектного отдела, доктор технических наук Н.А. Обухов вспоминал: “В.П. Макеев очень хорошо понимал, что для достижения результатов мало желания главного конструктора, необходим коллектив разработчиков, умеющих творчески и масштабно мыслить. И такой коллектив он создал, начиная с первых шагов главного конструктора. Пожалуй, главное, что сделал Виктор Петрович при организации деятельности коллектива КБ, это то, что он создал атмосферу общественного признания людей, способных что-то самостоятельно создавать, организовывать и внедрять. Благодаря этому был создан удивительный коллектив, который под его руководством творил почти невозможное” [1, с. 10].

Макеев начал с того, что вник во все особенности проектирования в КБ и производства на заводе. Часто его можно было видеть на рабочих местах. Те, кому пришлось работать с ним в то время, вспоминают, что работы по выпуску ракет велись зачастую круглосуточно. Виктор Петрович появлялся в цехе даже в ночное время, внимательно выслушивал специалистов по системам, казалось бы, далёким от его основной специальности, например телеметристов, вникая во все тонкости их работы.

Однако карьера главного конструктора на начальном этапе складывалась непросто. В 1956 г. Макееву пришлось отчитываться на коллегии Министерства общего машиностроения за срыв изготовления ракет Р-11. Драматичным выдался и 1957 год: ракеты падали, разрушались топливные баки. На первый раз главный конструктор наказан не был, в соответствии с правительственным решением ему поручили изготовить пять ракет. Были созданы инженерные бригады, обеспечившие контроль изготовления узлов и сборки ракет. Инженерный контроль в практике КБ сыграл очень важную роль при создании последующих ракетных комплексов.

Первая советская морская ракета Р-11ФМ с надводным стартом была принята на вооружение в феврале 1959 г. К разработке ракеты Р-13 с дальностью стрельбы, в 4 раза превосходящей дальность ракеты Р-11ФМ, с большой эффективностью боезаряда, СКБ-385 приступило в 1955 г. Эта вторая морская ракета, отработка и испытания которой проводились самостоятельно СКБ-385, принята на вооружение в октябре 1960 г. Старт ракеты был надводным.

Через два с половиной года Макеев сдал на вооружение первую ракету с подводным стартом — Р-21. А в промежутке успел создать оперативно-тактическую ракету Р-17, известную под кодовым наименованием НАТО “Scud-B”. При всех имевшихся трудностях становление нового ракетного конструкторского бюро и его главного конструктора заняло всего одну пятилетку. Решение о специализации СКБ-385 в создании баллистических ракет с подводным стартом было принято Советом обороны в 1958 г. по докладу Макеева [2].

Виктор Петрович так вспоминал об итоге этих работ: “Ракеты Р-13 и Р-21 сыграли определённую роль в балансе стратегических сил в 60-е годы. При разработке названных комплексов и ракет родилась кооперация, отработано взаимодействие многочисленных научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, заводов-изготовителей, испытательных полигонов. Вместе с тем эти комплексы заложили основу дальнейшего развития и совершенствования стратегического морского ракетного оружия” [1, с. 13].

В короткие сроки СКБ-385 (КБМ с 1967 г.) стало головной научно-конструкторской организацией страны по созданию ракетных комплексов в интересах Военно-Морского Флота.

Макеев был признанным лидером среди руководителей огромной кооперации разработчиков систем комплексов. Обладая природной интуицией, не боясь брать основную тяжесть ответственности на себя, он своим примером поднимал большие коллективы на решение сложных научно-технических задач. Так сложилась самостоятельная область отечественной науки и техники — школа морского ракетостроения, которая достигла мирового приоритета в ряде тактико-технических характеристик

и конструктивно-компоновочных решений по ракетам, системам управления, стартовым системам, обеспечила организацию и сопровождение серийного производства и эксплуатации стратегических морских ракетных комплексов на флотах. В числе этих приоритетных решений — размещение двигателей внутри баков горючего или окислителя, прочноплотная компоновка ракеты с минимизацией объёмов, не используемых под топливо, применение астрор-, радиокоррекции траектории полёта на боевых ракетах, использование поясной амортизации из эластомерных материалов, заводская заправка ракеты топливом с ампулизацией баков, транспортировка ракет в заправленном состоянии с заводов-изготовителей [3].

Определения “первый”, “впервые”, “наивысший” стали для разработок КБМ привычными. Под руководством В.П. Макеева здесь были созданы: первая малогабаритная ракета с “утопленным” в горючем двигателем; первая ракета с заводской заправкой компонентами топлива и с ампулизацией баков сваркой (Р-27); первая морская ракета с кассетной (трёхблочной) головной частью (Р-27У); первая двухступенчатая ракета с цельносварным корпусом и “утопленными” как в горючем, так и в окислителе двигателями; первая морская всепогодная ракета; первая ракета с подводным и надводным стартами; первая ракета, стартующая из высоких широт Арктики; первая морская межконтинентальная ракета; первая боевая ракета с астрокоррекцией траектории полёта (Р-29); единственная в мире баллистическая ракета с самонаведением на корабли (Р-27К); первая морская межконтинентальная ракета с разделяющейся головной частью (Р-29Р); первая отечественная твердотопливная БРПЛ межконтинентальной дальности стрельбы с разделяющейся головной частью (Р-39); наивысшее энергомассовое совершенство достигнуто на ракете Р-29РМ и её модернизации Р-29РМУ.

“С особым чувством я вспоминаю академика Виктора Петровича Макеева. Я благодарен судьбе за то, что свела меня с этим человеком. Это была яркая во всех проявлениях личность. Именно он стал во главе целого научно-технического направления — создание баллистических ракет подводных лодок. Он создал конструкторскую школу, одну из лучших в стране. Наше предприятие разрабатывало системы управления для всех макеевских ракет, в том числе для сухопутного СКАДа. С Макеевым было очень интересно работать. Он выдвигал очень оригинальные технические идеи, мог убедить в правильности выбранного решения; он зажигал всех своими проектами, все сотрудничающие с ним чувствовали глубину замысла и старались в своих системах воплотить лучшие конструкторские проработки. Выкладывались, как говорят, на все сто. Потому-то макеевские ракеты с нашими системами управления относятся к выдающимся образцам



В.П. Макеев на выездном совещании в КБМ с участием Главнокомандующего ВМФ адмирала флота С.Г. Горшкова (первый слева) и Министра общего машиностроения СССР С.А. Афанасьева (третий слева) 1979 г.

ракетной техники. <...> Успешно взаимодействуя с большими коллективами, Виктор Петрович безошибочно видел в их среде одарённых и честных людей, относился к ним особенно тепло и всячески помогал их дальнейшему росту. Впоследствии многие из них стали крупными учёными, руководителями, организаторами. Человеческий фактор вообще был главенствующим в деятельности В.П. Макеева, намного раньше других понявшего значение социальных и бытовых проблем для решения производственных задач, особенно таких, которые связаны с экстремальными условиями. При этом самым естественным образом он как руководитель становился эталоном совести и гражданского мужания коллектива. Мы, работавшие с ним бок о бок руководители, без тени ревности наблюдали, как наши люди тянулись к нему и как он признавал их за своих”, – рассказывал главный конструктор НПО автоматики, академик АН СССР/РАН Н.А. Семихатов [4, с. 316].

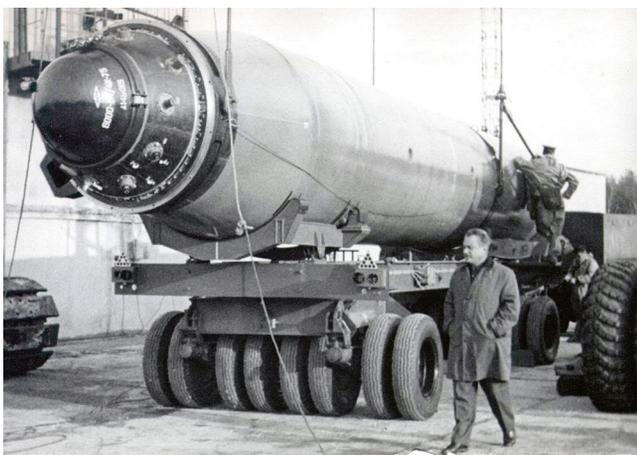
Главный итог производственной деятельности генерального конструктора В.П. Макеева и руководимого им коллектива – создание трёх поколений баллистических ракет подводных лодок и стратегических морских ракетных комплексов, послуживших основой становления и развёртывания одного из главных компонентов стратегических ядерных сил нашей страны [3]. За создание морских ракетных комплексов Государственный ракетный центр награждён орденом Трудового Красного Знамени, орденом Ленина, орденом Октябрьской революции.

Об упорстве и настойчивости В.П. Макеева в достижении поставленных целей бывший заместитель генерального конструктора Е.Б. Бураков вспоминал: “Всех измотал пуск ракеты Р-29Р с наземного стартового комплекса. Он проходил особенно драматично: три несостоявшихся старта. Каждый раз объявлялась готовность по всему полигону, привлекались сотни специалистов, происходила эвакуация жителей, военных строителей и гражданского состава. Настроение в экспедиции было ужасное. Море могло покрыться льдом. Отступить было некуда. Виктор Петрович обратился к министру обороны А.А. Гречко и министру общего машиностроения С.А. Афанасьеву с просьбой провести пуск 5 декабря – в День Конституции. Можно только представить, чем он рисковал в случае неудачи. Пуск прошёл успешно, но он вымотал всех. Наверное, труднее всех было Виктору Петровичу. Когда ему доложили об отделении последнего блока на траектории, у него в глазах мелькнули слёзы – такова была цена невероятного напряжения, риска и веры в своё дело” [4, с. 308].

А вот как рассказывает о Макееве его ученик, лауреат Государственной премии СССР, бывший ведущий конструктор А.Л. Зайцев: «После испытания очередного изделия на полигоне, к примеру, если обнаруживался какой-то дефект, неисправность, Виктор Петрович забирал необходимых специалистов и вылетал в Красноярск. Он стремился к тому, чтобы обнаруженный дефект был устранён на всех последующих изделиях. Испытание изделий на по-

лигоне — это заключительный этап отработки ракеты. Заключительный этап работы коллективов КБ, заводов, всей кооперации в целом. Ответственность огромная, и Виктор Петрович придавал этому большое значение. Он учил нас: “В нашем деле мелочей не бывает. Мы должны разбираться досконально во всём”. Его золотое правило: “В каждой ошибке производства надо искать дефект конструкции”. И ещё он говорил: “На бумаге может быть трудно, может быть легко, на практике — трудно всегда”, “Необходимо любой вопрос, решение смотреть в комплексе”, “Ставить перед собой предельные задачи”, “В творческом деле нужны творцы, а не подчинённые”. Этими макеевскими уроками я руководствуюсь всю жизнь» [5, с. 8].

Как отмечал первый заместитель Макеева Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии В.Л. Клейман, генеральный конструктор иногда вынужден был принимать сложные непопулярные решения: “По 19-й машине мы сделали несколько корпусов и начали проводить испытания. Начались обрывы кабелей. И Макеев в тот период принял решение остановить испытания и перейти на навесную БКС (бортовую кабельную сеть). Не каждый генеральный конструктор может пойти на такой шаг. Я, кстати, в тот период очень колебался. Министерство не понимало, как можно снять машину с испытаний. Но он настоял на своём. Нас поддержал тогда и завод. Кстати, Макеев сам нарисовал все эти эскизы. Мы очень быстро организовали производство, сделали, и вот до сих пор существуют ракеты с так называемой навесной БКС. Это был стиль Макеева: ошибся — исправляй. Это волевое решение, на мой взгляд, было оправданным. В этом был весь Макеев: вовремя принять решение, вовремя принять какие-либо коррективы по этому решению, вовремя настроить коллектив на выполнение задач и вовремя организовать контроль за этим делом” [5, с. 4, 5].



Перед отправкой ракеты Р-29. 1973 г.

Необходимым условием достижения надёжных результатов являлась система конструкторских отработок. “Отрабатывать всё на земле” — эту концепцию Макеев перенёс в своё КБ от Королёва. Высокая степень наземной отработки стала отличительной чертой всех макеевских разработок. Макеев понимал, что по всем направлениям нужно иметь свою базу, и добивался её строительства в полном объёме. Он стремился сделать так, чтобы лётные испытания на полигоне были лишь подтверждением правильности и достаточности экспериментальной отработки на земле.

Сегодня экспериментальная база ГРЦ — это мощный по своим уникальным возможностям комплекс. Комплекс гидродинамических испытаний, вакуумно-динамический стенд, гидродинамический бассейн, комплекс вибрационных и ударных испытаний и ряд других объектов позволяют проводить полномасштабные испытания образцов ракетно-космической техники вплоть до имитации полёта в условиях вакуума и невесомости, а также испытания на все виды эксплуатационных воздействий. В 2019 г. введён в строй новый корпус опытного производства и экспериментальной технологии для решения задач АО “ГРЦ Макеева” по ракетно-космической тематике, по разработке материалов и передовых технологий, изготовлению опытных образцов и малых партий изделий, обеспечению экспериментальных и доводочных работ. Это опорная площадка инновационного сектора для внедрения в производстве перспективных технологий в Уральском регионе, которая укрепила статус ГРЦ как крупнейшего федерального научно-производственного и научно-технологического центра в области ракетно-космической техники.

Виктор Петрович Макеев вёл плодотворную научную деятельность. С 1959 г. — кандидат технических наук, с 1965 г. — доктор технических наук, с 1968 г. — профессор, член-корреспондент АН СССР, с 1976 г. — действительный член АН СССР. Он чётко понимал, что реализация новейших конструкторских решений, опережающее развитие технологий требуют привлечения многих научных и проектных организаций для совместных исследований в области аэродинамики и тепло-, массообмена, динамики и управления, материаловедения и прочности, проектирования и испытаний сложных технических систем. Полученные научные результаты ложились в основу опытно-конструкторских работ, проверялись многочисленными испытаниями и после анализа и оценки фиксировались в конструкторской документации [3].

В.П. Макеев стал инициатором организации сотрудничества Академии наук, отраслей промышленности, высшей школы в области механики конструкций из композиционных материалов. Созданный при его участии и возглавлявшийся им с 1977 по 1985 г. соответствующий научный совет

АН СССР играл важную роль в координации научных исследований и проведении расчётно-экспериментальных работ с целью создания методов расчёта, проектирования и испытаний конструкций из композиционных материалов для авиационной и ракетно-космической техники. Выполненные под руководством Макеева исследования и разработки по тонкостенным оболочкам из композиционных материалов признаны президиумом АН СССР одним из важнейших достижений в области механики за 1981–1985 годы. Следует отметить, что Виктор Петрович, придавая большое значение распространению научных достижений, был организатором и первым главным редактором межотраслевого научно-технического сборника “Конструкции из композиционных материалов”.

Большое внимание уделял Макеев подготовке научных и инженерных кадров, заведя в разное время кафедрами Московского физико-технического института и Челябинского политехнического института, являясь членом диссертационных советов. Значителен его вклад в дело воспитания и профессиональной подготовки молодых специалистов-ракетчиков. Именно он организовал целенаправленное обучение студентов на кафедрах двух упомянутых вузов, а также в Челябинском государственном университете и ряде других высших учебных заведений. В этих же целях специалисты КБ изучали опыт проведения исследований в институтах Академии наук и Минобороны, лучших НИИ страны.

Часы отдыха у генерального конструктора были редкими. Охота, рыбалка, встреча с природой – его основные увлечения. Радовался хорошей компании и всегда был её душой, никогда не возвышался над окружающими. Любил гитару, песни, пел сам. С удовольствием слушал магнитофонные записи (в то время редкие) Б. Окуджавы и В. Высоцкого. В конце 60-х особенно ему нравились песни, которые В. Высоцкий исполнял в спектакле театра на Таганке “10 дней, которые потрясли мир” и из фильма “Вертикаль”. “Если шёл он с тобой как в бой, на вершине стоял хмельной, значит, как на себя самого, положишься на него”, – для многих тогда эти слова звучали как девиз.

Под руководством Макеева проходило становление не только предприятия, но и городка машиностроителей – Машгородка. Виктор Петрович умело использовал высокий авторитет коллектива КБ, внимание руководства страны и министерств к развитию морской тематики для решения вопросов финансирования и строительства объектов социальной сферы. Благодаря этому были возведены многочисленные социальные объекты, без которых сегодня невозможно представить современный и комфортный для проживания микрорайон. Он стал самым красивым районом г. Миасса – с обширной развитой инфраструктурой, где в настоящее время проживают более 50 тысяч жителей.

В.П. Макеев бесменно возглавлял Конструкторское бюро машиностроения (КБМ) на протяжении 22 лет (1963–1985). За это время оно стало ведущей научно-конструкторской организацией, где были созданы уникальные образцы боевой ракетной техники, составившие основу морских стратегических ядерных сил страны. “Авторитет Виктора Макеева – академика, генерального конструктора ракет для подводных лодок – был настолько велик, что в 1976 году ему был предложен пост министра общего машиностроения СССР. Однако Макеев отказался”, – вспоминал советский и российский учёный-конструктор, академик РАН Б.Е. Черток [4, с. 318]. И действительно, Виктор Петрович оставался верен родному предприятию. Когда ему был предложен пост министра, он отказался от него, прикрывшись, как он считал, нескромным заявлением, что заменить его некем. И даже последний, роковой приступ его затянувшейся болезни случился на работе, у одного из испытательных стендов.

Виктор Петрович Макеев скончался 25 октября 1985 г. Имя этого удивительного человека стало известно большинству наших граждан только после его кончины – такова судьба создателей ракетно-ядерного щита страны, надёжно оберегающего нашу родину от внешних посягательств.

Заслуги академика В.П. Макеева высоко оценены. Он лауреат Ленинской и трёх Государственных премий, дважды Герой Социалистического Труда, кавалер многих орденов и медалей. За выдающиеся достижения в области создания эффективных образцов новой техники президиум Академии наук СССР удостоил его Золотой медали им. С.П. Королёва.

Память о главном конструкторе жива. В 1991 г. имя В.П. Макеева было присвоено его родному предприятию. В честь него названы проспекты и улицы, судно Северного флота ВМФ. Установлены бюсты, мемориальные доски, учреждены стипендии и медали. Ежегодно проводится научно-техническая конференция “Макеевские чтения”.

Дело академика Макеева достойно продолжает нынешнее поколение учёных, конструкторов и инженеров АО “ГРЦ Макеева”: приумножая прежние достижения, мы ушли далеко вперёд по многим направлениям разработки современного перспективного вооружения. Создан фундамент нового направления ракетной техники в интересах как ВМФ, так и РВСН, намного опережающий по характеристикам комплексы 1970–1990-х годов. Высококвалифицированный коллектив разработчиков Государственного ракетного центра, следуя примеру В.П. Макеева, берётся за решение сложных задач и добивается успехов в деле повышения обороноспособности нашей страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виктор Петрович Makeev. Страницы жизни. Взгляды современников / Авт.-сост. Е.Б. Бураков; под общ. редакцией В.Г. Дегтяря. Миасс, ГРЦ “КБ им. академика В.П.Макеева”, 2004.
Viktor Petrovich Makeev. Pages of life. The views of contemporaries / Author-comp. E.B. Burakov; ed. by V.G. Degtyar. Miass, GRC “KB im. academician V.P.Makeev”, 2004. (In Russ.)
2. *Пяткин В.А.* Генеральный конструктор. Миасс: ГРЦ, 1998.
Pyatkin V.A. General Designer. Miass: GRC, 1998. (In Russ.)
3. К 85-летию со дня рождения Виктора Петровича Макеева. Межотраслевой научно-технический сборник “Конструкции из композиционных материалов”. Вып. 3. М., 2009. С. 3–4.
4. СКБ-385, КБ машиностроения, ГРЦ “КБ им. академика В.П. Макеева” / Сост. Р.Н. Канин, Н.Н. Тихонов; под общ. редакцией В.Г. Дегтяря. Миасс: Государственный ракетный центр “КБ им. академика В.П. Макеева”, ООО “Военный Парад”, 2007.
SKB-385, KB of mechanical engineering, GRC “KB named after academician V.P. Makeev”. Comp. R.N. Kanin, N.N. Tikhonov; ed. by V.G. Degtyar. Miass: State Rocket Center “KB named after academician V.P. Makeev”, Military Parade LLC, 2007. (In Russ.)
5. Человек делает дело // Корпоративная газета “Конструктор”. 2009. № 10. С. 5–8.
A man does a job // Corporate newspaper “Constructor”. 2009, no. 10, pp. 5–8. (In Russ.)

“THERE ARE NO TRIFLES IN OUR JOB”

FOR THE 100TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF ACADEMICIAN
V. P. MAKEEV

V.G. Degtyar^{a,*}

^aJSC “State Rocket Center named after Academician V. P Makeeva”, Miass, Russia

*E-mail: src@makeyev.ru

The article introduces the milestones of the life of academician V.P. Makeev (1924–1985), an outstanding scientist and designer, founder of the national school of marine rocket engineering, twice Hero of Socialist Labor, winner of the Lenin and three State Prizes of the USSR, who made a great contribution to the creation of the nuclear missile shield of our country: For 22 years Makeev headed the Engineering Design Bureau in the city of Miasse, Chelyabinsk region. Over the years, three generations of submarine-launched ballistic missiles and strategic naval missile systems have been created here, which served as the basis for the formation and deployment of one of the main components of the country’s strategic nuclear forces. The research and development on thin-walled shells made of composite materials carried out under the leadership and with the participation of Makeev was recognized by the Presidium of the USSR Academy of Sciences as one of the most important achievements in the field of mechanics in 1981–1985. V.P. Makeev made a decisive contribution to the education and development of young specialists of high scientific and technical level. In preparing the article, the author used the memories of his colleagues.

Keywords: V.P. Makeev, Engineering Design Bureau, national School of Marine Rocket engineering, nuclear missile shield, design and development of rocket technology; tests, composite materials, strategic naval missile systems.

О ПРИСУЖДЕНИИ МЕДАЛЕЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК С ПРЕМИЯМИ ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ И ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО ИТОГАМ КОНКУРСА 2023 ГОДА

В соответствии с Положением о медалях Российской академии наук с премиями для молодых учёных и для обучающихся по образовательным программам высшего образования, утверждённым постановлением президиума РАН от 14 сентября 2021 г. № 142, и решениями экспертных комиссий РАН по оценке научных работ молодых учёных и обучающихся по образовательным программам высшего образования президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Присудить медали Российской академии наук с премиями в размере 100 тыс. рублей каждая для молодых учёных России по итогам конкурса 2023 года:

1.1. в области математики – кандидату физико-математических наук Брагину Михаилу Дмитриевичу (Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН) за работу “Высокоточные бикомпактные схемы для уравнений математической физики” и кандидату физико-математических наук Тюленеву Александру Ивановичу (Математический институт им. В.А. Стеклова РАН) за работу “Проблемы продолжения для пространств Соболева”;

1.2. в области общей физики и астрономии – кандидату физико-математических наук Савельеву Дмитрию Андреевичу, кандидату физико-математических наук Дегтярёву Сергею Александровичу, кандидату физико-математических наук Хорину Павлу Алексеевичу (Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва) за работу “Аксиконоподобные оптические элементы для формирования и детектирования лазерного излучения” и доктору физико-математических наук Сафину Ансару Ризаевичу, кандидату физико-математических наук Калябину Дмитрию Владимировичу (Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН) за работу “Нелинейная спин-волновая динамика в антиферромагнитных наноструктурах”;

1.3. в области ядерной физики – Пензину Илье Владимировичу, Эверту Вячеславу Юрьевичу (Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина),

Решетову Даниилу Фёдоровичу (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН) за работу “Создание диагностической базы для рентгенографического комплекса на базе линейного индукционного ускорителя” и Крюковой Екатерине Андреевне (Институт ядерных исследований РАН) за работу “Поиски новой физики с помощью ускорительных экспериментов и космологических наблюдений”;

1.4. в области информационных технологий, вычислительной техники и автоматизации – кандидату технических наук Кудряшовой Анастасии Юрьевне (Московский технический университет связи и информатики) за работу “Исследование методов кодирования сообщений от источника в условиях неизоморфного преобразования пространств и действия помех”;

1.5. в области энергетики – кандидату физико-математических наук Биволю Григорию Юрьевичу (Объединённый институт высоких температур РАН) за работу “Влияние пористых материалов и стенок каналов на распространение горения в газах”;

1.6. в области проблем машиностроения, механики и процессов управления – кандидату технических наук Соболевой Наталье Николаевне (Институт машиноведения им. Э.С. Горкунова УрО РАН) за работу “Разработка научных и технологических основ формирования покрытий на основе никеля, железа и кобальта с улучшенными эксплуатационными характеристиками” и кандидату физико-математических наук Косьянчуку Василию Викторовичу (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова) за работу “Многомасштабное моделирование течений газовых смесей в микроструктурах и мембранах применительно к задачам газоразделения”;

1.7. в области химических наук – кандидату химических наук Отвагину Василию Фёдоровичу, Кузьминой Наталье Сергеевне (Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского) за работу “Создание мультифункциональных фотосенсибилизирующих препаратов нового поколения для фотодинамической терапии онкологических заболеваний” и кандидату химических наук Кройтору

Андрею Петровичу (Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН), Дмитриенко Александру Александровичу (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова) за работу “Разработка новых каталитических систем и материалов с управляемыми свойствами на основе фталоцианинатов рутения”;

1.8. в области наук о материалах — кандидату химических наук Караваеву Александру Александровичу, Крысановой Кристине Олеговне, Осипову Александру Константиновичу (Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН) за работу «Новые материалы для получения “зелёных” компонентов топлив и полупродуктов нефтехимии» и кандидату химических наук Мокрушину Артёму Сергеевичу, Нагорнову Илье Алексеевичу (Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН) за работу “Новые материалы на основе химически модифицированных полупроводниковых оксидов металлов для хеморезистивных газовых сенсоров”;

1.9. в области физико-химической биологии — кандидату биологических наук Липатовой Анастасии Валерьевне, кандидату биологических наук Воробьёву Павлу Олеговичу, кандидату биологических наук Сосновцевой Анастасии Олеговне (Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН) за работу “Разработка рекомбинантных онколитических вирусов для терапии солидных опухолей” и кандидату биологических наук Лисицкой Лидии Александровне, кандидату биологических наук Кропачевой Екатерине Вадимовне (Институт биологии гена РАН) за работу “Белки-Аргонавты прокариот как перспективный инструмент для биотехнологии”;

1.10. в области общей биологии — кандидату биологических наук Кочневой Альбине Александровне (Карельский научный центр РАН) за работу “Молекулярно-биохимические закономерности и особенности некоторых видов цестод, лежащие в основе адаптаций к паразитическому образу жизни” и кандидату геолого-минералогических наук Фелькер Анастасии Сергеевны (Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН) за монографию и серию статей, посвящённых эволюции позднепалеозойских-раннемезозойских стебельчатокрылых стрекоз России;

1.11. в области геологии, геофизики, геохимии и горных наук — кандидату геолого-минералогических наук Овчинникову Роману Олеговичу (Институт геологии и природопользования ДВО РАН) за работу “Основные этапы магматизма и метаморфизма Буреинского континентального массива — ключевой структуры восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса” и кандидату геолого-минералогических наук Верещагину Олегу Сергеевичу (Санкт-Петербургский государственный университет) за работу “Генезис, стабильность

и структурный типоморфизм ряда минералов переходных элементов”;

1.12. в области океанологии, физики атмосферы, географии — кандидату географических наук Полухину Александру Анатольевичу (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН) за работу “Карбонатная система вод и оценка потока углекислого газа на границе морская поверхность — приводная атмосфера в российской Арктике” и кандидату географических наук Григоренко Климу Сергеевичу (Южный научный центр РАН) за работу “Механизмы осолонения Азовского моря в условиях маловодья”;

1.13. в области философии, социологии, психологии и права — кандидату медицинских наук Калининской Юлии Геннадьевне, Демешкину Илье Александровичу (Томский государственный университет) за работу “Профилактика стресса в тренировочном процессе киберспортсменов” и кандидату философских наук Маслову Денису Константиновичу (Институт философии и права СО РАН) за работу “Диалектическая стратегия и догматизм в пирронизме Секста Эмпирика: поиск истины и атараксия”;

1.14. в области экономики — кандидату экономических наук Колпакову Андрею Юрьевичу (Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН) за цикл работ по социально-экономической оценке реализации политики снижения выбросов парниковых газов в России и мире и кандидату экономических наук Рыбачуку Максиму Александровичу (Центральный экономико-математический институт РАН) за работу “Экономическое поведение, психология агентов, институциональные изменения: в поисках модели равновесия”;

1.15. в области истории — кандидату исторических наук Накишовой Марине Тазабаевне (Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина) за работу “Светлейший князь А.Д. Меншиков в кругу сподвижников Петра I” и кандидату исторических наук Синельниковой Елене Фёдоровне (Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН) за работу “Научные общества Петрограда—Ленинграда в 1920-е годы”;

1.16. в области литературы и языка — Цыганову Дмитрию Михайловичу (Институт мировой литературы им. А.М. Горького РАН) за работу “Сталинская премия по литературе: культурная политика и эстетический канон сталинизма”;

1.17. в области глобальных проблем и международных отношений — кандидату политических наук Алешину Александру Андреевичу (Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН) за работу “Великобритания—Евросоюз—НАТО: реорганизация трансатлантического пространства безопасности”;

1.18. в области физиологии – кандидату физико-математических наук Ступину Даниилу Дмитриевичу (Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет им. Ж.И. Алфёрова РАН) за работу “Новый инструментальный метод исследования физиологических свойств клеток на основе технологий импедансной спектроскопии и искусственного интеллекта *in vitro-on chip*”;

1.19. в области сельскохозяйственных наук – кандидату биологических наук Куниной Виктории Алексеевне, кандидату сельскохозяйственных наук Пашенко Ольге Игоревне (Субтропический научный центр РАН) за работу “Адаптивные виды и сорта цветочно-декоративных и древесных культур в условиях влажных субтропиков России”;

1.20. в области медицины – Городничеву Роману Борисовичу (Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины имени академика Ю.М. Лопухина ФМБА России) за работу “Бактериофаги *Klebsiella pneumoniae* и их производные: от выделения до фаготерапии”;

1.21. в области медико-биологических наук – кандидату биологических наук Жигалиной Дарье Ивановне (Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН) за работу “Генетика эмбриогенеза”.

2. Присудить медали Российской академии наук с премиями в размере 50 тыс. рублей каждая для студентов образовательных организаций высшего образования России по итогам конкурса 2023 года:

2.1. в области математики – студентке 2 курса магистратуры факультета математики и компьютерных наук Санкт-Петербургского государственного университета Досполовой Марии Каиржановне за работу “Смешанный объём бесконечномерных выпуклых компактов”;

2.2. в области общей физики и астрономии – студенту 1 курса магистратуры физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Мартыненко Николаю Сергеевичу за работу “Окологалактический газ и многоканальная астрономия” и студенту 1 курса магистратуры Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета Киму Петру Николаевичу за работу “Мозаичный фотонный топологический изолятор для лазерных применений”;

2.3. в области ядерной физики – студентам 2 курса магистратуры Физтех-школы физики и исследований им. Ландау Московского физико-технического института Хитееву Владимиру Сергеевичу, Каноду Андрею Олеговичу за работу “Вильсоновские сети в пространстве AdS и глобальные конформные блоки”;

2.4. в области информационных технологий, вычислительной техники и автоматизации – студентам 2 курса магистратуры Физтех-школы электроники,

фотоники и молекулярной физики Московского физико-технического института Митрофановой Анастасии Юрьевне, Козловой Елизавете Евгеньевне за работу “Разработка функциональных элементов терагерцевой электроники на основе магнитных материалов”;

2.5. в области энергетики – студенту 2 курса магистратуры Физтех-школы физики и исследований им. Ландау Московского физико-технического института Дещене Владимиру Игоревичу за работу “Атомистическое моделирование органических растворов для задач энергетики”;

2.6. в области проблем машиностроения, механики и процессов управления – студенту 6 курса специалитета механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Гарбузу Михаилу Андреевичу за работу “Динамика механических систем, способных перемещаться против потока среды за счёт преобразования энергии этого потока” и студентке 1 курса магистратуры Института передовых производственных технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого Нежинской Лилии Сергеевне за работу “Исследование влияния топологических характеристик метаматериалов на их макроскопические механические свойства”;

2.7. в области химических наук – студентке 5 курса специалитета Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского (Приволжского) федерального университета Габитовой Элине Ринатовне за работу “Синтез, супрамолекулярная организация в кристаллической фазе и противоопухолевая активность 2-арилметилиденовых производных тиазоло[3,2-а]пиримидина” и студентке 1 курса магистратуры факультета наук о материалах Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Беликовой Дарье Евгеньевне, студентам 2 курса магистратуры факультета наук о материалах Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Ординарцеву Артёму Андреевичу, Судакову Александру Андреевичу за работу «Новые подходы “мягкой” химии к получению органометаллических галогенометаллатов»;

2.8. в области наук о материалах – студентам 4 курса бакалавриата химического факультета Национального исследовательского университета “Высшая школа экономики” Васильевой Дарье Николаевне, Троневу Илье Валерьевичу, студентке 1 курса магистратуры химического факультета Национального исследовательского университета “Высшая школа экономики” Шейченко Екатерине Дмитриевне за работу “Химическое конструирование фотолюминесцентных и фотопротекторных материалов на основе соединений лантанидов”;

2.9. в области физико-химической биологии – не присуждать;

2.10. в области общей биологии – студентке 2 курса магистратуры биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносов Гришиной Дарье Юрьевне за работу “Голожаберные моллюски и копеподы: опыт применения совместного анализа биологического разнообразия морфологическими и молекулярно-генетическими методами” и студентке 2 курса магистратуры по направлению “Биология” Санкт-Петербургского государственного университета Малыш Светлане Михайловне за работу “Молекулярно-генетический анализ как основа диагностики энтомопатогенных микроорганизмов, имеющих большое практическое значение”;

2.11. в области геологии, геофизики, геохимии и горных наук – студентке 2 курса магистратуры Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета Дёминой Софье Владимировне за работу “Красноизлучающие люминофоры на основе Ва-содержащих боратов редких земель” и студентке 5 курса специалитета геологоразведочного факультета Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе Вайтиевой Юлии Алексеевне за работу “Геологическое строение Хибинского щелочного массива, особенности химического состава и строения нефелина и парацепенита-Na (группа лабунцовита)”;

2.12. в области океанологии, физики атмосферы, географии – студенту 5 курса специалитета Института прикладной математики и компьютерных наук Томского государственного университета Яковлеву Григорию Алексеевичу за цикл статей по исследованию динамики гамма-фона приземной атмосферы во время выпадения жидких атмосферных осадков;

2.13. в области философии, социологии, психологии и права – студентке 1 курса магистратуры Института экономики и менеджмента Томского государственного университета Потаповой Дарье Денисовне за работу “Политическая повестка русскоязычных феминистических онлайн-сообществ в 2022 году” и студентке 5 курса специалитета Института судебных экспертиз Московского государственного юридического университета им. О.Е. Кутафина Сальниковой Анастасии Кирилловне за работу “Цифровые следы как объекты судебных экономических экспертиз”;

2.14. в области экономики – студенту 2 курса магистратуры экономического факультета Новосибирского национального исследовательского государственного университета Новикову Александру Юрьевичу за работу “Оценка влияния эколого-климатических факторов на экономическое развитие стран” и студентке 3 курса бакалавриата экономического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Матевосовой Анастасии Михайловне за работу “Исследование

инфляционных ожиданий российского населения в условиях санкций на основе больших данных”;

2.15. в области истории – студенту 2 курса магистратуры историко-политологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета Смертину Андрею Романовичу за работу “Металлургия и металлообработка железа в Верхнем и Среднем Прикамье в конце XI – начале XV вв.” и студенту 4 курса бакалавриата исторического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Симакову Михаилу Алексеевичу за работу “Галльское племя аллобегов до правления династии Антонинов (по письменным источникам)”;

2.16. в области литературы и языка – студентке 5 курса бакалавриата гуманитарного факультета Тобольского педагогического института им. Д.И. Менделеева – филиала Тюменского государственного университета Ротарь Алёне Евгеньевне за работу “Структура и функционирование женских личных имён в памятниках письменности г. Тобольска XVII в.”;

2.17. в области глобальных проблем и международных отношений – не присуждать;

2.18. в области физиологии – студентке 2 курса магистратуры Института фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета Кузнецовой Еве Андреевне за работу “Восстановление нервно-мышечных нарушений в модели бокового амиотрофического склероза: значение иммунного оксистерина”;

2.19. в области сельскохозяйственных наук – студентке 4 курса бакалавриата ветеринарно-биологического факультета Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К.И. Скрябина Бачинской Надежде Алексеевне за работу “Усовершенствование методов выращивания сельскохозяйственной птицы посредством применения кормовых добавок с целью получения биологически полноценной и безопасной продукции”;

2.20. в области медицины – студенту 5 курса специалитета факультета фундаментальной медицины Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Рахматуллину Тагиру Ирековичу за работу “Жидкостная биопсия плазмы и желчи с выявлением внеклеточной опухолевой ДНК при протоковой аденокарциноме и других новообразованиях поджелудочной железы”;

2.21. в области медико-биологических наук – студенту 4 курса бакалавриата Института фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета Маясину Юрию Павловичу за работу “Разработка подхода по созданию дендритно-клеточной вакцины с применением цитохалазин-индуцированных мембранных везикул для иммунотерапии меланомы *in vitro*”

и студентке 4 курса бакалавриата Физтех-школы биологической и медицинской физики Московского физико-технического института Аитовой Алерии Альбертовне, студенту 6 курса магистратуры Физтех-школы биологической и медицинской физики Московского физико-технического института Бережному Андрею Константиновичу за работу

“Разработка нового малоинвазивного метода клеточной терапии для замещения нефункциональных участков ткани на основе микроносителей и пациент-специфичных стволовых клеток”.

3. Контроль за выполнением настоящего постановления возложить на Комиссию РАН по работе с научной молодёжью.