

ISSN 0016-7762 (Print)  
ISSN 2618-8708 (Online)

**2024** Том 66, № 3  
Vol. 66, #3

PROCEEDINGS OF HIGHER  
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS  
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

3

# ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

Научно-методический журнал

**Том 66, № 3**

**2024**

Журнал издается с января 1958 г.

Периодичность: 4 раза в год

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRU)

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS

# GEOLOGY AND EXPLORATION

Scientific methodological journal

**Vol. 66, No. 3**

**2024**

The journal has been published since 1958

Frequency: Quarterly

**ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ**

В журнале «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» публикуются статьи, содержащие результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в вузах и научно-исследовательских учреждениях, геолого-разведочных предприятиях, а также в порядке личной инициативы авторов. Печатаются обзорные статьи, освещающие современное состояние актуальных проблем геологической науки и геолого-разведочной практики, материалы научных конференций, симпозиумов и совещаний. Журнал пропагандирует передовой производственный опыт.

Журнал «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» за более чем 60 лет своей деятельности утвердил себя как одно из ведущих и авторитетных научных периодических изданий в области наук о Земле. Он действительно участвует в решении научно-технических проблем, пропагандирует новейшие достижения и укрепляет авторитет вузовской и отраслевой науки в области геологии, способствует повышению уровня подготовки высококвалифицированных инженерных, научных и педагогических кадров.

**Главный редактор**

**Керимов Вагиф Юнус оглы**, заслуженный геолог Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геолого-разведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Заместители главного редактора**

**Кузнецов Николай Борисович**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Геологический институт Российской академии наук, г. Москва, Россия

**Попов Юрий Анатольевич**, доктор физико-математических наук, профессор, Сколковский институт науки и технологий, г. Москва, Россия

**Члены редакционной коллегии**

**Гаранин Виктор Константинович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Россия

**Дроздов Дмитрий Степанович**, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт криосферы Земли Сибирского отделения РАН, г. Тюмень, Россия

**Дронов Андрей Викторович**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

**Игнатьева Маргарита Николаевна**, доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

**Леонов Михаил Георгиевич**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

**Маслов Андрей Викторович**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия

**Марин Юрий Борисович**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

**Петров Владислав Александрович**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

**Плечов Павел Юрьевич**, доктор геолого-минералогических наук, директор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана, г. Москва, Россия

**Самсонов Александр Владимирович**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

**Семинский Константин Жанович**, доктор геолого-минералогических наук, Институт земной коры Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

**Тихоцкий Сергей Андреевич**, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

**Толстов Александр Васильевич**, заслуженный геолог Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Акционерная компания АЛРОСА (ПАО), Республика Саха (Якутия), г. Мирный, Россия

**Фридовский Валерий Юрьевич**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, г. Якутск, Россия

**Серов Сергей Геннадьевич**, ответственный секретарь, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Иностранцы члены редакционной коллегии**

**Амро Мухамед Муса**, PhD, директор Института бурения и добычи, Технический университет «Горная академия Фрайберг», г. Фрайберг, Германия

**Баосун Ма**, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов, Университет Сунь Ятсена, г. Гуанчжоу, Китай

**Вердоья Массимо**, PhD, профессор, Университет Генуи, г. Генуя, Италия

**Гулиев Ибрагим Саид оглы**, академик НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

**Етирмишли Гурбан Джалал оглы**, член-корреспондент НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор Республиканского центра сейсмологической службы, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

**Фулун Нин**, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов Национального центра международных совместных исследований по глубокому бурению и разработке месторождений полезных ископаемых, Китайский геологоразведочный университет, г. Ухань, Китай

**Хуанг Шаопенг**, PhD, профессор, Сианьский университет Цзяотун, г. Сиань, Китай; Шэньчжэньский университет, г. Шэньчжэнь, Китай; приглашенный научный сотрудник, Университет Мичигана, г. Энн-Арбор, США

**Шестопалов Юрий Викторович**, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра электроники, математики и естественных наук, Университет Евле, г. Евле, Швеция

**Эпельбаум Лев Виленович**, Dr. Sci. (Geophys.), профессор кафедры геофизики, Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив, Израиль

#### Редакционный совет

##### Председатель редакционного совета

**Панов Юрий Петрович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ректор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

##### Члены редакционного совета

**Гусев Павел Николаевич**, главный редактор, газета «Московский комсомолец», г. Москва, Россия (по согласованию)

**Игнатов Пётр Алексеевич**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Машковцев Григорий Анатольевич**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Россия (по согласованию)

**Мустаев Рустам Наильевич**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Назарова Зинаида Михайловна**, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор экономических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Трубецкой Климент Николаевич**, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	4 раза в год
Префикс DOI	<a href="https://doi.org/10.32454/">https://doi.org/10.32454/</a>
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Свидетельство о регистрации средства массовой информации	ПИ №ФС77-59165 от 18.09.2014 г. (Роскомнадзор)
Учредитель и издатель	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
Редакция	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», Серов Сергей Геннадьевич (ответственный секретарь) 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия +7 (495) 255-15-10, доб. 2289 <a href="https://www.geology-mgri.ru">https://www.geology-mgri.ru</a> E-mail: <a href="mailto:journal-geology@mgri.ru">journal-geology@mgri.ru</a>
Тираж	100 экз.
Дата выхода в свет	30.09.2024
Типография	Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2024
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по пяти научным специальностям: 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (геолого-минералогические науки); 1.6.9. Геофизика (технические науки); 1.6.10. Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения (геолого-минералогические науки); 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (геолого-минералогические науки); 2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр (геолого-минералогические науки). РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory.

## FOCUS AND SCOPE

*Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration* publishes original scientific articles presenting significant results of theoretical and experimental studies carried out by researchers from universities, research institutions and exploration companies, as well as by independent investigators. The Journal publishes review articles on topical issues of geological science and mineral resource exploration practice, along with the materials of such scientific events as conferences, workshops and roundtables. The Journal is also aimed at promoting advanced industrial experience.

During more than 60 years of its existence the Journal *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration* has established itself as one of the leading and reputable scientific periodicals of the country in the field of Earth sciences. The Journal effectively participates in solving of scientific and technical problems, promoting the latest progresses and strengthens the authority of university and industry research in geology. It helps to improve the preparation of highly qualified engineers, scientists and teachers.

### Editor-in-Chief

**Vagif Y. Kerimov**, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

### Deputy Editors-in-Chief

**Nikolay B. Kuznetsov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Deputy Director for research, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Yuri A. Popov**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

### Editorial Board

**Viktor K. Garanin**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Dmitry S. Drozdov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Researcher, Institute of the Earth Cryosphere of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

**Andrey V. Dronov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Margarita N. Ignatyeva**, Dr. Sci. (Economics), Prof., Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

**Mikhail G. Leonov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Andrey V. Maslov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

**Yuriy B. Marin**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

**Vladislav A. Petrov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Director, Institute of Geology of ore deposits, petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Pavel Yu. Plechov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Alexander V. Samsonov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Konstantin Zh. Seminsky**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

**Sergey A. Tikhotskiy**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Director, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Alexander V. Tolstov**, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., ALROSA Public Joint Stock Company, Mirny, Yakutia, Russia

**Valeriy Yu. Fridovsky**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

**Sergey G. Serov**, executive secretary, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

### Foreign members of the Editorial Board

**Moh'd M. Amro**, PhD, Director of Institute of Drilling Technology and Fluid Mining, Technical University Bergakemie Freiberg, Freiberg, Germany

**Ma Baosong**, PhD, Prof., research supervisor of doctoral students, Sun YatSen University, Guangzhou, China

**Massimo Verdoya**, PhD, Prof., Università degli Studi di Genova, Genoa, Italy

**Ibrahim S. Guliev**, Academician of the NAS of Azerbaijan, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

**Gurban J. Yetirmishli**, Corresponding Member of Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), General director of Republican Seismic Survey Center of ANAS head of seismology division, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

**Ning Fulong**, PhD, Prof., research supervisor of doctoral students at the National Center for International Research on Deep Earth Drilling and Resource Development, China University of Geosciences, Wuhan, China

**Shaopeng Huang**, PhD, Prof., Shenzhen University, Institute of Deep Earth Sciences and Green Energy, Shenzhen, China; Adjunct Research Scientist, Department of Earth and Environmental, University of Michigan, Ann Arbor, USA

**Yury V. Shestopalov**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, University of Gävle, Gävle, Sweden

**Lev V. Eppelbaum**, Dr. Sci. (Geophys.), Prof., Department of Geophysics, Tel Aviv University, Tel-Aviv, Israel

#### Editorial Council

##### Chairman of the Editorial Council

**Yuri P. Panov**, Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

##### Members of the Editorial Council

**Pavel N. Gusev**, Editor-in-Chief, Moskovskii Komsomolets newspaper, Moscow, Russia

**Petr A. Ignatov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

**Grigoriy A. Mashkovtsev**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky, Moscow, Russia

**Rustam N. Mustaev**, Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

**Zinaida M. Nazarova**, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Dr. Sci. (Economics), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

**Kliment N. Trubetskiy**, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. Sci. (Engineering), Prof., Academician N.V. Melnikov Institute of Problems of Integrated Development of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	quarterly
DOI Prefix	<a href="https://doi.org/10.32454/">https://doi.org/10.32454/</a>
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Mass Media Registration Certificate	PI No. FS 77-59165 issued 18.09.2014 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)
Founder and Publisher	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
Editorial Office	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Sergey G. Serov (executive secretary) 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia +7 (495) 255-15-10, ext. 2289 <a href="https://www.geology-mgri.ru">https://www.geology-mgri.ru</a> E-mail: <a href="mailto:journal-geology@mgri.ru">journal-geology@mgri.ru</a>
Circulation	100 copies
Publication date	30.09.2024
Printing House	"Triada" publishing house: 9, Tchaikovsky Ave, office 514, Tver 170034, Russia
Copyright	© Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration
Price	Flexible
Distribution	The content is distributed under the Creative Common License CC BY
Indexation	The journal is included in the list of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of sciences, for the degree of Doctor of Sciences in five scientific specialties should be published: 1.6.7. Engineering geology, permafrost and soil science (geological and mineralogical sciences); 1.6.9. Geophysics (technical sciences); 1.6.10. Geology, prospecting and exploration of solid minerals, minerogeny (geological and mineralogical sciences); 1.6.11. Geology, prospecting, exploration and exploitation of oil and gas fields (geological and mineralogical sciences); 2.8.3. Mining and oil and gas field geology, geophysics, surveying and subsurface geometry (geological and mineralogical sciences). Russian Science Citation Index (eLIBRARY.RU), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

- 8 ВКЛАД В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РОССИИ И СССР ГОСУДАРСТВЕННЫХ ДЕЯТЕЛЕЙ, УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ — ВЫХОДЦЕВ ИЗ АЗЕРБАЙДЖАНА  
*И.С. ГУЛИЕВ, В.Ю. КЕРИМОВ, Ф.А. КАДЫРОВ, У.С. СЕРИКОВА*

### ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 21 ПОИСК ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ В ПЛАСТАХ ЮС2—3 ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПРИОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ eXchroma<sup>SG</sup>  
*Д.А. КОТУНОВ, С.А. ХАЛИЛОВ, Д.В. РОМАНОВ, С.А. ЛЮБИМОВ*
- 31 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗВЕДКИ И ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА В КАСПИЙСКОМ МОРЕ  
*У.С. СЕРИКОВА, Э.М. АЛИЕВ, Г.Н. ПОТЕМКИН, А.С. БЕЛЯЕВА, П.А. РОМАНОВ*
- 45 ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ЛИТОЛОГО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТ ДАШЛАРЫ И АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ПРОДУКТИВНОЙ ТОЛЩИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ИХ ЗАЛЕГАНИЯ (СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ)  
*В.Ш. ГУРБАНОВ, Л.А. СУЛТАНОВ, О.С. БРЮХОВЕЦКИЙ*

### ГЕОЛОГИЯ

- 58 РИФТОВЫЕ БАСЕЙНЫ ПОЗДНЕГО ФАНОРОЗОЯ АФРИКИ (РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ)  
*В.М. УСОВА*

### ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- 69 МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЯ БИРЮЗЫ И ВАРИСЦИТА В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН  
*А.К. ЛИТВИНЕНКО, Ш.Т. ВОСИХОВ*
- 78 ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВНИХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ С КОНЦЕНТРАЦИЯМИ СКАНДИЯ НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ  
*Р.У. ЕРЕМЕНКО, П.А. ИГНАТОВ, П.Н. ИЛЛАРИОНОВ*

### ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

- 88 МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД КАК НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ  
*В.Р. ВОЛОШИН, К.В. БЕЛОВ*

### ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

- 100 НОРМАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЛИНИИ АВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА; К ПРИМЕНЕНИЮ БПЛА В ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ  
*А.Д. КАРИНСКИЙ, А.А. ИВАНОВ, И.А. ЗУДЕНКОВ, Е.Д. ЕФИМОВ*

### ГЕОЭКОЛОГИЯ

- 107 СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА  
*Э.М. АЛИЕВ, С.А. ГУРЯНОВ, А.С. БЕЛЯЕВА*

### ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 127 МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
*А.А. ГРАБСКИЙ, А.А. РОЖКОВ*

### ЭКОНОМИКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 137 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕЧНЯ КРИТИЧЕСКОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ  
*С.М. САЛЬМАНОВ*

### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- 148 О КНИГЕ «ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ И КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД»  
*С.А. САМОХВАЛОВ, В.Н. КОМАРОВ*

**HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

- 8 **CONTRIBUTION OF STATESMEN, RESEARCHES, AND SPECIALISTS FROM AZERBAIJAN TO THE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF RUSSIA AND THE USSR**  
*IBRAHIM S. GULIYEV, VAGIF Yu. KERIMOV, FAKHRADDIN A. KADIROV, ULIANA S. SERIKOVA*

**GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES**

- 21 **SEARCH FOR OIL DEPOSITS IN YUS2–3 FORMATIONS OF THE SOUTHERN PART OF THE PRIOBSKOYE FIELD BASED ON A SEISMOGEOLOGICAL MODEL USING EXCHROMA<sup>SG</sup> TECHNOLOGY**  
*DMITRIY A. KOTUNOV, SALAVAT A. KHALILOV, DENIS V. ROMANOV, SERGEY A. LYUBIMOV*
- 31 **CURRENT STATE OF EXPLORATION AND DEVELOPMENT OF OIL AND GAS FIELDS IN THE CASPIAN SEA**  
*ULYANA S. SERIKOVA, EMIN M. ALIYEV, GRIGORY N. POTEKIN, ALBINA S. BELYAEVA, PAVEL A. ROMANOV*
- 45 **GEOLOGICAL STRUCTURE, LITHOLOGICAL AND PETROPHYSICAL PROPERTIES OF NEFT DAŞLARI DEPOSIT: PATTERNS OF CHANGES IN THE RESERVOIR PROPERTIES OF PRODUCTIVE STRATA DEPENDING ON THE DEPTH OF THEIR OCCURRENCE (NORTHWESTERN PART OF THE SOUTH CASPIAN DEPRESSION)**  
*VAGIF Sh. GURBANOV, LATIF A. SULTANOV, OLEG S. BRYUKHOVETSKY*

**GEOLOGY**

- 58 **RIFT BASINS OF THE LATE PHANEROZOIC OF AFRICA: REGIONAL PATTERNS AND CONCEPTUAL DEVELOPMENT ASPECTS**  
*VALENTINA M. USOVA*

**GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS**

- 69 **DEPOSITS AND OCCURRENCES OF TURQUOISE AND VARISCITE IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN**  
*ANDREY K. LITVINENKO, SHOHRUKH T. VOSIHOV*
- 78 **PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ANCIENT WEATHERING CRUSTS WITH SCANDIUM CONCENTRATIONS IN THE NAKYN KIMBERLITE FIELD**  
*RUSLAN U. EREMENKO, PETR A. IGNATOV, PAVEL N. ILLARIONOV*

**HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY**

- 88 **MODEL STUDIES ON GROUNDWATER EFFICIENCY AS A LOW-GRADE ENERGY SOURCE**  
*VALERY R. VOLOSHIN, KONSTANTIN V. BELOV*

**GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION**

- 100 **APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN ELECTROMAGNETIC SURVEY: NORMAL MAGNETIC FIELD ALONG AB LINE OF ALTERNATING CURRENT**  
*ALEXANDR D. KARINSKIY, ANDREY A. IVANOV, IVAN A. ZUDENKOV, EVGENIY D. EFIMOV*

**GEOECOLOGY**

- 107 **CURRENT GEOLOGICAL PROCESSES AFFECTING THE ENVIRONMENT OF THE CASPIAN REGION**  
*EMIN M. ALIYEV, SANAN A. GURYANOV, ALBINA S. BELYAEVA*

**GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE**

- 127 **INCENTIVE MECHANISM FOR IMPORT SUBSTITUTION OF MINING EQUIPMENT**  
*ALEXANDR A. GRABSKI, ANATOLY A. ROZHKOVA*

**MINERAL AND GEOLOGICAL EXPLORATION ECONOMICS**

- 137 **METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR COMPILING A LIST OF CRITICAL MINERAL RESOURCES**  
*SERGEY S. SALMANOV*

**CRITICS AND BIBLIOGRAPHY**

- 148 **ABOUT THE TEXTBOOK “LITHOLOGICAL AND RESERVOIR PROPERTIES OF SEDIMENTARY ROCKS”**  
*SERGEY A. SAMOKHVALOV, VLADIMIR N. KOMAROV*



## ВКЛАД В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РОССИИ И СССР ГОСУДАРСТВЕННЫХ ДЕЯТЕЛЕЙ, УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ — ВЫХОДЦЕВ ИЗ АЗЕРБАЙДЖАНА

И.С. ГУЛИЕВ<sup>1</sup>, В.Ю. КЕРИМОВ<sup>2</sup>, Ф.А. КАДЫРОВ<sup>1</sup>, У.С. СЕРИКОВА<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> *Институт нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики  
9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджанская Республика*

<sup>2</sup> *ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия*

### АННОТАЦИЯ

По мере развития нефтегазодобывающей отрасли в Азербайджане выросли выдающиеся государственные деятели, известные деятели науки и образования, которые внесли огромный вклад в технологическое развитие России и СССР, в том числе нефтегазовой отрасли. Статья подготовлена по результатам доклада на пленарной секции Международной научной конференции «Становление и развитие нефтегазодобывающей промышленности — вклад российских и азербайджанских ученых и специалистов».

**Ключевые слова:** развитие промышленности, Каспийский регион, государственные деятели

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Кадыров Ф.А., Серикова У.С. Вклад в технологическое развитие России и СССР государственных деятелей, ученых и специалистов — выходцев из Азербайджана. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(3):8—20. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-8-20>

Статья поступила в редакцию 16.11.2023

Принята к публикации 14.01.2024

Опубликована 30.09.2024

\* Автор, ответственный за переписку

## CONTRIBUTION OF STATESMEN, RESEARCHES, AND SPECIALISTS FROM AZERBAIJAN TO THE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF RUSSIA AND THE USSR

IBRAHIM S. GULIYEV<sup>1</sup>, VAGIF Yu. KERIMOV<sup>2</sup>, FAKHRADDIN A. KADIROV<sup>1</sup>, ULIANA S. SERIKOVA<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> *Oil and Gas Institute of the Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan  
9, F. Amirova str., Baku AZ1000, Republic of Azerbaijan*

<sup>2</sup> *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

### ABSTRACT

The evolution of the oil and gas industry in Azerbaijan has been associated with the emergence of distinguished statesmen and outstanding professionals in the field of science and education. These

specialists have made a substantial contribution to the technological development of Russia and the USSR, including its oil and gas sector. This article extends the report presented at a plenary section of the International Scientific Conference "Formation and development of the oil and gas industry — the contribution of Russian and Azerbaijani scientists and specialists."

**Keywords:** industrial development, Caspian region

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Kadirov F.A., Serikova U.S. Contribution of statesmen, researches, and specialists from Azerbaijan to the technological development of Russia and the USSR. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):8—20. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-8-20>

*Manuscript received 16 November 2023*

*Accepted 14 January 2024*

*Published 30 September 2024*

\* Corresponding author

По мере развития нефтегазодобывающей отрасли в Азербайджане выросли выдающиеся государственные деятели, известные деятели науки и образования, которые внесли огромный вклад в технологическое развитие России и СССР в том числе нефтегазовой отрасли. Из Баку вышли известные деятели Советского государства: Г.А. Алиев — первый заместитель председателя Совета Министров СССР, Н.К. Байбаков — председатель Госплана СССР; руководители отраслей промышленности СССР: Б.Л. Ванников — генерал-полковник, народный комиссар вооружения (1939—1941 гг.), народный комиссар боеприпасов (1941—1946 гг.), В.Д. Шашин — министр нефтяной промышленности, С.А. Оруджев — министр газовой промышленности, Ф.К. Салманов — первый заместитель министра геологии СССР,

П.А. Поладзаде — министр водохозяйственного строительства, В.Ю. Алекперов — руководитель одной из крупнейших нефтяных компаний мира ОАО «НК «Лукойл».

Об успехах Гейдара Алиевича на посту главы Азербайджанской ССР в течение более десяти лет свидетельствовали социально-экономические показатели. Гейдар Алиев был назначен на должность первого заместителя председателя Совета министров СССР и стал членом Политбюро ЦК КПСС. Еще до перевода в Москву Гейдар Алиев возглавлял Комиссию по оперативным вопросам Совета министров. Гейдар Алиевич принимал непосредственное участие в выстраивании системы внешнеэкономических связей и играл заметную роль в международных контактах СССР на азиатском и ближневосточном направлении.



**Рис. 1.** Национальный лидер Азербайджанской республики Гейдар Алиев на заседании  
**Fig. 1.** National Leader of the Republic of Azerbaijan Heydar Aliyev at the meeting

Будучи первым заместителем председателя Совета министров СССР, Гейдар Алиевич наряду со многими отраслями экономики курировал транспорт. Наверное, сложно будет перечислить его заслуги на этом посту, но одним из самых главных проектов, которые реализовал Гейдар Алиевич, конечно же, было строительство и завершение БАМа. Гейдар Алиев был ответственным в правительстве и Политбюро за строительство Байкало-Амурской магистрали. Это была сложная работа, были проблемы. Но все же его видение, каким образом можно эту стройку завершить, стратегическое мышление позволили сделать это [1]. Именно общенациональный лидер Азербайджана Гейдар Алиев и стал этой личностью, внесшей неоценимый вклад в реализацию этого мегапроекта.

Азербайджанские проектировщики и строители подарили БАМу два прекрасных по архитектуре и благоустройству поселка, вокзальные комплексы [2], [3]. Причем участие азербайджанцев в создании необходимой инфраструктуры БАМа не ограничивалось возведением только производственных и социальных объектов, а также жилья силами командированных сюда строительных бригад, а охватывало весь комплекс дел — от разработки генплана и его непосредственного воплощения в жизнь до обеспечения строительства всеми необходимыми средствами и материалами. Так что вклад Азербайджана в то, что в России сегодня есть такая красивая и современная станция Ангоя с одноименным благоустроенным поселком, где есть все необходимое для нормальной жизни людей, главным образом — железнодорожников, прямой и непосредственный. Азербайджанским рабочим

достался один из самых сложных участков БАМа — 209 километров вечной мерзлоты. Первая бригада азербайджанских строителей прибыла сюда в начале 1975 года. Железнодорожную станцию Улькан и прилегающий к ней одноименный поселок на 210-м километре БАМа возвели азербайджанцы [4—6].

Спустя 40 лет азербайджанские строители вновь отправились на Дальний Восток, чтобы в сотрудничестве с российскими коллегами внести вклад в модернизацию и развитие магистрали. В рамках проекта модернизации Байкало-Амурской магистрали в 2022 году азербайджанская строительная компания Rail Trans Service (RTS) заключила контракт с «БАМстроймеханизацией», входящей в состав группы компаний «1520». Специалисты RTS принимают участие в строительномонтажных работах на станциях Уктур, Аксака и Кенай с прилегающими перегонами [7—10].

Гейдар Алиев определил нефтяную стратегию Азербайджана, которая стала основой коренной трансформации, дальнейших политико-экономических реформ с целью превращения независимого Азербайджана в современное, сильное, обладающее устойчивым развитием экономики государство. Эта стратегия обеспечила привлечение иностранных инвесторов к разработке нефтяных месторождений Азербайджана, диверсификацию маршрутов транспортировки сырой нефти, эффективное управление нефтяными доходами и вступление Азербайджана в новый этап развития. В решении вопроса о статусе Каспия неоценимое значение имела позитивная позиция президентов и авторитет Г.А. Алиева. Вопрос о разделении Каспия



**Рис. 2.** Президенты Азербайджана, Казахстана и России: Гейдар Алиев, Нурсултан Назарбаев и Владимир Путин  
**Fig. 2.** The Presidents of Azerbaijan, Kazakhstan and Russia — Heydar Aliyev, Nursultan Nazarbayev and Vladimir Putin

дискутировался на самом высоком уровне всеми пятью прикаспийскими государствами [11—15].

Применение формулы «делим дно, а вода общая» и принципа поэтапности привело к приемлемому решению проблемы статуса Каспийского моря с учетом интересов всех прикаспийских государств. 23—24 сентября 2002 г. состоялся визит Президента Азербайджанской Республики Г. Алиева в Москву, основной целью которого было подписание соглашения между Российской Федерацией и Азербайджанской Республикой о разграничении сопредельных участков дна Каспийского моря [16—20]. Подписанием московского соглашения завершились многолетние переговоры о статусе Каспия. Три прикаспийских государства — Азербайджан, Казахстан и Россия — пришли к соглашению (рис. 2)



**Байбаков Николай Константинович** (1911 г., Баку — 2008 г., Москва) — один из крупнейших лидеров нефтегазовой промышленности СССР, представитель бакинской нефтяной школы. В 1928 г. поступил в Бакинский политехнический институт. С 1937 г. — главный инженер, затем

управляющий трестом «Лениннефть» в Баку. В 1938 г. был назначен управляющим объединением «Востокнефтедобыча» (в Куйбышеве). С 1940 г. Байбаков — заместитель наркома. С ноября 1944 г. Байбаков — народный комиссар нефтяной промышленности; с 1965 по 1985 г. — председатель Госплана СССР. Он являлся почетным академиком АН Российской Федерации.



**Ванников Борис Львович** (1897—1962 гг.) Родился в Баку в семье рабочего. С 17 лет работал бурильщиком, слесарем. Образование получил в Бакинском политехническом училище (1918) и МВТУ (1926). В 1919 г. вступил в РКП(б). В 1919—1920 гг. находился

на подпольной работе в Баку. После создания Народного комиссариата оборонной промышленности СССР Б.Л. Ванников был назначен

заместителем народного комиссара, а в январе 1939 года возглавил вновь созданный Народный комиссариат вооружения СССР. В феврале 1942 года Б.Л. Ванников был назначен народным комиссаром боеприпасов СССР. Опытный организатор, он сумел обеспечить все виды вооруженных сил орудиями, минометами, боеприпасами всех видов и калибров. В конце 1942 года выпуск боеприпасов вдвое превысил их производство в 1941 году, а в 1943 году по сравнению с 1941-м производство возросло втрое. В 1946 году Б.Л. Ванников был назначен начальником Первого главного управления (ПГУ) и председателем Научно-технического совета при Совмине СССР, которые были образованы для решения всех вопросов, связанных с созданием и производством атомного оружия в кратчайшие сроки. Руководил этими работами вместе с И.В. Курчатовым. Под руководством Ванникова были созданы первые атомные промышленные центры страны, проведены разработки и успешные испытания ядерного оружия, заложены основы использования ядерных технологий для выработки электроэнергии и для медицинских и иных народно-хозяйственных целей. Трижды Герой Социалистического Труда (1942, 1949, 1954), дважды лауреат Сталинской премии (1951, 1953), кавалер 4 орденов Ленина, орденов Суворова 1-й ст. и Кутузова [21—25].

**Шашин Валентин Дмитриевич** (1916—1977 гг.).

Родился в г. Баку в семье кадрового рабочего-нефтяника Дмитрия Тимофеевича Шашина. По окончании 8-летней школы работал учеником токаря. В 1936 году окончил Стерлитамакский (Ишимбаевский) нефтяной техникум, два года проработал в каротажной партии треста «Ишимбайнефть». В 1939 году поступил в Грозненский нефтяной институт и после первого курса перевелся в Московский нефтяной институт, который окончил уже в годы войны, в 1943-м. В 1960—1964 гг. руководил Главным управлением нефтяной и газовой промышленности Совнархоза РСФСР, а с 1965 г. в течение 12 лет возглавлял Министерство нефтяной промышленности страны. В.Д. Шашин являлся подлинным лидером нефтяников второй половины XX века, с его именем связаны наиболее значительные



достижения в истории нефтедобычи страны, мировое признание ее энергетической мощи, техническое перевооружение отрасли, установление и развитие международных связей.



**Салманов Фарман Курбан оглы** (1931—2007 гг.). Родился в селе Морул Шамхорского района Азербайджанской ССР. По окончании Азербайджанского индустриального института работал до 1970 года геологом, старшим геологом, начальником партии, участка, нефтеразведки и экспедиции. В 1970—1987 гг. — главный геолог, начальник Главного тюменского геологического управления («Главтюменьгеология»), в 1987—1992 гг. — первый заместитель министра геологии СССР. С 1992 года — президент ЗАО «Роспан Интернешнл». Человек-легенда, Ф.К. Салманов — крупнейший специалист в области геологии, один из самых известных в мире ученых и практиков-геологов, непререкаемый авторитет по Западно-Сибирским нефтяным и газовым месторождениям. Он первооткрыватель и участник открытий на тюменском Севере более

130 месторождений черного золота и голубого топлива, среди которых уникальные, знаменитые, крупнейшие: Мамонтовское, Мегионское, Правдинское, Усть-Балыкское, Сургутское, Федоровское, Уренгойское, Ямбургское и многие другие, ставшие надежной базой нефтегазового комплекса — нашей общенациональной гордостью, важнейшим фактором энергетической независимости государства. Герой Социалистического Труда (рис. 3), лауреат Ленинской премии. Его слова «Пусть нас объединяет любовь к нашей общей Родине — великой России, тревога за ее лучшее будущее и искреннее стремление сделать все зависящее от каждого из нас, чтобы такое будущее наступило как можно быстрее...» свидетельствуют о его любви к России [26—28].

**Оруджев Сабит Атаевич** (1912—1981 гг.) — выдающийся нефтяник, крупный ученый и государственный деятель. Родился 31 мая в Баку. В 1936 г. с отличием окончил Азербайджанский индустриальный институт им. М. Азизбекова по специальности «Горный инженер по разработке



**Рис. 3.** Фарман Курбан оглы Салманов с национальным лидером Азербайджанской республики Алиевым Гейдаром Алирза оглы

**Fig. 3.** Farman Kurban oglu Salmanov with the national leader of the Republic of Azerbaijan Aliyev Heydar Alirza oglu

нефтяных и газовых месторождений». Начав работать на нефтяных промыслах Баку, прошел путь от механика компрессорной станции и мастера по добыче нефти до начальника Главморнефти, первого заместителя министра нефтяной промышленности и министра газовой промышленности СССР (с 1972 г. и до конца жизни). При его активном участии был освоен ряд крупных нефтяных и газовых месторождений Азербайджана, Западной Сибири, Оренбуржья, Туркмении и Узбекистана. Он был одним из основателей морской добычи нефти и газа в Каспийском море; при его непосредственном участии были открыты и разработаны месторождения Гюрганы-море, банка Дарвина, о. Жилой (Чиллов) и Нефтяные Камни. Ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской и Государственной премий.



**Полад-заде Полад Аджиевич (1931—2018 гг.)** — первый заместитель министра мелиорации и водного хозяйства СССР (1974—1989), водохозяйственного строительства СССР (1989—1990). С 1991 года — генеральный директор государственного концерна «Водстрой»,

с 2005 года — председатель совета директоров ОАО «Водстрой». Имя Полада Аджиевича по праву внесено в летопись славной истории становления и развития отечественного мелиоративного комплекса, с ним связано строительство крупнейших водохозяйственных и мелиоративных объектов страны, призванных в значительной степени увеличить объемы агропроизводства, решить важнейшие задачи питьевого и сельхозводоснабжения.



**Керимов Керим Абасали оглы-Алиевич (1917—2003 гг.)** — советский ученый, инженер, генерал-лейтенант артиллерии, председатель Государственной комиссии по летным испытаниям пилотируемых космических кораблей (1966—1991). Внес значительный вклад в освоение

космоса. В течение многих лет являлся одной из центральных фигур в советской космонавтике. Несмотря на важную роль, личность Керимова держалась в секрете от общественности на протяжении большей части его карьеры. Дед Керимова по материнской линии — Асадулла Ахмедов был членом парламента Азербайджанской Демократической Республики. Во время войны на заводах Московского промышленного куста Керимов занимался приемкой на заводах гвардейских минометных установок типа «катюша» и снарядов к ним, за что был удостоен ордена Красной Звезды. В сентябре 1960 года назначен начальником Главного управления ракетного вооружения, а в 1964 году возглавил только что созданное Центральное управление космических средств Ракетных войск стратегического назначения. За внедрение спутникового фоторазведывательного комплекса «Зенит» удостоен Ленинской премии. С 1965 года руководил Главным космическим управлением в Министерстве общего машиностроения СССР, которое занималось созданием ракетной и космической техники.

**Алекперов Вагит Юсуфович** родился 1 сентября 1950 года в городе Баку. В 1974 году окончил вечернее отделение Азербайджанского института нефти и газа им. М. Азизбекова по специальности «Горный инженер по технологии и комплексной механизации разработки нефтяных и газовых месторождений».



С 1972 по 1979 год работал в Нефтегазодобывающем управлении им. А.П. Сергеевского производственного объединения «Каспморнефть»: буровиком (1972—1974), оператором по добыче нефти и газа, инженером-технологом (1974—1977), начальником смены (1977—1978), мастером (1978), старшим инженером — заместителем начальника нефтепромысла (1978—1979). С октября 1979 по 1985 год Алекперов работал в Сибири в ПО «Сургутнефтегаз». В 1984—1990 годах был генеральным директором ПО «Когалымнефтегаз». С января 1990 по 1991 год Вагит Алекперов занимал пост заместителя министра нефтяной и газовой промышленности СССР. В 1991 году был назначен первым заместителем министра нефтяной

и газовой промышленности СССР. В конце 1991 года Алекперов выступил инициатором создания Нефтяного концерна «Лангепас-Урай-Когалым-нефть» (позже — ОАО «ЛУКОЙЛ»). С 1993 по январь 2000 года был председателем Совета директоров ОАО «ЛУКОЙЛ». С 2000 года — председатель наблюдательного совета «ЛУКОЙЛ Интернешнл ГмбХ».

В.Ю. Алекперов — доктор экономических наук, действительный член Российской академии естественных наук, дважды лауреат премии правительства Российской Федерации, награжден четырьмя орденами и восемью медалями.

\*\*\*

Огромная роль принадлежит российским и азербайджанским ученым, инженерам, изобретателям и талантливым предпринимателям, которые определили пути рационального развития нефтяного дела и в целом нефтяной промышленности прибрежных государств. В основу обширного изучения Каспийского региона, ресурсов углеводородов и переработки каспийской нефти заложены блестящие исследования российских ученых и специалистов-геологов, инженеров нефтяного дела, химиков и технологов: Г.В. Аби́ха, Д.В. Голубятникова, Д.И. Менделеева, Н.Д. Зелинского, А.М. Бутлерова, И.М. Губкина, К. Энглера, В.В. Марковникова, В.В. Оглоблина, Ю.В. Лермонтовой, К.И. Лисенко, А.А. Летнего, А.А. Никифорова, В.Г. Шухова и других, а также азербайджанских ученых академиков Ш.Ф. Мехтиева, А.А. Али-Заде, Х.Б. Юсуф-Заде, С.Г. Салаева, Ф.К. Салманова, Н.К. Байбакова, С.А. Оруджева, А.Х. Мирзаджанзаде и др.

Из Баку вышли известные ученые, сыгравшие важную роль в развитии советской науки. Один из них, Лев Давидович Ландау (1908—1968 гг.), родился в Баку. Его отец был известным инженером-нефтяником, работавшим на местных нефтепромыслах. Хотя Ландау блестяще окончил

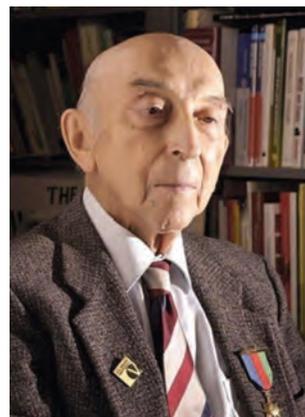


среднюю школу, когда ему было тринадцать лет, родители сочли, что он слишком молод для высшего учебного заведения, и послали его на год в Бакинский экономический техникум. В 1922 г. Ландау поступил в Бакинский университет, где изучал физику и химию; через два года он пере-

шелся на физический факультет Ленинградского университета.

По окончании университета в 1927 г. Ландау поступил в аспирантуру Ленинградского физико-технического института, где работал над магнитной теорией электрона и квантовой электродинамикой. С 1929 по 1931 г. Ландау находился в научной командировке в Германии, Швейцарии, Англии, Нидерландах и Дании. Там он встречался с основоположниками новой тогда квантовой механики, в том числе с Вернером Гейзенбергом, Вольфгангом Паули и Нильсом Бором. На всю жизнь Ландау сохранил дружеские чувства к Нильсу Бору, оказавшему на него особенно сильное влияние. В 1962 г. он был удостоен Нобелевской премии «за основополагающие теории конденсированной материи, в особенности жидкого гелия». Помимо Нобелевской и Ленинской премий Ландау были присуждены три Государственные премии СССР. Ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда. В 1946 г. он был избран в Академию наук СССР. Своим членом его избрали академии наук Дании, Нидерландов и США, Американская Академия наук и искусств, Французское физическое общество, Лондонское физическое общество и Лондонское королевское общество.

**Алескерзаде Лютфали Рагимович (1921—2017 гг.)**, известный мировой науке как Лютфи Заде, был не просто ученым. Лютфи появился на свет 4 февраля 1921 года в семье, проживавшей в бакинском поселке Новханы. В мировом научном сообществе его называют «Эйнштейн сферы IT».



Он, как и Эйнштейн, предложил теорию, которая на десятилетия опередила научную мысль ученых его поколения. Достаточно сказать, что две свои основополагающие работы по нечеткой логике Лютфи Заде написал в 1965 и 1973 годах, а награды к нему стали приходить в 90-х, например, премия «Золотой гусь» — награда Соединенных Штатов, учрежденная в 2012 году, которая официально присуждается ученым, чьи фундаментальные исследования, финансируемые из федерального бюджета США, привели к инновациям или изобретениям, которые оказывают значительное влияние на человечество или общество.



**Мамедалиев Юсиф Гейдар оглы (1905—1961 гг.)** родился в городе Ордурад Нахичеванской АР. В 1947—1950 и 1958—1961 гг. Мамедалиев избирался президентом Академии наук Азербайджанской ССР. Он был основоположником нефтяной химии в Азербайджане.

Предложил новые методы хлорирования и бромирования разных углеводородов с участием катализаторов и указал пути получения углететрахлорида, метил-хлорида, метилен-хлорида и других ценных продуктов при помощи хлоризации метана, сначала на стационарном катализаторе, а потом на горячем слое. Исследование в области каталитического алгидирования ароматических, парафиновых, циклопарафиновых углеводородов при помощи непредельных углеводородов дало возможность синтезирования в промышленном масштабе компонентов авиационных топлив. Юсиф Мамедалиев — изобретатель «коктейля Молотова». В 1950 году он создал топливо для стратегических ракет, без которого не могли бы состояться полеты

искусственных спутников. Прорыв человека в космос и первый полет Юрия Гагарина стали возможны в том числе благодаря научным достижениям школы нефтехимии Азербайджана, созданной Мамедалиевым. Удостоен орденов Ленина, Трудового Красного Знамени и Славы, а также медалей.

**Алиев Муса Мирзович (1908—1985 гг.)**

родился в городе Шемаха. В 1931 г. окончил нефтепромышленный факультет Азербайджанского политехнического института (ныне Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности). Еще в годы учебы в аспирантуре (1935—1937) занимал должность начальника Закавказского геологического треста, начальника Управления геологии Азербайджана, учрежденного в 1938 г. В 1941—1942 гг. был назначен на должность начальника Главного управления обучения при Министерстве нефти бывшего СССР. В годы Великой Отечественной войны с целью подготовки кадров — инженеров-техников для промышленности страны



**Рис. 4.** *Нина и Николай Зелинские, Юсиф и Бильгейс Мамедалиевы. Начало 1950-х годов, Москва*  
**Fig. 4.** *Nina and Nikolai Zelinsky, Yusif and Bilgeys Mammadaliyevs. Early 1950s, Moscow*

организовал эвакуацию Грозненского нефтяного института и Московского нефтяного института. Одной из основных заслуг ученого является открытие в 1949 г. большого месторождения «Нефтяные Камни» на основании проекта геологической разведки и эксплуатации нефти и газа в акватории Каспийского моря. С 1958 г. по предложению президента Академии наук СССР А. Несмеянова ученый был приглашен в Институт геологии и разработки горючих ископаемых (Москва) на должность заместителя директора по научной работе и работал в этом институте до конца жизни (1985). М. Алиев работал также в нефтегазовых провинциях в Западной Сибири, на Волге, Урале и Средней Азии. В 1967—1971 гг. руководил нефтегазовым контрактом между СССР и Алжиром. Открытие нефтегазовых месторождений Тиндуф и Хасси Брахим в Алжире связано с его именем. Он награжден орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, «Знак Почета».



**Тагиев Эйюб Измайлович (1912—1967 гг.)** родился в Баку. В 16-летнем возрасте Эйюб поступил в Индустриальный институт нефти и химии. В 1932 году его вместе с Николаем Байбаковым направили в Локбатан-Путинскую контору бурения. В 1937 году в Баку была

создана Сураханская специальная экспериментальная контора бурения, куда собрали всех самых талантливых бакинских и московских инженеров. Руководителем назначили 26-летнего Эйюба Тагиева, а задачу перед ними поставили такую: разработать принципиально новые конструкции забойных двигателей и технологии турбинного бурения. Этот коллектив и стал родоначальником бурения на высоких скоростях. Они создали безредукторные турбобуры, сначала 40-ступенчатые, а вскоре и 100-ступенчатые. Впервые в мировой практике была создана машина, работавшая на глинистом растворе. Впоследствии лицензию на производство этих турбобуров у СССР приобрели крупные нефтяные фирмы США и Европы. Постановлением Государственного комитета обороны СССР весь состав Бакинской экспериментальной конторы бурения со всем оборудованием и подчиненным им заводом им. Мясникова

во главе с Тагиевым был переведен в г. Краснокаменск Пермской области. Здесь они начали искать «второй Баку».

В конце 1940-х годов началось освоение морских месторождений на Каспии. Руководил им замминистра нефтяной промышленности СССР, впоследствии первый министр газовой промышленности Сабит Атаевич Оруджев. Было создано специализированное Главное управление для разбуривания морских недр — «Главморнефть», главным инженером которого стал Э. Тагиев. Он предлагал все новые и новые усовершенствования в технологии и оборудовании. В том числе создал турбовибратор силой в 100 тонн для забивки свай глубоководных эстакад и анкерования оснований. Это позволило ускорить скорость бурения, и начались испытания двухствольного бурения на морском месторождении «Бухта Ильича». В 44 года стал заведовать кафедрой технологии и исследований буровых процессов, а позже стал проректором по науке в МИНХиГП имени И.М. Губкина.

Э.И. Тагиев — трижды лауреат Государственной премии СССР: за изобретение многоступенчатой гидравлической турбины для бурения глубоких скважин (1942); за разработку и внедрение непрерывного наклонного бурения нефтяных и газовых скважин (1948) и за разработку способа бурения скважин двумя стволами (1951).

**Мирзаджанзаде Азад Халилович (1928—2006 гг.)** —

азербайджанский учёный, механик нефтегазовых месторождений, доктор технических наук, профессор, академик Национальной академии наук Азербайджана, почетный академик АН Республики Башкортостан, заслуженный деятель науки и техники Азербайджанской ССР, почетный нефтяник СССР, почетный работник газовой промышленности СССР, заслуженный нефтяник Республики Башкортостан. Азад Халилович выполнил ряд оригинальных работ по проблемам газоконденсатных месторождений. Им установлен важный факт наличия предельного градиента давления и создана теория разработки газовых и газоконденсатных месторождений. Под его руководством разработана методика определения сорбционной способности пород



на основе данных нестационарной фильтрации газов в пористой среде.

В течение многих лет А.Х. Мирзаджанзаде занимался проблемами механики технологических процессов в нефтедобыче, применения гидродинамики в исследовании бурения скважин в осложненных условиях; с 1960 г. — исследованием влияния физических полей на гидравлическую характеристику гетерогенных систем. Решая теоретические прикладные задачи при бурении, разработке месторождений, добыче и транспортировке продукции, он впервые применил математическую теорию эксперимента. На стыке механики, прикладной математики, теории и практики нефтяного дела Азат Халилович Мирзаджанзаде создал свою школу, которая впоследствии завоевала широкое признание. Он с огромным интересом следил за развитием всех естественных наук и обогащал нефтяное дело достижениями не только математики, физики и химии, но и кибернетики, биологии, медицины, социологии. А.Х. Мирзаджанзаде был пионером исследования нелинейных и неравновесных эффектов.

Особо следует отметить вклад Азата Халиловича в развитие научного потенциала Республики Башкортостан. Именно его влияние определило развитие в Башкирии новых направлений в теории и практике разработки нефтяных и газовых месторождений, нелинейной механике и прикладной математике. Большой вклад внес Азат Халилович в развитие научно-педагогических кадров Уфимского государственного нефтяного технического университета. Под его влиянием развивались кафедры высшей математики, бурения, теоретической механики, трубопроводного транспорта, разработки нефтяных месторождений.

***Сделанный исторический экскурс свидетельствует о значительном вкладе в технологическое развитие России и СССР государственных деятелей, ученых и специалистов — выходцев из Азербайджана, в том числе в становление и развитие нефтегазодобывающей промышленности.***

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архив РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина (Архив РГУ). Оп. 1. д. 119. Л. 51—88.
2. Ашумов Г.Г. Азербайджанские нефти. Баку.: Изд-во Акад. наук АзССР, 1961. 555 с.
3. Балаев С.Г. Нефть страны вечного огня. Баку: Азернешр, 1969. 158 с.
4. Большая Энциклопедия. В 22 тт. СПб.: Книгоиздательское товарищество «Просвещение» под редакцией С.Н. Южакова. 1896—1909.
5. Брилинский А. Краткий исторический и статистический обзор. Баку: тип. Р. Сегаль и с-вья, 1915. 229 с.
6. Владимиров А.И. Высшее нефтегазовое образование. Проблемы, перспективы. М.: РГУ нефти и газа им. Губкина. М., 1999. 496 с.
7. Керимов В.Ю., Серикова У.С. Основатель современного Азербайджанского государства Гейдар Алиев — автор концепции о нефтяной стратегии Азербайджана. В сб.: Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий: мат-лы науч.-практ. конф., посв. 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. Баку, 2023. С. 12—15.
8. Керимов В.Ю., Серикова У.С., Валиев Н.Г. Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана (к 100-летию со дня рождения выдающегося политического деятеля). Горный журнал. 2023. № 4. С. 79—82.
9. Лисичкин С.М. Выдающиеся деятели отечественной нефтяной науки и техники. М.: Недра, 1967. 284 с.
10. Мир-Бабаев М.Ф. Бакинская нефть и Ротшильды. Нефтяное хозяйство. 2002. № 1. С. 93—95.
11. Мир-Бабаев М.Ф. Владимир Шухов и российское нефтяное дело. Территория Нефтегаз. 2004. № 10. С. 60—63.
12. Мир-Бабаев М.Ф. Дмитрий Менделеев и российское нефтяное дело. Территория Нефтегаз. 2002. № 10. С. 44—48.
13. Мир-Бабаев М.Ф. Императорское Русское техническое общество и бакинское нефтяное дело. Территория Нефтегаз. 2002, № 9. С. 38—44.
14. Мир-Бабаев М.Ф. История черного золота. Consulting & Business. 2006. № 8. С. 26—32.
15. Мир-Бабаев М.Ф. Краткая хронология истории азербайджанского нефтяного дела. Баку: Sabakh, 2004. 199 с.
16. Мир-Бабаев М.Ф. Петр Первый и азербайджанская нефть. Территория Нефтегаз. 2002. № 6—7. С. 46—50.
17. Московский Горный. 1918—1998. М., 1998. 30 с.
18. Сенин Б.В., Керимов В.Ю., Серикова У.С., Леончик М.И., Мустаев Р.Н. Проблемы развития сырьевой базы нефтегазодобычи и основные направления поисково-разведочных работ в акватории Каспийского моря. В сб.: Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий: мат-лы науч.-практ. конф., посв. 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. Баку, 2023. С. 317—321.
19. Серикова У.С. Исторический анализ становления и развития научных знаний о нефтехимии и

- технологиях переработки нефти и газа. История и педагогика естествознания. 2023. № 2. С. 45—51.
20. Серикова У.С. Основные направления перехода нефтегазовой промышленности к шестому технологическому укладу в Каспийском регионе. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. № 3. С. 76—86.
21. Серикова У.С. Основные этапы развития нефтегазовой промышленности в Каспийском регионе. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 6. С. 70—83.
22. Серикова У.С. Системно-исторический подход и методы исследований объектов нефтегазового комплекса Каспийского региона. В сб.: Новые идеи в науках о Земле: мат-лы XIV Междунар. науч.-практ. конф.: в 7-ми томах. 2019. С. 193—196.
23. Серикова У.С. Становление и развитие нефтедобывающей промышленности Каспийского региона. В сб.: Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий: мат-лы науч.-практ. конф., посв. 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. Баку, 2023. С. 36—41.
24. Старцев Т.Е. Бакинская нефтяная промышленность. Историко-статистический очерк. Баку: Типография «Ароръ», 1901. 115 с.
25. Федоров С.Ф. Академик Иван Михайлович Губкин — основоположник высшего нефтяного образования в нашей стране. Академия Наук Азербайджанской ССР. Под ред. Г.Б. Абдуллаева. Баку: Изд-во Элм, 1976. 100 с.
26. Фролов В.И. Из прошлого русской нефтяной промышленности. Нефтяное и сланцевое хозяйство. 1920. № 12. С. 18.
27. Фукс И.Г., Матишев В.А. Иллюстрированные очерки по истории российского нефтегазового дела. Часть I. Север и Юг европейской части России (до 1917 г.). М.: Нефть и Газ. 2000. 176 с.
28. Senin B.V., Kerimov V.Yu., Leonchik M.I., Mustaev R.N., Serikova U.S. Hydrocarbon resources of the Caspian Sea. В сб.: Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий: мат-лы науч.-практ. конф., посв. 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. Баку, 2023. С. 439—444.

## REFERENCES

1. Archive of Gubkin Russian State University of Oil and Gas (Archive of Gubkin Russian State University). Op. 1. d. 119. P. 51—88 (In Russ.).
2. Ashumov G.G. Azerbaijani oil. Baku: Publ. House of the Academy of Sciences of the AzSSR, 1961. 555 p. (In Russ.).
3. Balaev S.G. Oil of the land of eternal flame. Baku: Azerneshr, 1969, 158 p. (In Russ.).
4. A large Encyclopedia. At 22 tt. St. Petersburg: Book Publishing Association “Enlightenment”, edited by S.N. Yuzhakov. 1896—1909 (In Russ.).
5. Brilinsky A. A brief historical and statistical review. Baku: printing house R. Segal and sons, 1915. 229 p. (In Russ.).
6. Vladimirov A.I. Higher oil and gas education. Problems, prospects. Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 1999. 496 p. (In Russ.).
7. Kerimov V.Yu., Serikova U.S. The founder of the modern Azerbaijani state, Heydar Aliyev, is the author of the concept of the oil strategy of Azerbaijan. In the collection: Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan: Achievements of Oil and Gas Geology and Geotechnologies. Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the national leader of the Azerbaijani people Heydar Aliyev. Baku, 2023. P. 12—15 (In Russ.).
8. Kerimov V.Yu., Serikova U.S., Valiev N.G. Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan (to the 100th anniversary of the birth of an outstanding political figure). Mining Journal. 2023. No. 4. P. 79—82 (In Russ.).
9. Lisichkin S.M. Outstanding figures of Russian petroleum science and technology. Moscow: Nedra, 1967. 284 p. (In Russ.).
10. Mir-Babaev M.F. Baku oil and the Rothschilds. Oil industry. 2002. No. 1. P. 93—95 (In Russ.).
11. Mir-Babaev M.F. Vladimir Shukhov and the Russian oil business. Territory of Neftegaz. 2004. No. 10. P. 60—63 (In Russ.).
12. Mir-Babaev M.F. Dmitry Mendeleev and the Russian oil business. The territory of Neftegaz. 2002. No.10. P. 44—48 (In Russ.).
13. Mir-Babaev M.F. Imperial Russian Technical Society and Baku oil business. The territory of Neftegaz. 2002. No. 9. P. 38—44 (In Russ.).
14. Mir-Babaev M.F. The history of black gold. Consulting & Business. 2006. No. 8. P. 26—32 (In Russ.).
15. Mir-Babayev M.F. A brief chronology of the history of the Azerbaijani oil business. Baku: Sabakh, 2004. 199 p. (In Russ.).
16. Mir-Babayev M.F. Peter the Great and Azerbaijani oil. Territory of Neftegaz. 2002. No. 6—7. P. 46—50 (In Russ.).
17. Moskovsky Gorny. 1918—1998. Moscow, 1998. 30 p. (In Russ.).
18. Senin B.V., Kerimov V.Yu., Serikova U.S., Leonchik M.I., Mustaev R.N. Problems of development of the raw material base of oil and gas production and the main directions of prospecting and exploration in the Caspian Sea. In the collection: Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan: Achievements of Oil and Gas Geology and Geotechnologies. Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th

- anniversary of the national leader of the Azerbaijani people Heydar Aliyev. Baku, 2023. P. 317—321 (In Russ.).
19. Serikova U.S. Historical analysis of the formation and development of scientific knowledge about petrochemistry and technologies of oil and gas refining. History and pedagogy of natural sciences. 2023. No. 2. P. 45—51 (In Russ.).
  20. Serikova U.S. The main directions of the transition of the oil and gas industry to the sixth technological order in the Caspian region. Izvestia of Higher educational institutions. Geology and exploration. 2023. No. 3. P. 76—86 (In Russ.).
  21. Serikova U.S. The main stages of the development of the oil and gas industry in the Caspian region. Izvestia of higher educational institutions. Geology and exploration. 2022. No. 6. P. 70—83 (In Russ.).
  22. Serikova U.S. System-historical approach and methods of research of objects of the oil and gas complex of the Caspian region. In the collection: New ideas in Earth Sciences. Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference: in 7 volumes. 2019. P. 193—196 (In Russ.).
  23. Serikova U.S. Formation and development of the oil industry in the Caspian region. In the collection: Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan: Achievements of Oil and Gas Geology and Geotechnologies. Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the national leader of the Azerbaijani people Heydar Aliyev. Baku, 2023. P. 36—41 (In Russ.).
  24. Startsev I.E. The Baku oil industry. Historical and statistical essay. Baku: Aror, 1901. 115 p. (In Russ.).
  25. Fedorov S.F. Academician Ivan Mikhailovich Gubkin is the founder of higher oil education in our country, the Academy of Sciences of the Azerbaijan SSR. Edited by G.B. Abdullaev. Baku: Elm Publ., 1976. 100 p. (In Russ.).
  26. Frolov V.I. From the past of the Russian oil industry. Oil and shale farming. 1920. No. 12. P. 18 (In Russ.).
  27. Fuchs I.G., Matishev V.A. Illustrated essays on the history of the Russian oil and gas business. Part I. North and South of the European part of Russia (before 1917). Moscow: Oil and Gas. 2000. 176 p. (In Russ.).
  28. Senin B.V., Kerimov V.Yu., Leonchik M.I., Mustaev R.N., Serikova U.S. Hydrocarbon resources of the Caspian Sea. In the collection: Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan: Achievements of Oil and Gas Geology and Geotechnologies. Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the national leader of the Azerbaijani people Heydar Aliyev. Baku, 2023. P. 439—444.

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Гулиев И.С. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Керимов В.Ю. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Кадыров Ф.А. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Серикова У.С. — разработала концепцию и подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ibrahim S. Guliyev — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Vagif Yu. Kerimov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Fakhraddin A. Kadirov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Uliana S. Serikova — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Гулиев Ибрагим Саид оглы** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик НАН Азербайджана, вице-президент Национальной академии наук Азербайджана.

9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджанская Республика

e-mail: [ibrahim.guliyev@science.az](mailto:ibrahim.guliyev@science.az)

SPIN-код: 3318-8673

Scopus: 6602519383

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9894-6835>

**Ibrahim S. Guliyev** — Academician of the NAS of Azerbaijan, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Vice-President of ANAS, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

9, F. Amirova str., Baku AZ1000, Republic of Azerbaijan

e-mail: [ibrahim.guliyev@science.az](mailto:ibrahim.guliyev@science.az)

SPIN-code: 3318-8673

Scopus: 6602519383

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-8208>

**Керимов Вагиф Юнусович** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой геологии и разведки месторождений углеводородов, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Моделирование углеводородных систем» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: [kerimovvy@mgri.ru](mailto:kerimovvy@mgri.ru)

тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 2168

SPIN-код: 9696-1364

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-8208>

**Vagif Yu. Kerimov** — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., academician of the RANS, Honored Geologist of the Russian Federation, Head of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits, Chief Researcher of the Scientific Research Laboratory “Modeling of Hydrocarbon systems” Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [kerimovvy@mgri.ru](mailto:kerimovvy@mgri.ru)

tel.: +7 (495) 255-15-10, add. 2168

SPIN-code: 9696-1364

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-8208>

**Кадиров Фахраддин Абульфат оглы** — доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор Института нефти и газа.

9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджанская Республика

e-mail: [kadirovf@gmail.com](mailto:kadirovf@gmail.com)

тел.: (+994 12) 4920679

Scopus: 6603155262

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-1249>

**Fakhraddin A. Kadirov** — Dr. Sci. (Geol.-Min.), General director of Institute of Oil and Gas.

9, F. Amirova str., Baku AZ1000, Republic of Azerbaijan

e-mail: [kadirovf@gmail.com](mailto:kadirovf@gmail.com)

tel.: (+994 12) 4920679

Scopus: 6603155262

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-1249>

**Серикова Ульяна Сергеевна\*** — кандидат технических наук, доцент кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия

e-mail: [lubava45@gmail.com](mailto:lubava45@gmail.com)

тел.: +7 (965) 429-39-79

SPIN-код: 9363-4064

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

**Uliana S. Serikova\*** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [lubava45@gmail.com](mailto:lubava45@gmail.com)

tel.: +7 (965) 429-39-79

SPIN-code: 9363-4064

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-21-30>  
УДК 550.8.053:550.834.05



## ПОИСК ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ В ПЛАСТАХ ЮС2—3 ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПРИОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ eXchroma<sup>SG</sup>

Д.А. КОТУНОВ<sup>1,\*</sup>, С.А. ХАЛИЛОВ<sup>2</sup>, Д.В. РОМАНОВ<sup>3</sup>, С.А. ЛЮБИМОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Газпромнефть-Заполярье»  
8Б, ул. 50 лет Октября, Тюмень 625048, Россия

<sup>2</sup> ООО «Газпромнефть-Хантос»  
5б, ул. Ленина, Ханты-Мансийск 628011, Россия

<sup>3</sup> ООО «Технологическая Компания Шлюмберже»  
16А, стр. 3, Ленинградское шоссе, Москва 125171, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Разработка месторождения на третьей стадии вызывает определенные сложности для недропользователя, связанные с тем, что падающая добыча нефти требует выполнения мероприятий по восполнению ресурсной базы. Помимо доизучения геологического строения основных объектов разработки, поиск новых залежей нефти позволяет получить прирост запасов и снизить темпы падения добычи, а наличие геологических моделей по объектам, перспективным для изучения, подготовленных с применением современных подходов обработки и интерпретации материалов сейсморазведочных работ 3D, позволяют увеличить эффективность геолого-разведочных работ и сократить расходы недропользователя. Одним из перспективных направлений геолого-разведочных работ на Южной лицензионной территории Приобского месторождения является юрский интервал разреза, учитывая, что продуктивность тюменской свиты доказана на большом числе месторождений ХМАО-Югры.

**Цель исследования.** Целью работы являлось построение концептуальной геологической модели пластов ЮС2—3 — наиболее перспективной с точки зрения нефтеносности части среднеюрской толщи — на основе переобработки и комплексной переинтерпретации сейсмических данных по всему лицензионному участку, выполненных в 2020 году, а также детальный анализ информации о литологическом строении и нефтеносности в пределах изучаемого объекта.

**Материалы и выводы.** Картирование потенциальных ловушек углеводородов выполнено с учетом следующих факторов: наличия нефтематеринской толщи, путей миграции, коллектора, покрывки и сохранности залежей. Повышение достоверности оценки этих факторов является ключом к успеху геолого-разведочных работ. По нашему мнению, оценка двух факторов — путей миграции и наличия коллектора — может быть существенно улучшена с помощью палеогеографических интерпретаций на основе хроматической обработки сеймики eXchroma<sup>SG</sup>.

**Результаты.** Результаты концептуального моделирования использованы при планировании геолого-разведочных работ и подтверждены при реализации программы поисково-разведочного бурения в 2021—2022 гг. По результатам бурения подтверждена нефтеносность верхней части тюменской свиты.

**Заключение.** Применение методики поиска залежей углеводородов на основе сейсмофациального анализа юрских отложений позволило подтвердить потенциал нефтеносности Южной лицензионной территории Приобского месторождения и расширить ресурсную базу за счет открытия новых залежей.

**Ключевые слова:** среднеюрские отложения, сейсмофациальный анализ, флювиальные процессы, концептуальная геологическая модель, хроматическая обработка eXchroma<sup>SG</sup>, прогноз коллектора

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Котунов Д.А., Халилов С.А., Романов Д.В., Любимов С.А. Поиск залежей нефти в пластах ЮС2—3 южной части Приобского месторождения на основе сейсмогеологической модели с применением технологии eXchroma<sup>SG</sup>. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(3):21—30. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-21-30>

*Статья поступила в редакцию 24.04.2024*

*Принята к публикации 02.09.2024*

*Опубликована 30.09.2024*

\* Автор, ответственный за переписку

## SEARCH FOR OIL DEPOSITS IN YuS2–3 FORMATIONS OF THE SOUTHERN PART OF THE PRIOSKOYE FIELD BASED ON A SEISMOGEOLOGICAL MODEL USING eXchroma<sup>SG</sup> TECHNOLOGY

DMITRIY A. KOTUNOV<sup>1,\*</sup>, SALAVAT A. KHALILOV<sup>2</sup>, DENIS V. ROMANOV<sup>3</sup>, SERGEY A. LYUBIMOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gazpromneft-Zapolyarye LLC  
8B, 50 let Oktyabrya str., Tyumen 625048, Russia

<sup>2</sup> GazpromNeft-Khantos LLC  
56, Lenin str., Khanty-Mansiysk 628011, Russia

<sup>3</sup> Technology Company Schlumberger  
16A, Leningradskoe shosse, bld. 3, Moscow 125171, Russia

### ABSTRACT

**Background.** Development of an oil field at the third stage causes certain difficulties for a subsoil user associated with the falling oil production, which requires additional measures to replenish the resource base. In addition to clarification of the geological structure of the deposit under development, the search for new oil deposits contributes to increasing the available reserves thus reducing the rate of decline in production. The availability of geological models for promising objects, created based on modern approaches to processing and interpretation of 3D seismic data, increases the efficiency of geological exploration and reduces the production costs. In the Southern license area of the Priobskoye field, its Jurassic interval is considered to be a promising area for exploration, given that the confirmed productivity of the Tyumen Formation in a large number of fields in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug–Yugra.

**Aim.** To develop a conceptual geological model of the YuS2–3 formations, which is the most promising part of the Middle Jurassic strata in terms of oil potential, by re-processing and re-interpretation of seismic data for the entire license area performed in 2020. A detailed analysis of information on the lithological structure and oil potential of the studied area.

**Materials and methods.** Mapping of potential hydrocarbon traps was performed taking the following factors into account: presence of oil mother strata, migration pathways, reservoir, cover and deposit integrity. Improving the reliability of these factors seems to be key to successful exploration. In our opinion, the assessment of two factors, i.e., migration pathways and reservoir presence, can be significantly improved with the help of paleogeographic interpretations based on chromatic processing of eXchroma<sup>SG</sup> seismic.

**Results.** The results of conceptual modeling were used in planning of exploration works. The results were validated during implementation of the exploration drilling program in 2021—2022. The drilling results confirmed the oil bearing capacity of the upper part of the Tyumen Formation.

**Conclusion.** The application of the hydrocarbon prospecting methodology based on seismofacial analysis of Jurassic sediments confirmed the oil-bearing potential of the Southern license area of the Priobskoye field, thereby increasing the resource base by discovering new deposits.

**Keywords:** Middle Jurassic deposits, seismic facies analysis, fluvial processes, conceptual geological model, chromatic processing of the eXchroma<sup>SG</sup>, reservoir forecast

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Kotunov D.A., Khalilov S.A., Romanov D.V., Lyubimov S.A. Search for oil deposits in YuS2–3 formations of the southern part of the Priobskoye field based on a seismogeological model using eXchroma<sup>SG</sup> technology. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):21–30. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-21-30>

*Manuscript received 24 April 2024*

*Accepted 02 September 2024*

*Published 30 September 2024*

\* Corresponding author

Уникальное по запасам нефти Приобское месторождение было открыто в 1982 году при бурении скважины 151Р, которая расположена на Северной лицензионной территории, где был получен приток нефти из тюменской свиты и пласта АС12/0. По геологическому строению месторождение относится к категории сложных, продуктивные интервалы мелового и юрского возраста характеризуются значительной литологической изменчивостью. Тюменская свита развита на всей территории месторождения и сложена неравномерным чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов континентального генезиса. Неокомский интервал, где сосредоточены основные запасы нефти, представлен пластами БС ачимовской толщи и пластами АС черкашинской свиты. Неокомские пласты имеют клиноформенный характер залегания, что является следствием проградации палеошельфа в западном направлении вглубь морского бассейна. К 1999 году на Южной лицензионной территории Приобского месторождения была закончена стадия разведки, промышленная нефтеносность установлена в отложениях черкашинской и ахской свит нижнего мела, а также в отложениях тюменской свиты, и месторождение введено в разработку. Основная часть запасов сосредоточена в пластах АС10—12 черкашинской свиты.

В настоящее время месторождение находится на 3-й стадии разработки, и для компенсации снижения уровня добычи нефти недропользователем предпринимаются активные шаги по доизучению интервалов с установленной нефтеносностью.

Для решения этой задачи в 2020 году были проведены работы по переработке и переинтерпретации данных сейсморазведки в пределах всей Южной лицензионной территории Приобского месторождения, в рамках которых была выполнена обработка сейсмических данных, петрофизическая интерпретация данных ГИС, анализ петроупругих свойств пород, выделение коллектора в пространстве упруго-плотностных свойств, получаемых в ходе сейсмической инверсии, а также комплексная геолого-геофизическая интерпретация материалов для создания концептуальной геологической модели юрского интервала.

Полученные материалы были использованы для комплексной интерпретации геологического строения верхней части тюменской свиты для описания закономерностей распределения эффективных толщин пластов ЮС2—3 и картирования перспективных ловушек на площади Южной лицензионной территории Приобского месторождения.

#### Методика исследований

Основой для создания геологической модели пластов ЮС2—3 являются результаты специализированной переобработки данных сейсморазведки, выполненные в обрабатывающем комплексе OMEGA на площади 2600 кв. км.

Граф обработки сейсмических материалов был нацелен на получение данных с сохранением истинного соотношения амплитуд, достижение максимальной разрешенности и хорошей

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

прослеживаемости отражающих горизонтов в целевых интервалах разреза.

В ходе петрофизической интерпретации был выполнен анализ результатов лабораторных исследований керна, анализ методик интерпретации ГИС, построение основных петрофизических связей типа «кern-кern» на основании полного комплекса данных керна и создание петрофизической модели для интерпретации данных ГИС с адаптацией ее к скважинам с ограниченным комплексом.

Выявленные связи упруго-плотностных характеристик разреза с петрофизическими параметрами соответствуют эмпирическим и теоретическим моделям физики горных пород. Анализ упругих свойств, проведенный для результатов фациального анализа данных ГИС, показал, что русловым фациям соответствуют пониженные значения отношения  $V_p/V_s$ , а также средние и несколько повышенные значения акустического импеданса.

Для прогноза литологии в интервале пластов ЮС2—3 выполнена сейсмическая синхронная AVA-инверсия с последующей байесовской литоклассификацией на основе совместного распределения величин «акустический импеданс — отношение скоростей продольных и поперечных волн». Используемая классификация широко применяется для различных дисциплин, в числе которых и геология, например для обработки

данных геофизических исследований скважин [7] или, как в нашем случае, для сейсмических параметров.

Для описания геометрии резервуара выполнена сейсмостратиграфическая привязка волнового поля к разрезам скважин, проведен анализ волнового поля юрского интервала, выделены и протрасированы разрывные нарушения и с помощью глубинно-скоростной модели получены структурные карты основных отражающих горизонтов.

Для оценки перспективности интервала пластов ЮС2—3 в рамках настоящей работы была создана концептуальная геологическая модель, в которой использованы результаты сейсмофациального анализа и прогноза коллекторов на основе сейсмической синхронной AVA-инверсии.

Для уверенного обнаружения и картирования элементов флювиальных систем интервала пластов ЮС2—3 получено качественное сейсмическое изображение, которое позволяет понять их положение относительно друг друга, оконтурить и описать строение наблюдаемых объектов, используя накопленный мировой опыт изучения таких объектов. На рисунке 1 приведено сопоставление наблюдаемых в сейсмическом поле объектов с трехмерной моделью гипотетического меандрирующего потока, в которой аккреционные отложения обрамляют склоны долины (А), а также схематический профиль поперечного

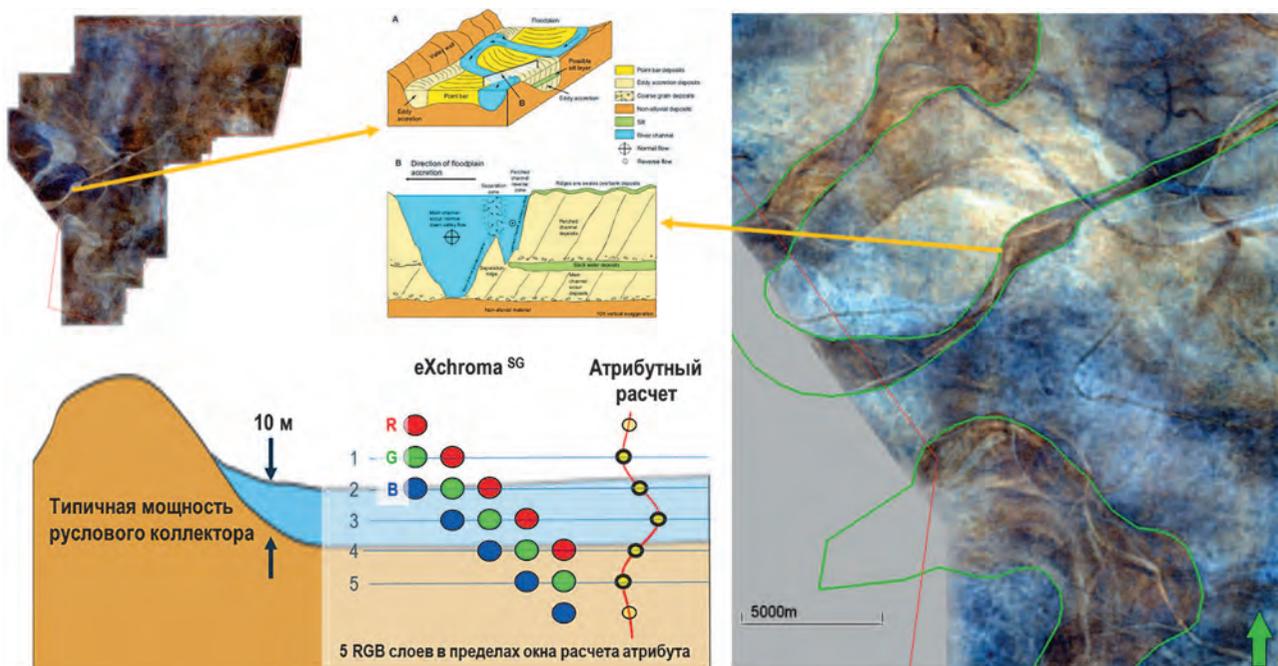


Рис. 1. Применение технологии eXchroma<sup>SG</sup> на Приобском месторождении  
Fig. 1. Application of the eXchroma<sup>SG</sup> technology at the Priobskoye field

сечения активного канала и наращивания аккреционных комплексов (В) [9].

Для решения данных задач применялась запатентованная хроматическая технология извлечения геологических объектов — eXchroma<sup>SG</sup> [8], благодаря которой значительно увеличилась контрастность геологических объектов в сейсмическом волновом поле.

При использовании данного алгоритма резко повышаются детальность и четкость отображения геологической информации на сейсмических данных, что способствует значительному приросту геологической информативности разреза изучаемого участка.

Прогноз эффективных толщин основан на задании решающего правила классификации — функций плотности вероятностей для рассматриваемых литотипов (коллектор/неколлектор) в пространстве упруго-плотностных свойств (акустический импеданс, отношение  $V_p/V_s$ ), получаемых в ходе инверсии сейсмических данных. Далее заданное решающее правило классификации применяется к результатам синхронной AVA-инверсии.

В наборе для оценки функций плотности вероятности присутствуют как входные (результаты инверсии), так и выходные индикаторные переменные (литотипы). Такая ситуация имеет место в случае наличия скважинных данных. С использованием этих данных строится решающее правило классификации, или модель прогноза, которое затем применяется к данным, для которых неизвестны выходные переменные (например, к результатам инверсии сейсмических данных в межскважинном пространстве) (рис. 2).

Геометризация залежей нефти при подсчетах запасов в пластах ЮС2—3 тюменской свиты выполнялась на основе структурного фактора с учетом результатов испытаний. Полученные оценки строились исходя из предположения, что толщина пластов ЮС2—3 относительно однородна по латерали и залежи относятся к пластово-сводовым [2]. Полученные в нашей работе данные о геологическом строении тюменской свиты указывают на то, что строение данного интервала более сложное и в пределах пластов ЮС2—3 основную массу отложений составляют низкопроницаемые отложения аллювиальной равнины, в которых встречаются пояса меандрирования древних рек. Скважины, которые попадают в контур пояса меандрирования, вскрывают разрез с характерными образами ГИС, соответствующих русловым отложениям (рис. 3).

Подтвержденная скважинными данными принадлежность наблюдаемых сейсмических образцов к русловым отложениям позволяет проследить распространение коллекторов с улучшенными свойствами по площади и использовать это предположение как поисковый признак наличия литологически экранированных ловушек. Данный факт был использован для корректировки методики поиска залежей углеводородов в пределах Южной лицензионной территории Приобского месторождения.

### Результаты исследований

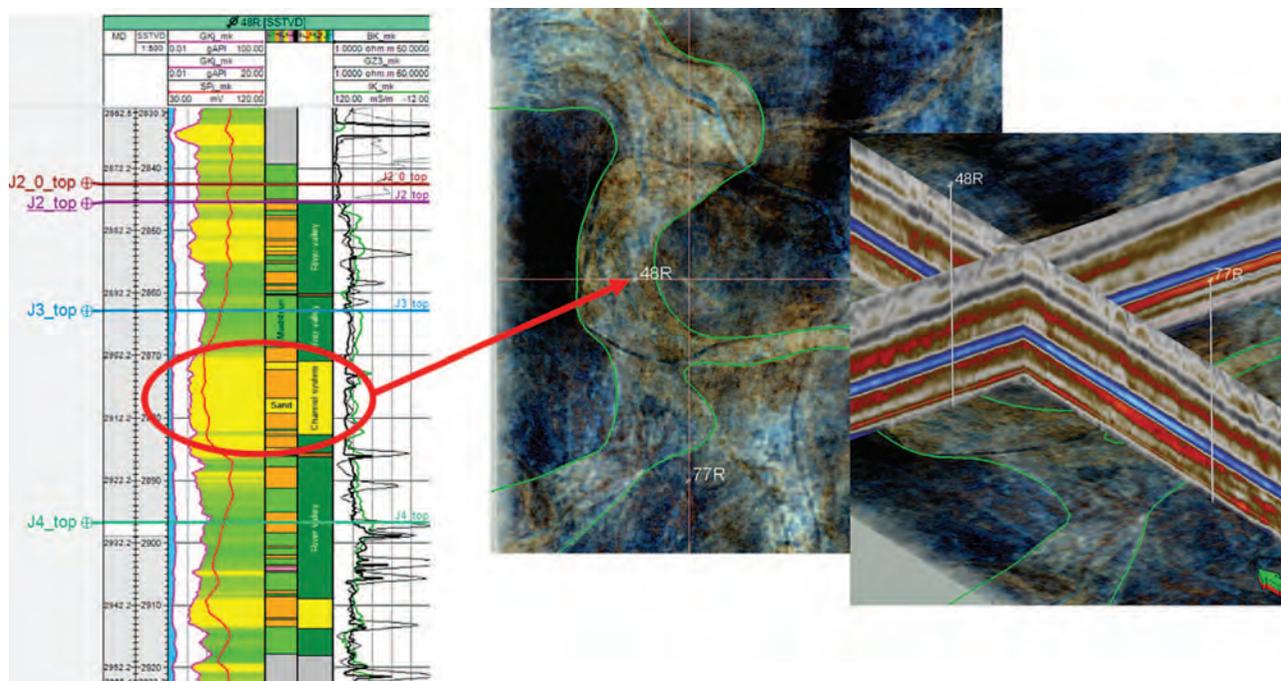
Результаты исследований свидетельствуют о том, что наличие поясов меандрирования древних рек в интервале пластов ЮС2—3 оказывает существенное влияние на формирование и пространственное распределение залежей углеводородов. Картирование потенциальных ловушек УВ выполнено с учетом следующих факторов: наличие зрелой нефтематеринской толщи, путей миграции, коллектора и покрышки.

По мнению некоторых исследователей, основной нефтематеринской толщей в данном районе является баженовская свита [1, 3, 4]. Свита рассматривается как основной источник углеводородов для формирования месторождения нефти и газа Западной Сибири. По результатам бассейнового моделирования предполагается, что в пределах Фроловской мегавпадины наиболее погруженные части нефтематеринской толщи могут продуцировать углеводороды [5]. Аналогичные результаты



Рис. 2. Графическая иллюстрация применения теории Байеса

Fig. 2. Graphic illustration of the application of Bayes' theorem



**Рис. 3.** Пример сопоставления интерпретации фациальной обстановки по скважинам и интерпретации *exChroma*<sup>SG</sup> по скважине 48R

**Fig. 3.** An example of comparing the interpretation of the facies situation for wells and the interpretation of the *exChroma*<sup>SG</sup> for well 48R

представлены в работе [6], где указывается, что отложения баженовской свиты находятся в главной зоне нефтеобразования. Покрышкой для потенциальных залежей нефти являются глинистые отложения абалакской свиты мощностью около 20 метров.

По нашему мнению, оценка двух факторов — путей миграции и наличия коллектора — может быть существенно улучшена с помощью методов палеогеографических интерпретации на основе *exChroma*<sup>SG</sup>.

Дальность латеральной миграции углеводородов может существенно увеличиваться при наличии протяженных поясов меандрирования, которые по определению обладают улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами. Результаты картирования таких путей миграции показывают, что они достаточно протяженные и могут связывать наиболее погруженные области распространения нефтематеринских пород с потенциальными ловушками (рис. 4).

Результаты концептуального моделирования пластов ЮС2—3 учтены при разработке программы поисково-разведочного бурения, и благодаря ее реализации удалось получить подтверждение предложенной методики поисков залежей нефти.

На рисунке 5 приведены результаты бурения разведочной скважины, которую размещали с учетом сейсмогеологического прогноза коллектора.

Скважина закладывалась в продолжение зоны развития широкого пояса меандрирования, который прослежен по сейсмическим данным в западном направлении. Выбор места заложения скважины основан на предположении, что в русловой части будут вскрыты наибольшие эффективные толщины с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами, а также положением точки вскрытия пласта ЮС2—3 на самой высокой абсолютной отметке в пределах технологически ограниченного круга допуска.

Несмотря на то что скважина находится за пределами сейсмического куба, прогноз эффективных толщин по трехмерной модели подтвержден — в пласте ЮС3 вскрыто ожидаемое русловое тело, где после гидроразрыва пласта в интервале 3104,1—3116,1 м при отработке электроцентробежным насосом (ЭЦН) получен приток нефти с дебитом 5,5 т/сут и обводненностью 30%. Отсутствие эффективных толщин в пласте ЮС2 было ожидаемым, так как прогноз толщин около двух метров находится за пределами возможностей сейсморазведки.

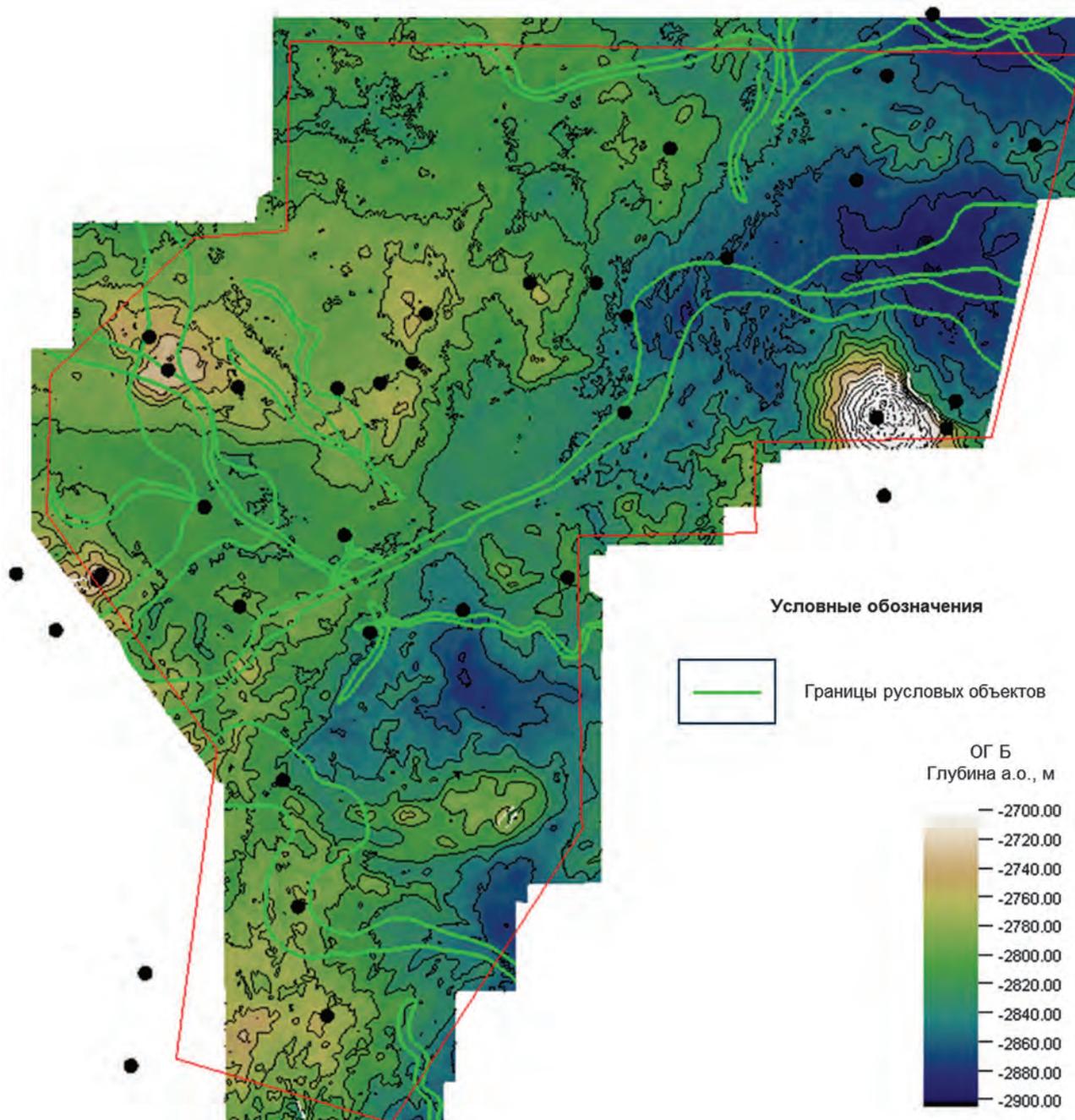


Рис. 4. Структурная карта по отражающему горизонту Б с положением русловых объектов в пласте ЮС2—3  
Fig. 4. Structural map along the reflecting horizon Б with the position of riverbed objects in the YUS2—3 formation

#### Заключение

Целью данной методики является выделение литологических ловушек неструктурного типа в отложениях тюменской свиты. Результаты выполненных работ по моделированию пластов ЮС2—3 позволили разработать и подтвердить методику поиска залежей нефти в пределах Южной

лицензионной территории Приобского месторождения, которая состоит из следующих этапов:

- комплексная интерпретация данных сейсморазведки с использованием технологии eXchroma<sup>SG</sup>;
- создание сейсмогеологической модели целевого пласта;

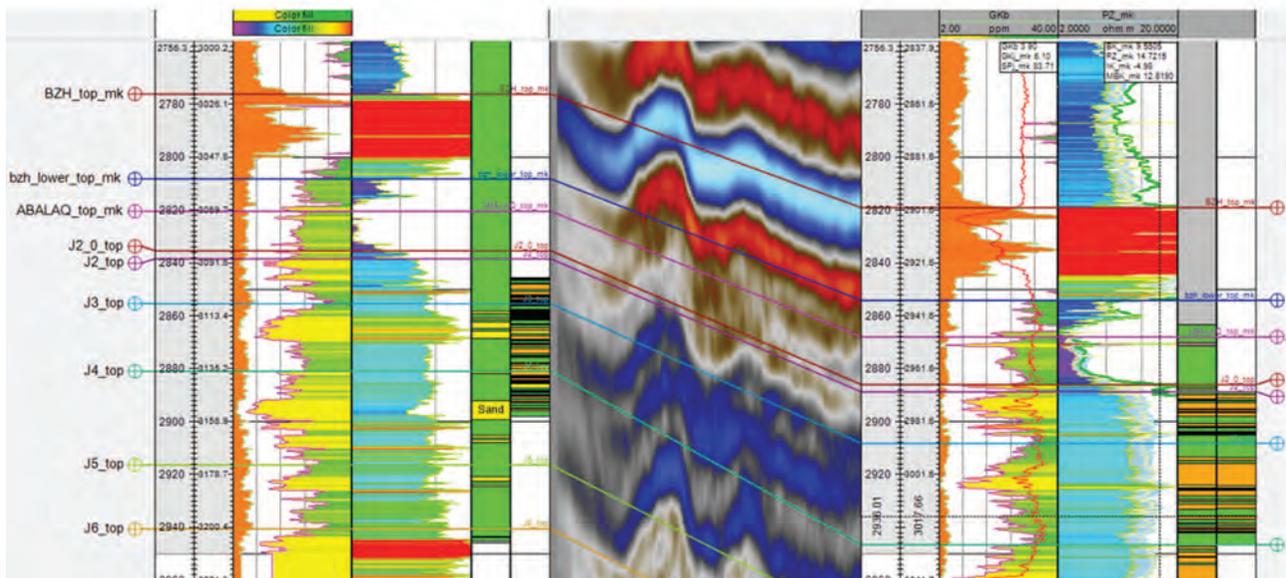
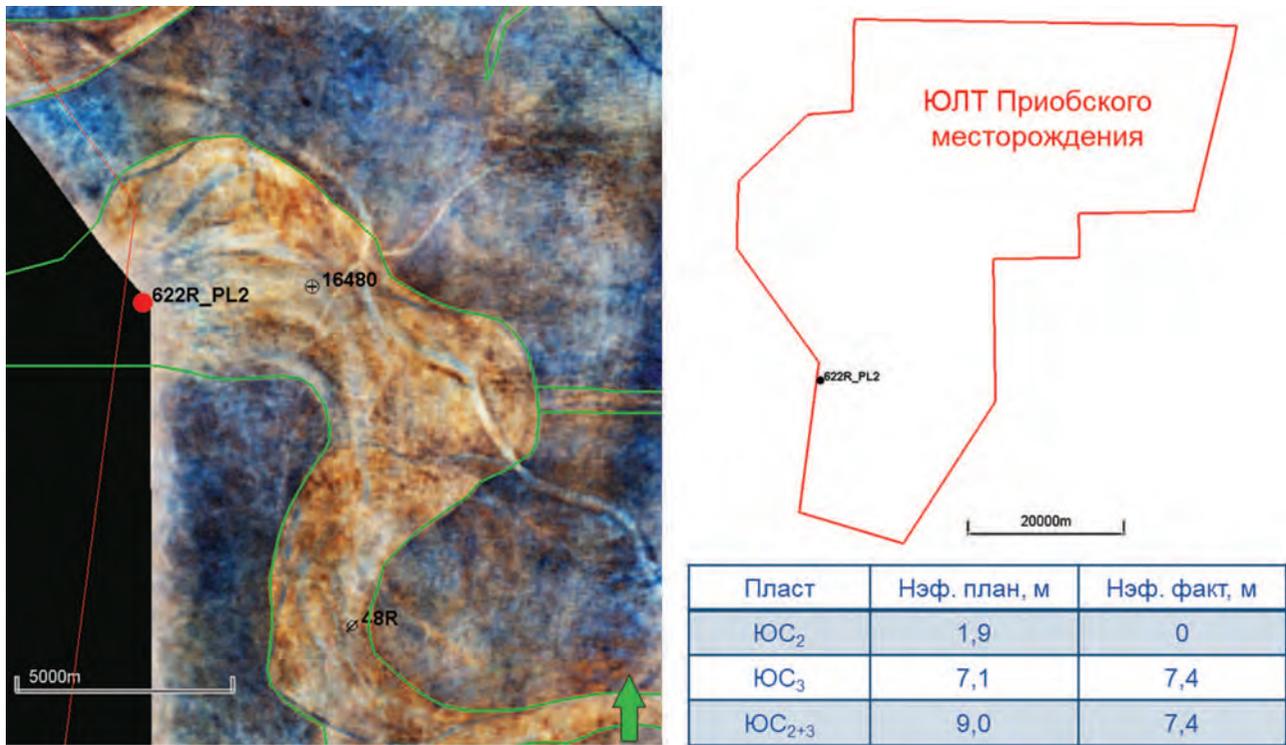


Рис. 5. Результаты бурения скважины 622P  
 Fig. 5. Drilling results of well 622P

- картирование литологически экранированных ловушек, приуроченных к поясам меандрирования древних рек;
- разработка рекомендаций по размещению разведочных скважин.

Практическое подтверждение достоверности концептуальной геологической модели получено бурением скважины 622P, по результатам которого получен промышленный приток нефти из пласта ЮС<sub>3</sub>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Гладков Е.А., Шарф И.В., Карпова Е.Г., Пулькина Н.Э., Филимонова И.В., Гладкова Е.Е.* Перспективы нефтеносности залежей углеводородов в баженовской и марьяновской свитах юго-востока Западной Сибири (Томская область). Бурение и нефть. 2020. № 7—8. С. 56—59.
2. *Кажмулинов Т.К.* Пересчет геологических запасов нефти, растворенного газа, сопутствующих компонентов Южной части Приобского нефтяного месторождения. Тюмень: ООО Газпромнефть-НТЦ, 2020. 98 с.
3. *Калмыков А.Г., Бычков А.Ю., Калмыков Г.А., Бугаев И.А., Козлова Е.В.* Генерационный потенциал керогена баженовской свиты и возможность его реализации. Георесурсы. 2017. № S. С. 165—172. <https://doi.org/10.18599/grs.19.17>
4. *Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Казаненков В.А., Конторович В.А., Костырева Е.А., Пономарева Е.В., Рыжкова С.В., Ян П.А.* Баженовская свита — главный источник ресурсов нетрадиционной нефти в России. Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2014. № 2(10). С. 2.
5. *Мусихин К.В.* Условия формирования и сохранения коллекторских свойств пород и залежей углеводородов ниже-среднеюрских отложений Фроловской мегавпадины: дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2020. 154 с.
6. *Федорова Е.В.* Оценка генерационного потенциала баженовской свиты на территории Ханты-Мансийского автономного округа. Экспозиция Нефть Газ. 2021. № 4(83). С. 16—18. <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2021-4-16-18>.
7. *Gomaa A.M.* Lithofacies Classification Using Bayes Theorem Method: Case Study Western Desert, Egypt. Multidiszciplináris tudományok. 2021. No. 11(1). P. 76—89. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.1.8>
8. *Laake A.* Structural interpretation in color—A new RGB processing application for seismic data. Interpretation. 2015. No. 3(1). P. SC1—SC8. <https://doi.org/10.1190/INT-2014-0041.1>
9. *Labourdette R.* 3D sedimentary modelling: toward the integration of sedimentary heterogeneities in reservoir models. PhD Thesis. Montpellier. 2007. 686 p.

## REFERENCES

1. Gladkov E.A., Sharf I.V., Karpova E.G., Pulkina N.E., Filimonova I.V., Gladkova E.E. Prospects for oil potential of hydrocarbon deposits in The Bazhenovsky and Maryanovsky Suites of southeast western Siberia (Tomsk region). Drilling and oil. 2020. No. 7—8. P. 56—59 (In Russ.).
2. Kazhmulinov T.K. Recalculation of geological reserves of oil, dissolved gas, and related components of the Southern part of the Priobskoye oil field. Tyumen: Gazpromneft LLC-STC. 2020. 98 p. (In Russ.).
3. Kalmykov A.G., Bychkov A.Yu., Kalmykov G.A., Bugaev I.A., Kozlova E.V. Generation potential of kerogen of the bazhenov formation and possibility of its implementation. Georesources. 2017. No. S. P. 165—172. (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.19.17>
4. Kontorovich A.E., Burshtein L.M., Kazanenkov V.A., Kontorovich V.A., Kostyreva E.A., Ponomareva E.V., Ryzhkova S.V., Yan P.A. The Bazhenov Suite is the main reserve of unconventional oil in Russia. Georesources, geoenergy, geopolitics. 2014. No. 2(10). P. 2 (In Russ.).
5. Musikhin K.V. Conditions for the formation and preservation of reservoir properties of rocks and hydrocarbon deposits of the Lower-Middle Jurassic deposits of the Frolov megawall: dis. ... cand. of Geological Sciences. Moscow, 2020. 154 p. (In Russ.).
6. Fedorova E.V. Assessment of the generation potential of the bazhenov formation in the Khanty-Mansiysk autonomous okrug. Exposition Oil Gas. 2021. Issue 4. P. 16—18. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2021-4-16-18>
7. Gomaa A. M. Lithofacies Classification Using Bayes Theorem Method: Case Study Western Desert, Egypt. Multidiszciplináris tudományok. 2021. No. 11(1). P. 76—89. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.1.8>
8. Laake A. Structural interpretation in color—A new RGB processing application for seismic data. Interpretation. 2015. No. 3(1). P. SC1—SC8. <https://doi.org/10.1190/INT-2014-0041.1>
9. Labourdette R. 3D sedimentary modelling: toward the integration of sedimentary heterogeneities in reservoir models. PhD Thesis. Montpellier. 2007. 686 p.

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Котунов Д.А. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Халилов С.А. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Dmitrii A. Kotunov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Salavat A. Khalilov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

Романов Д.В. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Любимов С.А. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Denis V. Romanov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Sergey A. Lyubimov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Котунев Дмитрий Андреевич\*** — директор по перспективному развитию и управлению портфелем ООО «Газпромнефть-Заполярье».  
8Б, ул. 50 лет Октября, Тюмень 625048, Россия  
e-mail: [kotunov.da@icloud.com](mailto:kotunov.da@icloud.com)

**Халилов Салават Алмазович** — руководитель программы проектов по формированию бизнес-кейсов опций развития ООО «Газпромнефть-Хантос».  
56, ул. Ленина, Ханты-Мансийск 628011, Россия  
e-mail: [halilovsalavat@icloud.com](mailto:halilovsalavat@icloud.com)

**Романов Денис Владимирович** — главный геолог региона Западная Сибирь ООО «Технологическая Компания Шлюмберже».  
16А, Ленинградское шоссе, стр. 3, Москва 125171, Россия  
e-mail: [sis-qa-ru@slb.com](mailto:sis-qa-ru@slb.com)  
SPIN-код: 7653-7655

**Любимов Сергей Анатольевич** — геолог ООО «Технологическая Компания Шлюмберже».  
16А, Ленинградское шоссе, стр. 3, Москва 125171, Россия  
e-mail: [sis-qa-ru@slb.com](mailto:sis-qa-ru@slb.com)

**Dmitrii A. Kotunov\*** — Director of strategic development, Gazpromneft-Zapolyarye LLC  
8B, 50 let Oktyabrya str., Tyumen 625048, Russia  
e-mail: [kotunov.da@icloud.com](mailto:kotunov.da@icloud.com)

**Salavat A. Khalilov** — head of the program of projects for the formation cases of development options, GazpromNeft-Khantos LLC  
56, Lenina str., Khanty-Mansiysk 628011, Russia  
e-mail: [halilovsalavat@icloud.com](mailto:halilovsalavat@icloud.com)

**Denis V. Romanov** — Western Siberia Geology Team Leader “Technology Company Schlumberger”  
16A, Leningradskoe highway, bld. 3, Moscow 125171, Russia  
e-mail: [sis-qa-ru@slb.com](mailto:sis-qa-ru@slb.com)  
SPIN-code: 7653-7655

**Sergey A. Lyubimov** — geologist “Technology Company Schlumberger”  
16A, Leningradskoe highway, bld. 3, Moscow 125171, Russia  
e-mail: [sis-qa-ru@slb.com](mailto:sis-qa-ru@slb.com)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-31-44>  
УДК 550.8.011



## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗВЕДКИ И ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

У.С. СЕРИКОВА, Э.М. АЛИЕВ, Г.Н. ПОТЕМКИН, А.С. БЕЛЯЕВА, П.А. РОМАНОВ\*

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Рассматривается современное состояние разведки и освоения месторождений нефти и газа в Каспийском море.

**Цель.** Поиск новых технико-технологических особенностей разведки и освоения месторождений нефти и газа в Каспийском море.

**Материалы и методы.** Анализ и типизация горно-геологических условий и параметров залежей, ловушек и коллекторов нефти и газа, исследование современного состояния разведки и освоения месторождений нефти и газа в Каспийском море на основе статистического обобщения и систематизации данных и материалов, частично заимствованных из справочной литературы, фондовых источников, промысловых данных и опубликованных работ

**Результаты.** Анализ современного состояния разведки и освоения месторождений нефти и газа в Каспийском море показывает, что к основным технико-технологическим особенностям разведки и освоения месторождений нефти можно отнести следующие: создание специальных гидротехнических сооружений и плавучих технических средств с учетом суровых морских гидрометеорологических условий для бурения поисково-оценочных, разведочных и эксплуатационных скважин; бурение наклонно-направленного куста скважин с индивидуальных стационарных платформ, с приэстакадных площадок, на искусственно создаваемых островках, с самоподъемных и полупогружных плавучих установок и других сооружений как над водой, так и под водой; выбор рациональной конструкции и количества стационарных платформ, приэстакадных площадок, плавучих эксплуатационных палуб и других сооружений для размещения на них оптимального числа скважин: создание специальных технических средств и технологических процессов, а также плавучих установок, обеспечивающих охрану морской среды, при проведении буровых работ, эксплуатации и ремонта скважин. Потребность в платформах для Каспийского моря в целом в период до 2025 года оценивается в 71—87 единиц.

**Ключевые слова:** Каспийский регион, нефтегазоносная провинция, месторождение, стратиграфический интервал, структура, УВ

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Серикова У.С., Керимов В.Ю., Потемкин Г.Н., Беляева А.С., Романов П.А. Современное состояние разведки и освоения месторождений нефти и газа в Каспийском море. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(3):31—44. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-31-44>

Статья поступила в редакцию 19.06.2024

Принята к публикации 16.08.2024

Опубликована 30.09.2024

\* Автор, ответственный за переписку

## CURRENT STATE OF EXPLORATION AND DEVELOPMENT OF OIL AND GAS FIELDS IN THE CASPIAN SEA

ULYANA S. SERIKOVA, EMIN M. ALIYEV, GRIGORY N. POTEKIN, ALBINA S. BELYAEVA,  
PAVEL A. ROMANOV\*

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** The current state of exploration and development of oil and gas fields in the Caspian Sea is considered.

**Aim.** Identification of new engineering and technological features of exploration and development of oil and gas fields in the Caspian Sea.

**Materials and methods.** An analysis and typification of mining and geological conditions and parameters of oil and gas deposits, as well as traps and reservoirs, was carried out. The current state of oil and gas exploration and development in the Caspian Sea was assessed by statistical generalization and systematization of data and materials, partially borrowed from reference literature, stock sources, field data, and published works.

**Results.** The conducted analysis revealed the main engineering and technological features of the current state of exploration and development of oil and gas fields in the Caspian Sea. These include the creation of special hydraulic structures and floating technical equipment, taking harsh marine hydrometeorological conditions for drilling prospecting, exploration and production wells into account; drilling directional clusters of wells from individual stationary platforms, pier platforms, artificially created islands, jack-up-type and semi-submersible floating installations and other structures both above and below water; selection of a rational design and number of stationary platforms, pier platforms, floating production decks, and other structures for placing the optimum number of wells; creation of special engineering means and technological processes, as well as floating installations that ensure the protection of the marine environment during drilling operations, borehole operation and repair. The need for platforms in the Caspian Sea as a whole in the period until 2025 is estimated at 71–87 units.

**Keywords:** Caspian region, oil and gas province, deposit, stratigraphic interval, structure, UV

**Conflict of interest:** the authors declare that there is no conflict of interest.

**Financial disclosures:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Serikova U.S., Kerimov V.Yu., Potemkin G.N., Belyaeva A.S., Romanov P.A. Current state of exploration and development of oil and gas fields in the Caspian Sea. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):31–44. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-31-44>

*Manuscript received 19 June 2024*

*Accepted 16 August 2024*

*Published 30 September 2024*

\* Corresponding author

### Введение

Современное состояние разведки и освоения месторождений нефти и газа в Каспийском море в российском, азербайджанском, казахстанском, туркменском и иранском секторах весьма различное. Если в азербайджанском секторе идет разведка и интенсивная добыча УВ, то в российском наряду с добычей ведется подготовка

к промышленной разработке открытых месторождений, а в казахстанском и туркменском секторах проводятся в основном геолого-разведочные работы. Подходы к привлечению компаний — разработчиков морских проектов в этих странах также различные. Если Россия делает упор на участие в проектах отечественных крупных нефтегазовых компаний, то Азербайджан,

Казахстан и Туркмения активно сотрудничают с иностранными компаниями.

В настоящее время в акватории Каспийского моря наиболее крупными добычными проектами являются: в российском секторе месторождения российского Северного блока: им. Ю. Корчагина, им. В. Филановского, Сарматское, Ракушечное, трансграничное Хвалынское; в азербайджанском секторе — месторождения Азери-Чираг-Гюнешли и Шах-Дениз; в казахском секторе — Северо-Каспийский проект (в первую очередь — месторождение Кашаган); в туркменском секторе — месторождение Челекен и месторождения блока 1.

### Методика исследований

Анализ и типизация горно-геологических условий и параметров залежей, ловушек и коллекторов нефти и газа, исследование современного состояния разведки и освоения месторождений нефти и газа в Каспийском море на основе статистического обобщения и систематизации данных и материалов, частично заимствованных из справочной литературы, фондовых источников, промысловых данных и опубликованных работ

### Результаты исследований

В российском секторе морского недропользования на начало 2022 г. разбурено 25 перспективных площадей и открыто 16 месторождений нефти, газа и конденсата, 14 из которых включены в Государственный баланс с суммарными извлекаемыми запасами около 2,58 млрд т у.т, из которых 78,3% представлены газом, а два месторождения, открытых в период 2017—2021 гг. на площадях Южная и Титонская, находятся на разных стадиях разведки и оценки запасов [1]. В период 1995—2017 гг. в акватории Каспийского моря было открыто девять месторождений с запасами более 2 млрд т у.т. (месторождение им. Владимира Филановского, месторождение им. Юрия Корчагина, Хвалынское, Сарматское, Ракушечное и др.). При этом открытое в 2006 г. месторождение им. В. Филановского является крупнейшим месторождением, открытым в России за последние 20 лет, — его извлекаемые запасы превышают 200 млн т нефти. Кроме того, в ходе геолого-разведочных работ выявлено десять перспективных на нефть и газ структур. В настоящее время в этом секторе работают такие компании, как «ЛУКОЙЛ»; «Роснефть» (акционер «Каспийской нефтяной компании»); «Газпром» (является акционером «ЦентрКаспнефтегаза» и ООО «Каспийская нефтяная компания»).

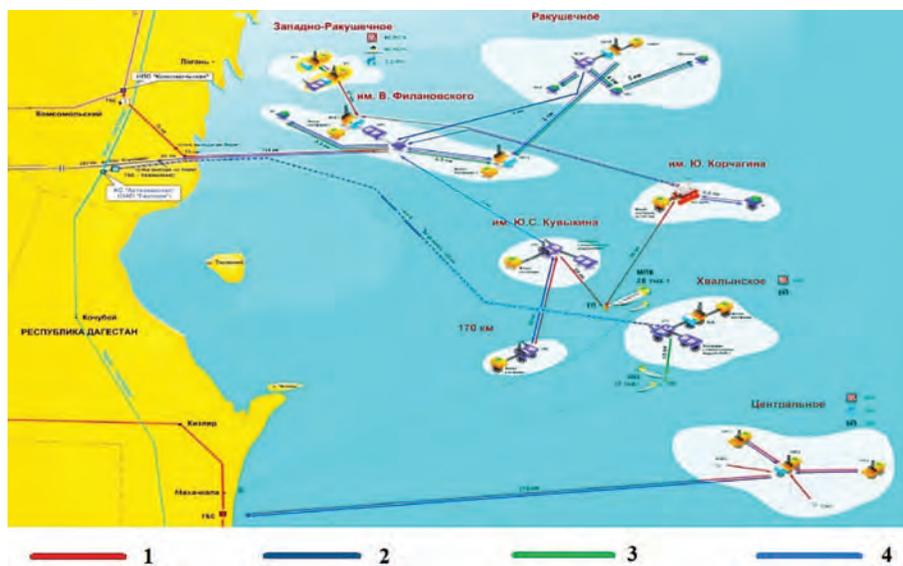
История освоения месторождений УВ в российском секторе акватории Каспия выглядит следующим образом:

- 1995 г. — начало широкомасштабных геолого-разведочных работ;
- 1999 г. — начало поисково-разведочного бурения;
- 2000 г. — открытие новой нефтегазовой провинции на Каспии (промышленный приток газа скв. 1 Хвалынская);
- 2000 г. — открытие месторождения им. Ю. Корчагина;
- 2001 г. — открытие месторождения Ракушечное;
- 2001 г. — открытие месторождения 170-й км;
- 2002 г. — открытие месторождения им. Ю.С. Кувykiна;
- 2005 г. — открытие месторождения им. В. Филановского;
- 2008 г. — открытие месторождений Западно-Ракушечное и Центральное;
- 2010 г. — начало промышленного освоения месторождения им. Ю. Корчагина;
- 2016 г. — начало промышленного освоения месторождения им. В. Филановского.

В целях оптимизации комплексного освоения месторождений «ЛУКОЙЛом» разработана «Концепция обустройства месторождений и структур Северного и Центрального Каспия», разработаны схемы (рис. 1—5) обустройства месторождений им. Ю. Корчагина, им. В. Филановского, Сарматского и Хвалынского. В соответствии с этими схемами обустройства технологический комплекс будет обеспечивать добычу, подготовку и транспорт углеводородов с ряда близлежащих месторождений [3].

В настоящее время идет подготовка к вводу в эксплуатацию месторождения Хвалынское (рис. 4), которое осваивается «ЛУКОЙЛом» совместно с НК «КазМунайГаз», завершается разработка технологической схемы разработки и ТЭО СРП, решается вопрос отделения и утилизации сероводорода, который в небольшом количестве (0,6% масс.) содержится в продукции скважин.

Большие перспективы связаны с освоением ресурсов Центрального блока (521 млн т нефти и 91 млрд м<sup>3</sup> газа), Яламо-Самурского блока (616 млн т нефтяного эквивалента), Инчхе-море (запасы нефти месторождения оценены в 9,3 млн т, газа — в 170 млн м<sup>3</sup>, возможно увеличение до 830—1730 млн м<sup>3</sup>), Дербентского и Димитровского блоков (400 млн т нефтяного эквивалента), Избербашского и Сулакского блоков (200 млн т нефтяного эквивалента), Северо-Каспийского участка



**Рис. 1.** Схема обустройства месторождений российской акватории Каспийского моря: 1 — нефтепроводы; 2 — газопроводы; 3 — водопроводы; 4 — мультифазные трубопроводы; КП — кустовая платформа (на искусственных островах); СДП — система подводной добычи; ТЛП (TLP tension-leg platform) — платформа, прикрепленная ко дну тросами; УТП — устьевая технологическая платформа; ТП — точечный причал; МПК — морской перегрузочный комплекс; ПНХ — плавучее нефтехранилище  
**Fig. 1.** Scheme of field development in Russian waters Caspian Sea: 1 — oil pipelines; 2 — gas pipelines; 3 — water pipelines; 4 — multiphase pipelines; KP — wellhead platform (on artificial islands); SDP — underwater production system; TLP (Tension-Leg Platform) — a platform attached to the bottom with cables; UTP — wellhead technological platform; TP — point berth; MPC — marine transshipment complex; FOS — floating oil storage unit

(300 млн т нефти и 60 млрд м<sup>3</sup> газа) В пределах последнего выявлены 11 перспективных структур, наиболее крупными из которых являются Западно-Ракушечная, Карайская, Укатная, Жесткая и Восточно-Укатная [4].

Проекты разработки и освоения месторождений в российском секторе Каспийского моря отличаются технологической сложностью, они самостоятельно реализуются «ЛУКОЙЛом» с привлечением в основном российских поставщиков и подрядчиков. Месторождение им. В. Филановского — центральное звено Каспийской нефтегазоносной провинции, освоение которой произведено с использованием уникальных технических сооружений [2]. В соответствии с утвержденной политикой ПАО «ЛУКОЙЛ» в части экологии используется система обращения с отходами по принципу нулевого сброса — все производственные отходы собираются и отправляются на берег для дальнейших обезвреживания и утилизации.

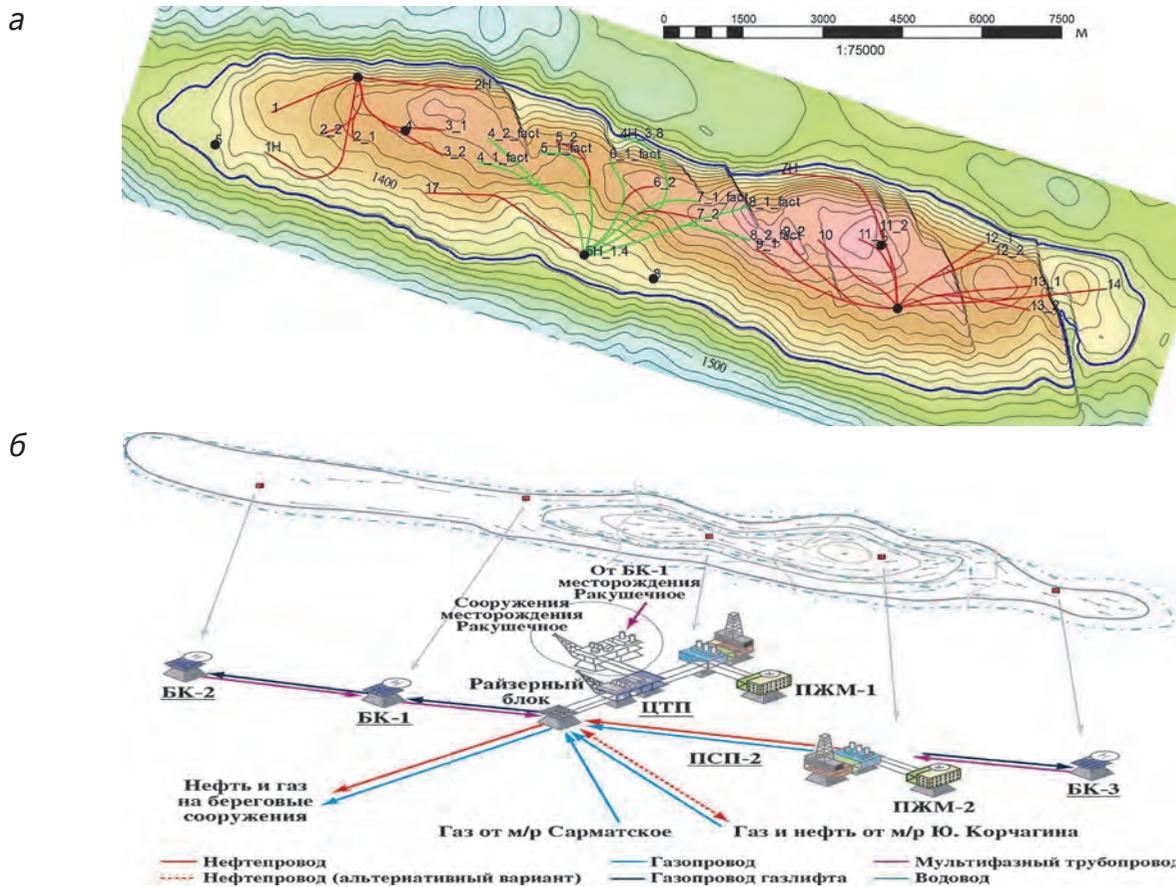
**В азербайджанском секторе** Каспия по состоянию на начало 2022 г. начиная с 30—40-х гг. прошлого века было введено в разведку не менее 46 перспективных площадей, на которых было открыто 30 месторождений нефти, газа и конден-

сата. Средняя успешность поисково-оценочного бурения составила 65%.

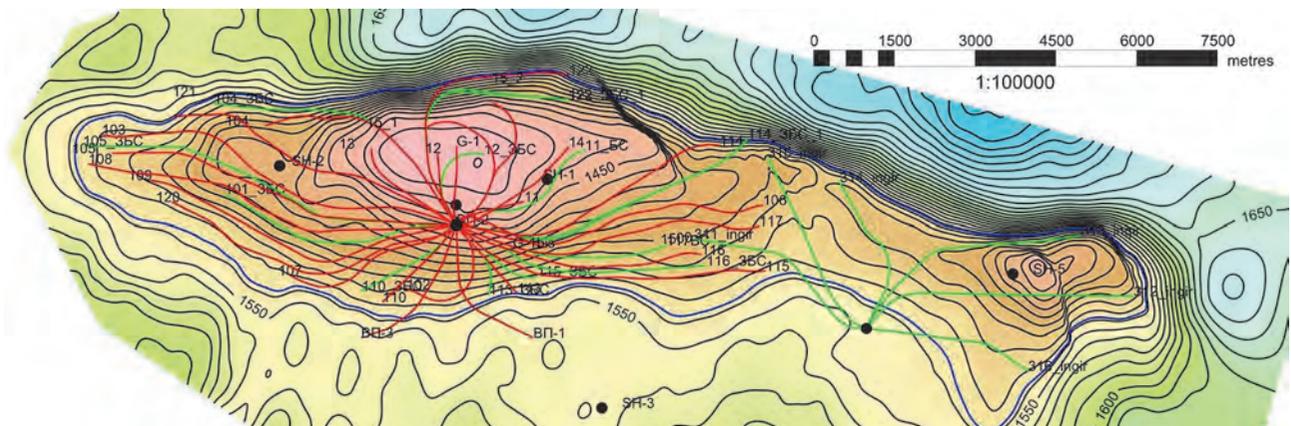
Около 83% всех известных на сегодня морских месторождений было открыто здесь до 1991 г. Среди них — нефтяной гигант Азери-Чираг-Гюнешли (бывшее им. 28 апреля, Каверочкина и им. 26 бакинских комиссаров) и газовое месторождение Шах-Дениз (бывшее Шахово-море). Позже, в 1998 г., было открыто несколько новых, в том числе крупных (Апшерон, Умид) месторождений [6, 7].

Доразведка, выполненная на отдельных площадях сектора, позволила прирастить разведанные ранее запасы и подтвердить наличие промышленных залежей УВ на глубинах более 6 км (Шах-Дениз). По текущим оценкам суммарный объем запасов УВ на месторождениях сектора превышает 4,2 млрд т у.т., в составе которых 74% представлены газом.

Морские скопления углеводородов распределены в двух нефтегазоносных областях Южно-Каспийской провинции, расположенных вдоль бортовых зон одноименной впадины: Апшерон-Прибалханской (Апшеронской НГР) и Восточно-Азербайджанской, или Западного борта.



**Рис. 2.** Схемы расположения скважин (а), обустройства (б) и общий вид обустройства (в) месторождения им. В. Филановского  
**Fig. 2.** Well location diagrams (a), arrangement (b) and general view of the arrangement (v) of the field named after V. Filanovsky



**Рис. 3.** Схема расположения скважин на месторождении им. Ю. Корчагина  
**Fig. 3.** Well location diagram at the field named after Yu. Korchagina

На двух блоках азербайджанской части Каспия, включающих наиболее крупные по запасам месторождения нефти и газа (Азери-Чираг-Гюнешли (АЧГ) и Шах-Дениз), ведется добыча углеводородного сырья.

Анализ и обобщение содержащихся в разных источниках оценок фактических запасов углеводородного сырья в морских месторождениях национальных районов недропользования Каспийского моря позволяет говорить об их суммарном объеме,

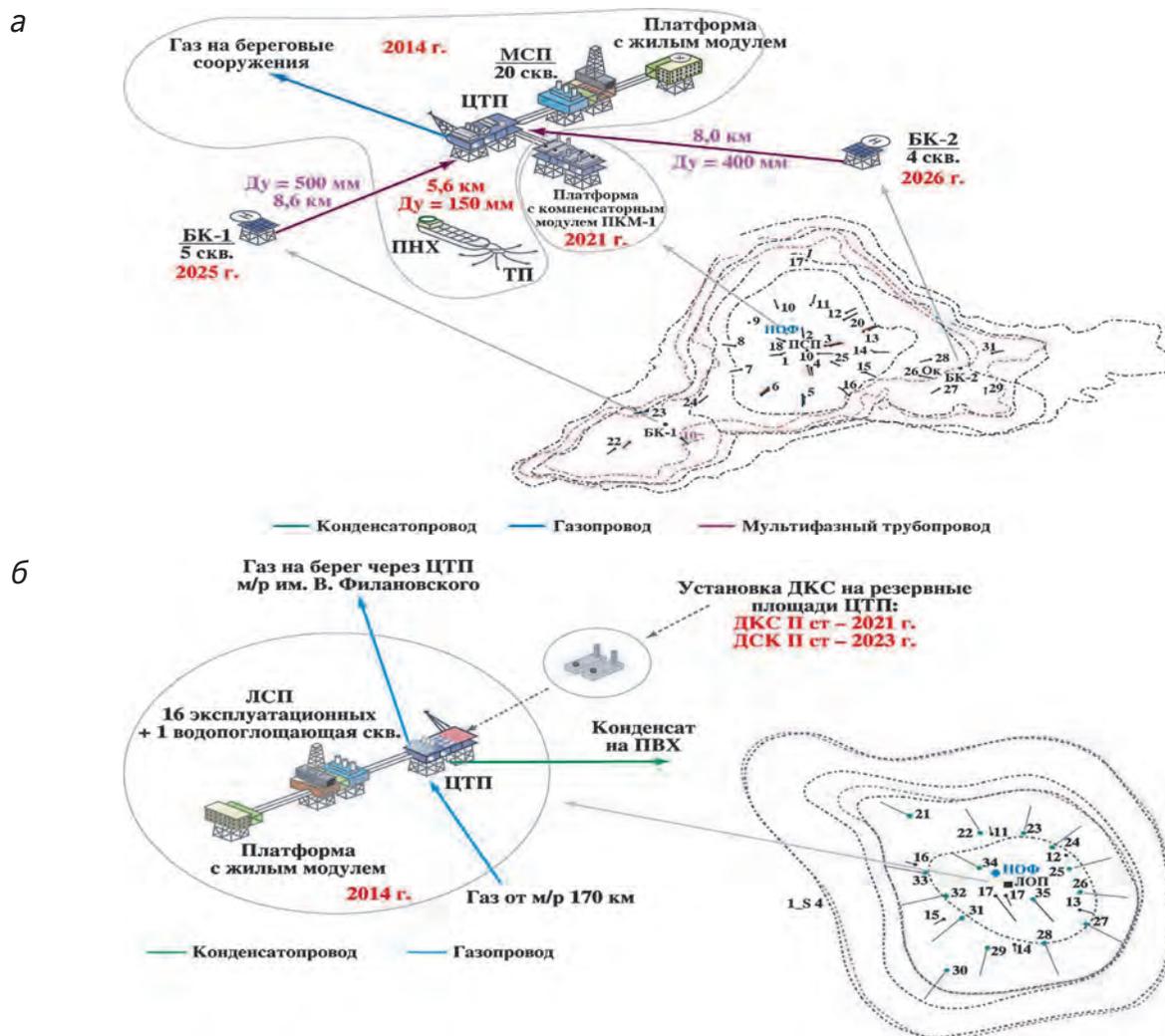


Рис. 4. Схема обустройства Хвалынского (а) и Сарматского (б) месторождений  
Fig. 4. Scheme of development of the Khvalynskoye (a) and Sarmatskoye (b) fields

составляющем 10,82 млрд т у.т., в том числе — 3,09 млрд т жидких УВ и 7,73 трлн м<sup>3</sup> газа [12].

К разработке нефтегазовых месторождений широко привлечены иностранные компании-инвесторы при сохранении контроля над ситуацией за государством. Контроль за участниками проектов организован за счет присутствия в их числе Государственной нефтяной компании Азербайджанской Республики (ГНКАР). Доля ГНКАР в крупнейших проектах следующая: Азери-Чираг-Гюнешли (АЧГ) — 11,65%, Шах-Дениз — 10%. Привлечение крупных транснациональных компаний решает проблемы инвестиций и технологий при разработке месторождений, причем на территории Азербайджана весьма часто применяется режим СРП. Основными участниками проектов являются: BP (Азери-Чираг-Гюнешли, Шах-Дениз);

Chevron (АЧГ); ExxonMobil (АЧГ); Amerada Hess (АЧГ); Iex Coip (АЧГ); Itochu Oil (АЧГ); StatoilHydro (АЧГ, Шах-Дениз); ТРАО (АЧГ, Шах-Дениз); ЛУКОЙЛ (Шах-Дениз); Total (Шах-Дениз, Апшерон); NICO (бывшая OIEC, Иран, Шах-Дениз) (рис. 6).

В 2011 году американская компания KBR заключила соглашение с BP о разработке нового добывающего проекта «Чираг» в рамках разработки месторождений «Азери-Чираг-Гюнешли» [9].

Добыча ведется с платформ: Чираг, Центральное Азери (ЦА), Западное Азери (ЗА) Восточное Азери (ВА) (рис. 7). На платформе Чираг эксплуатируются 19 скважин (13 нефтедобывающих и 6 водонагнетательных). На платформе ЦА эксплуатируются 15 скважин (12 нефтедобывающих и 3 газонагнетательные). На платформе ЗА эксплуатируются 9 скважин, 8 из которых нефтедобывающие.

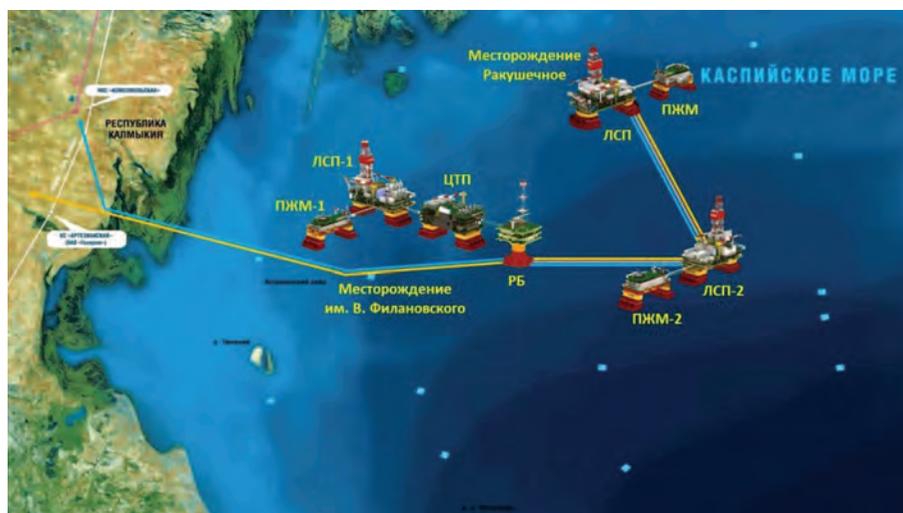


Рис. 5. Схема обустройства месторождения Ракушечное  
 Fig. 5. Development plan for the Rakushechnoye fields



Рис. 6. Месторождения и перспективные площади в акватории Южного Каспия, в освоении которых участвуют иностранные компании  
 Fig. 6. Fields and promising areas in the waters of the South Caspian Sea in the development of which foreign companies participate

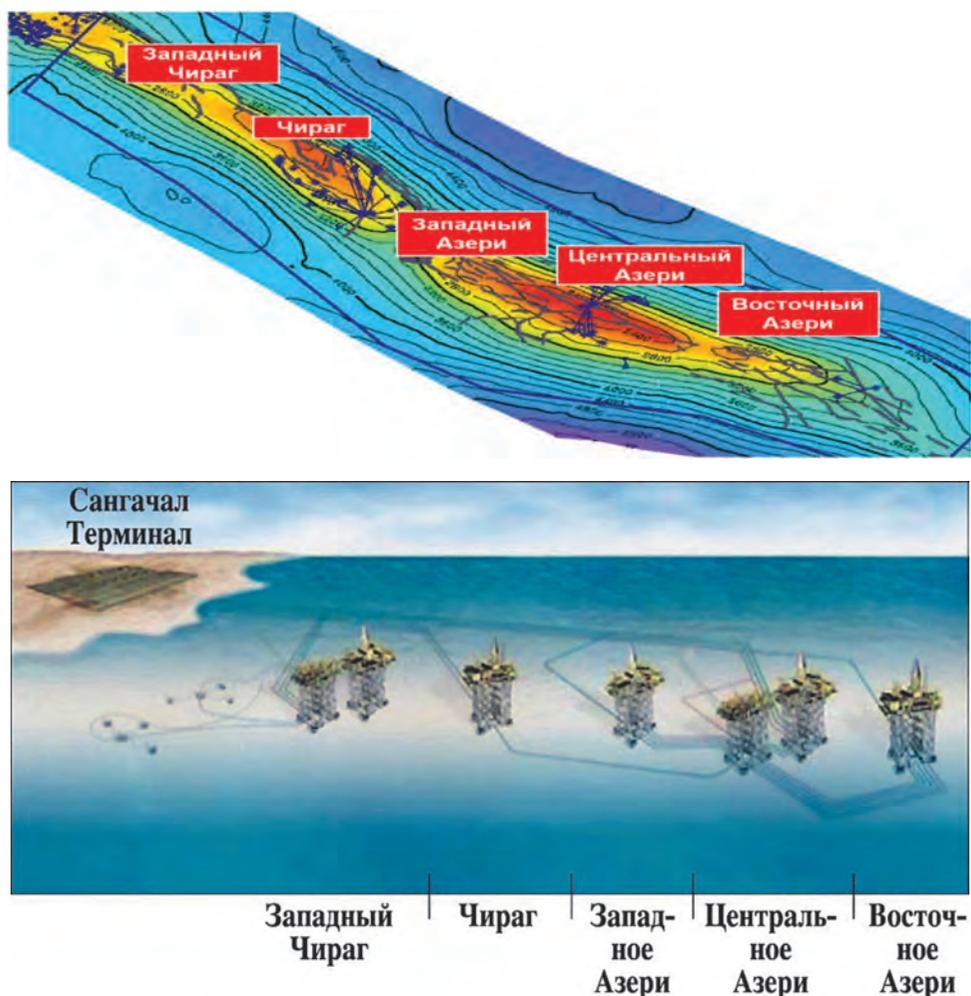
С платформы ВА в настоящее время добывается нефть из 7 нефтедобывающих скважин. В апреле 2008 года началась добыча на глубоководной части месторождения Гюнешли.

Подтвержденные запасы месторождения Шах-Дениз составляют 1,2 трлн м<sup>3</sup> газа и 280 млн т газового конденсата.

В сентябре 2011 года компания Total объявила об открытии месторождения Апшерон. Прогнозные запасы месторождения — 350 млрд м<sup>3</sup> газа и 45 млн т конденсата.

Большие перспективы связаны с освоением ресурсов и запасов структуры Инам (100 млн т нефти и 100 млрд м<sup>3</sup> газа) и месторождением Умид (500 млрд м<sup>3</sup> газа и 65 млн т конденсата).

**В казахстанском секторе** Каспия к началу 2022 г. было разбурено не менее 23 перспективных площадей. При этом около половины их были введены в бурение в восточной, примангышлакской части Среднего Каспия в 70—80-е гг. прошлого века, а на остальных, расположенных на востоке Северного Каспия, бурение выполнялось в 2000—2013 гг. [11].



**Рис. 7.** Схема расположения скважин и обустройства месторождения Азери-Чираг  
**Fig. 7.** Scheme of well location and development of the Azeri-Chirag field

Большая часть месторождений выявлена в юрско-меловых отложениях надсолевого разреза. Три скопления Южно-Эмбенской области (Кашаган, Кашаган Западный, Кайран) установлены в подсолевых карбонатах каменноугольного возраста, имеющих отчасти рифогенное происхождение и относящихся к Кашаган-Тенгизской зоне развития биогерм разного масштаба.

Отсутствие положительных или коммерчески значимых результатов в скважинах, пробуренных в 1970—1980-е гг. вблизи Мангышлакского побережья Каспия наряду с возможными естественно-геологическими причинами отчасти могут быть объяснены так же и тем, что геолого-геофизическая подготовка площадей и точек бурения опиралась на существовавшие в тот период методы и технологии морской геофизической разведки и не учитывала в полной мере характеристики и условия развития углеводородных систем [8].

В этом районе было открыто 9 месторождений нефти, газа и конденсата с суммарными извлекаемыми запасами немногим более 2 млрд т у.т., при этом около половины этого объема представлены нефтью. Практически все открытия нового века приходятся на морскую часть Прикаспийской НГО (нефтегазоносная область). В ее составе 4 месторождения открыты в Южно-Эмбенской НГО, а 5 связаны с морским продолжением Астраханско-Калмыцкой НГО.

На условиях СРП (Соглашение о разделе продукции) реализуется семь проектов по разведке и добыче углеводородов: Северо-Каспийский; Жамбай; Жемчужины; Бузачи Нефть (Северо-Восточный Каратурун); проект «Н» (Нурсултан); Жамбыл; Сатпаев. Для реализации перечисленных проектов широко привлечены иностранные компании. Их деятельность достаточно детально контролируется казахстанскими властями путем участия



Рис. 8. Месторождение Кашаган и общий вид обустройства месторождения  
Fig. 8. Kashagan field and general view of the field development

в них государственной компании «КазМунайГаз». Российская компания «ЛУКОЙЛ» участвует только в проекте Жамбай [10].

В Северо-Каспийском проекте задействованы крупнейшие мировые компании: Total, ExxonMobil, Agip, Royal Dutch/Shell, ConocoPhillips, Inpex. Данная особенность объясняется как стремлением привлечь иностранные инвестиции, так и желанием казахстанской стороны получить доступ к передовым технологиям. Участники консорциума имеют лицензию на 11 каспийских блоков. В настоящее время работы ведутся на шести блоках, включающих структуры Восточный Кашаган, Западный Кашаган, Юго-Западный Кашаган, Актоты, Кайран и Каламкас-море. На всех структурах, за исключением Западного Кашагана, открыты месторождения. Всего извлекаемые запасы в рамках проекта составляют 1694 млн т нефти. Прогнозные запасы газа на месторождениях проекта — около 10 трлн м<sup>3</sup>. Глубина бурения колеблется в широком диапазоне. В частности, на Кашагане она находится в пределах 4,8—5,1 тыс. м. Общий вид обустройства месторождения Кашаган представлен на рисунке 8.

Большие перспективы связаны с освоением ресурсов и запасов структуры Тюб-Караган (388 млн т у.т., в том числе 324,3 млн т нефти), Аташского блока (248,8 млн т у.т., в том числе 141,7 млн т нефти), структуры Курмангазы (ресурсы нефти — от 300 млн т до 1,2 млрд т), а также проектов «Бузачи Нефть» (Северо-Восточный Каратурун), «Жемчужины», «Жамбай», «Жамбыл» «Сатпаев», «Абай», «Исатай», «Шагала» «Махамбет», «Бобек» и «Дархан».

**В туркменском секторе**, по имеющимся на сегодня данным, морское поисково-оценочное бурение осуществлялось на 12 перспективных участках в Прибалханском сегменте Апшеро-Прибалханской НГО (рис. 9) Южно-Каспийской провинции, а 3 — в пределах потенциально нефтегазоносной области Туркменской ступени.

По результатам поисково-оценочного бурения, которое проводилось в период 1976—1986 гг. на перспективных площадях Прибалханского нефтегазоносного района, было открыто 9 месторождений нефти, газа и конденсата.

Приведенная позже, в постсоветский период, доразведка этих месторождений на условиях коммерческого лицензионного недропользования позволила существенно прирастить запасы этих месторождений, примерно до 1,77 млрд. т у.т. Из них 77% представлены газом. Скважины, пробуренные на Туркменской террасе, не дали

положительных или коммерчески значимых результатов.

Месторождения сгруппированы в три блока. Первый включает пять площадей (Машрыков, Овез, Магтымкулы Диярбекир и Гарагол-Дениз). Вторым — 3 площади (Джейтун, Джигалыбек, Челекеньянгуммез). В третий блок входит месторождение Сердар (Кяпаз, Промежуточное), расположенное на границе туркменской и азербайджанской акваторий Южного Каспия. 21 января 2011 г. между правительствами Туркменистана и Азербайджана был подписан Меморандум о взаимопонимании по его совместной разведке, разработке и освоению, в связи с чем оно получило новое наименование — Достлуг (Дружба).

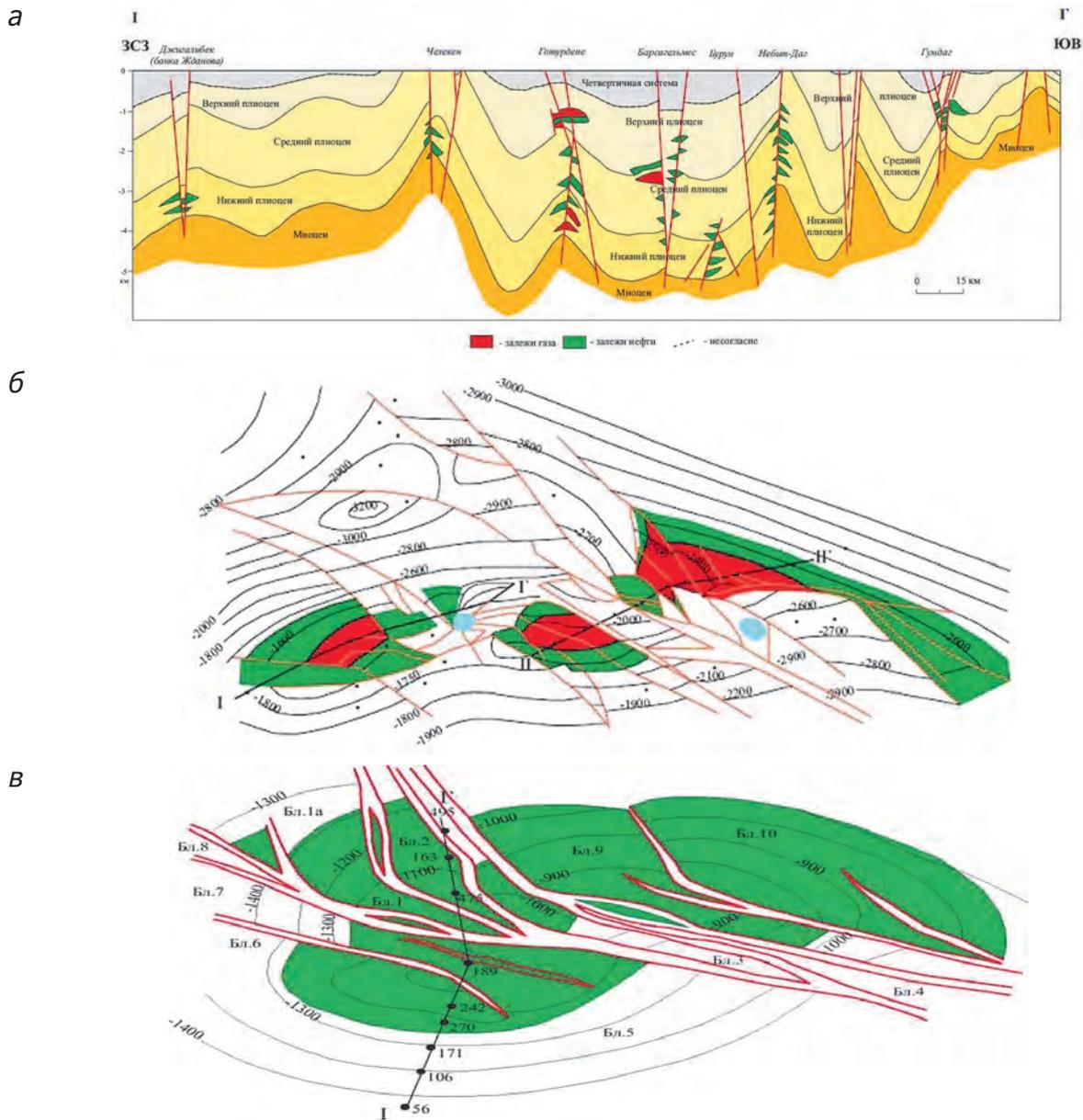
Для работы в этом секторе привлечены зарубежные нефтегазовые компании: Dragon Oil (Челекен); Petronas Charigali (блок 1); RWE (блок 23). По оценке Dragon Oil, месторождения содержат 177,8 млн баррелей доказанных запасов нефти и 40,132 млрд м<sup>3</sup> газа. После завершения программы разведочного бурения запасы блока 1 составляют, по крайней мере, 1 трлн м<sup>3</sup> газа, более чем 200 млн т нефти и более чем 300 млн т газового конденсата. В контрактную территорию блока 1 входят месторождения Гарагол-Дениз (бывшее название — Губкин), Диярбекир (Баринов) и Магтымгулы (Восточный Ливанов).

Туркменские геологи перспективы связывают с освоением ресурсов и запасов месторождения Сердар (блок 3), структур, включенных в блоки 11, 12 (200 млн т нефти и 500 млрд м<sup>3</sup> газа), блоков 23 и 21 (219 млн т нефти, 92 млрд м<sup>3</sup> попутного газа и 100 млрд м<sup>3</sup> природного газа), блоков 29, 30, 31.

Как показывает сделанный выше анализ, в настоящее время на шельфе Каспийского моря ведется интенсивное бурение разведочных и эксплуатационных скважин. Для бурения и освоения месторождения УВ компании-недропользователи пользуются различными технологиями и техническими средствами ППБУ, СПБУ, применяют морские основания, буровые суда и баржи.

**Иранский сектор.** В 2006 г. иранскими специалистами была проведена оценка восьми наиболее перспективных блоков иранской части Каспия, признанных в качестве первоочередных для поставки поисково-оценочных и разведочных работ.

С введением в эксплуатацию в 2009 г. полупогружной буровой платформы «Амир Кабир» Иран приступил к разведке перспективных площадей в своей части акватории. Бурение первой скважины на глубоководной структуре Сардар-Джангал,



**Рис. 9.** Схема распространения месторождений в Апшеро-Прибалханской зоне Южного Каспия (а), структурные карты месторождений Готурдепе (б) и Гумдаг (в)  
**Fig. 9.** Scheme of the distribution of fields in the Apshero-Pribalkhan zone of the Southern Caspian Sea (a), structural maps of the Goturdepe (b) and Gumdag (v) fields

начавшееся в 2010 г. заняло 2 года. В декабре 2011 г. было объявлено об открытии в плиоценовых отложениях гигантского, по оценкам иранских геологов, газоконденсатного месторождения, а в мае 2012 г. — об открытии в его составе нефтяной части (Сардар-Милли), содержащей легкую бессернистую нефть. Разведка этого месторождения продолжается. В восточной части Мазандаранской НГО открыты еще два газовых месторождения. На западе этой НГО,

в ее шельфовой части, пробурены две скважины, не давшие положительного результата.

Значительный объем добываемого здесь сырья, развитая нефтегазодобывающая, перерабатывающая и нефтегазотранспортная инфраструктура Каспийского субрегиона надежно связывают его с внутренними и внешними потребителями УВ сырья и ставят его в число важных участников регионального и мирового топливно-энергетического рынков.

\*\*\*

На прикаспийских территориях производится активная нефтегазодобыча и переработка углеводородного сырья. Здесь действуют 11 морских и приморских нефтегазодобывающих центров, принадлежащих России, Казахстану, Туркменистану и Азербайджану, в приморских зонах этих государств расположены заводы по переработке углеводородного сырья. Важным дополнением к объемам добываемого на суше сырья стало открытие и ввод в разработку крупных и уникальных по запасам месторождений нефти и газа, что способствовало приданию региону мирового значения на рынке углеводородного сырья.

### Заключение

К основным технико-технологическим особенностям разведки и освоения месторождений нефти рациональными технологиями и методами интенсификации добычи нефти и газа в Каспийском море можно отнести следующие:

- создание специальных гидротехнических сооружений и плавучих технических средств с учетом суровых морских гидрометеорологических условий для бурения поисково-оценочных, разведочных и эксплуатационных скважин, новых плавучих краново-монтажных судов, судов обслуживания, трубоукладочных барж и других специальных судов и использование существующих видов морского транспорта для строительства нефтепромысловых объектов непосредственно на море и их обслуживание в процессе поисково-разведочных работ, обустройства, бурения, эксплуатации и ремонта скважин, а также при сборе и транспорте их продукции;
- бурение наклонно-направленного куста скважин с индивидуальных стационарных платформ,

с приэстакадных площадок, на искусственно создаваемых островках, с самоподъемных и полупогружных плавучих установок, и других сооружений как над водой, так и под водой. Форсирование строительства скважин путем создания надежной техники и прогрессивной технологии для бурения наклонно-направленных целевых скважин с необходимым отклонением от вертикали и обеспечения автономности работы буровых бригад в стесненных условиях платформ, приэстакадных и других площадок;

- выбор рациональной конструкции и количества стационарных платформ, приэстакадных площадок, плавучих эксплуатационных палуб и других сооружений для размещения на них оптимального числа скважин, при этом отклонение стволов наклонно-направленных скважин от вертикали должно быть выбрано таким, чтобы обеспечить их нормальную эксплуатацию за весь период службы;

- создание специальных технических средств и технологических процессов, а также плавучих установок, обеспечивающих охрану морской среды, а также воздушного бассейна при проведении поисково-разведочных и буровых работ, эксплуатации и ремонте скважин, при сборе и транспортировке их продукции и обслуживании многогранного нефтепромыслового хозяйства разрабатываемых нефтегазовых месторождений на морской акватории Каспия;

- бурение и освоение месторождения УВ на шельфе Каспийского моря, где в настоящее время ведется интенсивное бурение разведочных и эксплуатационных скважин. Потребность в платформах для Каспийского моря в целом в период до 2025 года оценивается в 71—87 единиц.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Серикова У. С. — участвовала в разработке концепции статьи, подготовке текста статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Алиев Э.М. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Потемкин Г.Н. — внес вклад в работу при разработке методики и результатов исследования и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ulyana S. Serikova — participated in the development of the concept of the article, preparation of the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Emin M. Aliyev — made the main contribution to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Grigory N. Potemkin — contributed to the development of the methodology and results of the study and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Беляева А.С. — внесла вклад в работу при разработке методики и результатов исследования и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Романов П.А. — проанализировал информацию по нефтегазоносным провинциям Каспийского региона, составил схемы по распределению залежей и ловушек по стратиграфическим интервалам и нефтегазоносным областям Каспийского региона и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Albina S. Belyaeva — contributed to the work in developing the methodology and results of the study and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Pavel A. Romanov — analyzed information on the oil and gas provinces of the Caspian region, compiled diagrams for the distribution of deposits and traps across stratigraphic intervals and oil and gas regions of the Caspian region and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Адамс Т. Каспийские углеводороды, политизация региональных трубопроводов и дестабилизация Кавказа. Кавказские региональные исследования. 2000. № 5.
2. Афанасенков А.П., Скворцов М.Б., Никишин А.М. и др. Геологическая история и нефтяные системы Северного Каспия. Вестник Московского университета. Серия геология. 2008. № 3. С. 3—9.
3. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004.
4. Гулиев И.С., Федоров Д.Л., Кулаков С.И. Нефтегазоносность Каспийского региона. Баку: Nafta-Press, 2009.
5. Сенин Б.В., Керимов В.Ю., Богоявленский В.И. и др. Нефтегазоносные провинции морей России и сопредельных акваторий. М.: Недра, 2020.
6. Сенин Б.В., Хаин В.Е., Попков В.И. Черное море. В кн. «Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской платформы (объяснительная записка к тектонической карте Черноморско-Каспийского региона. М-б 1:2 500 000)». Краснодар: КУБГУ, 2009.
7. Kerimov V., Rachinsky M., Mustaev R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin. Iranian Journal of Earth Sciences. 2018. No. 10(1). P. 78—89.
8. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaev R.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits. Oil Industry. 2017. No. 8. P. 36—41.
9. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Etirmishli G.D., Yusubov N.P. Influence of modern geodynamics on the structure and tectonics of the Black sea — Caspian region. Eurasian Mining. 2021. No. 35(1). P. 3—8.
10. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of hydrocarbon generation at great depths in the crust. Doklady Earth Sciences, 2008. No. 483(1). P. 1413—1417.
11. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z., Mustaev R.N., Osipov A.V. Groundwater dynamics forecasting criteria of oil and gas occurrences in Alpine Mobile Belt Basins. Doklady Earth Sciences, 2018. No. 476(2). P. 209—212.
12. Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. Fluid dynamics of oil and gas reservoirs. Ed. by Gorfunkel, M. V. NY, USA: Scrivener Publ. — Wiley, 2015.

## REFERENCES

1. Adams T. Caspian Hydrocarbons, Politicization of Regional Pipelines, and Destabilization of the Caucasus. Caucasian Regional Studies. 2000. No. 5 (In Russ.).
2. Afanasenkov A.P., Skvortsov M.B., Nikishin A.M. et al. Geological History and Oil Systems of the Northern Caspian. Bulletin of Moscow University. Geology Series. 2008. No. 3. pp. 3—9 (In Russ.).
3. Glumov I.F., Malovitsky Ya.P., Novikov A.A., Senin B.V. Regional Geology and Oil and Gas Potential of the Caspian Sea. Moscow: OOO Nedra-Business Center, 2004 (In Russ.).
4. Guliev I.S., Fedorov D.L., Kulakov S.I. Oil and Gas Potential of the Caspian Region. Baku: Nafta-Press, 2009 (In Russ.).
5. Senin B.V., Kerimov V.Yu., Bogoyavlensky V.I., et al. Oil and gas provinces of the seas of Russia and adjacent waters. Moscow: Nedra, 2020 (In Russ.).
6. Senin B.V., Khain V.E., Popkov V.I. Black Sea. In the book «Tectonics of the southern framing of the East European platform (explanatory note to the tectonic map of the Black Sea-Caspian region. Scale 1:2 500 000)». Krasnodar: KUBGU, 2009 (In Russ.).
7. Kerimov V., Rachinsky M., Mustaev R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin. Iranian Journal of Earth Sciences. 2018. No. 10(1). P. 78—89.
8. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaev R.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits. Oil Industry. 2017. No. 8. P. 36—41.
9. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Etirmishli G.D., Yusubov N.P. Influence of modern geodynamics on the structure and tectonics of the Black sea — Caspian region. Eurasian Mining. 2021. No. 35(1). P. 3—8.
10. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of hydrocarbon generation at great depths in the crust. Doklady Earth Sciences, 2008. No. 483(1). P. 1413—1417.
11. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z., Mustaev R.N., Osipov A.V. Groundwater dynamics forecasting criteria of oil and gas occurrences in Alpine Mobile Belt Basins. Doklady Earth Sciences, 2018. No. 476(2). P. 209—212.
12. Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. Fluid dynamics of oil and gas reservoirs. Ed. by Gorfunkel, M.V. NY, USA: Scrivener Publ. — Wiley, 2015.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Серикова Ульяна Сергеевна** — кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [lubava45@gmail.com](mailto:lubava45@gmail.com)  
тел.: +7 (965) 429-39-79  
SPIN-код: 9363-4064  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

**Ulyana S. Serikova** — Cand. of Sci. (Tech.), Associate Professor, Lecturer at the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [lubava45@gmail.com](mailto:lubava45@gmail.com)  
tel.: +7 (965) 429-39-79  
SPIN-code: 9363-4064  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

**Эмиль Малик оглы Алиев** — диссертант, научный сотрудник Института нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики.

9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджан  
e-mail: [emil.aliyev07@gmail.com](mailto:emil.aliyev07@gmail.com)  
тел.: (+994 12) 492-28-43

**Emin M. Aliyev** — dissertator, researcher, Institute of Oil and Gas of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan.

9, F. Amirov str., Baku AZ1000, Azerbaijan  
e-mail: [emil.aliyev07@gmail.com](mailto:emil.aliyev07@gmail.com)  
тел.: (+994 12) 492-28-43

**Потемкин Григорий Николаевич** — доцент, кандидат геолого-минералогических наук, преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [potemkingn@mgri.ru](mailto:potemkingn@mgri.ru)  
тел.: +7 (926) 612-37-77  
SPIN-код: 4229-0832

**Grigory N. Potemkin** — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor, Lecturer at the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [potemkingn@mgri.ru](mailto:potemkingn@mgri.ru)  
tel.: +7 (926) 612-37-77  
SPIN-code: 4229-0832

**Беляева Альбина Сагитовна** — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [belyaevaas@mgri.ru](mailto:belyaevaas@mgri.ru)  
тел.: +7 (960) 300-32-66  
SPIN-код: 6647-6275

**Albina S. Belyaeva** — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [potemkingn@mgri.ru](mailto:potemkingn@mgri.ru)  
tel.: +7 (960) 300-32-66  
SPIN-code: 6647-6275

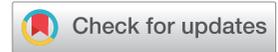
**Романов Павел Анатольевич\*** — преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [romanovpa@mgri.ru](mailto:romanovpa@mgri.ru)  
тел.: +7 (960) 300-32-66  
SPIN-код: 5640-9573  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-7324>

**Pavel A. Romanov\*** — teacher of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [romanovpa@mgri.ru](mailto:romanovpa@mgri.ru)  
tel.: +7 (960) 300-32-66  
SPIN-code: 5640-9573  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-7324>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-45-57>  
УДК 550.38



# ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ЛИТОЛОГО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТ ДАШЛАРЫ И АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ПРОДУКТИВНОЙ ТОЛЩИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ИХ ЗАЛЕГАНИЯ (СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ)

В.Ш. ГУРБАНОВ<sup>1</sup>, Л.А. СУЛТАНОВ<sup>1,\*</sup>, О.С. БРЮХОВЕЦКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики  
9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджан

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В статье исследуются различные геолого-геофизические и физические аспекты, которые влияют на коллекторный потенциал нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений в районе месторождения Нефт Дашлары.

**Цель исследования.** Изучение литолого-петрографических и коллекторских свойств глубоко-залегающих пластов продуктивной толщи (ПТ), а также закономерностей их изменения с глубиной.

**Материалы и методы.** Определены карбонатность, пористость, проницаемость, плотность, гранулометрический состав и скорости распространения продольных сейсмических волн по образцам, отобраным из поисково-разведочных скважин.

**Результаты.** Установлены минимальные, средние и максимальные пределы физических свойств пород. Рассмотрена зависимость коллекторских свойств и других физических факторов от глубины залегания пород. Полученные результаты позволяют прогнозировать нефтегазонасность глубокозалегающих слоев наряду с уже эксплуатируемыми.

**Ключевые слова:** породы, свита, пористость, глубина, скважина, плотность, петрофизика, горизонт, бурения, геофизика, нефтегазонакопление

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Гурбанов В.Ш., Султанов Л.А., Брюховецкий О.С. Геологическое строение и литолого-петрофизические свойства пород месторождения Нефт Дашлары и анализ закономерности изменения коллекторских свойств пород продуктивной толщи в зависимости от глубины их залегания (северо-западной части Южно-Каспийской впадины). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(3):45—57. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-45-57>

Статья поступила в редакцию 08.06.2023

Принята к публикации 05.07.2024

Опубликована 30.09.2024

\* Автор, ответственный за переписку

# GEOLOGICAL STRUCTURE, LITHOLOGICAL AND PETROPHYSICAL PROPERTIES OF NEFT DAŞLARI DEPOSIT: PATTERNS OF CHANGES IN THE RESERVOIR PROPERTIES OF PRODUCTIVE STRATA DEPENDING ON THE DEPTH OF THEIR OCCURRENCE (NORTHWESTERN PART OF THE SOUTH CASPIAN DEPRESSION)

VAGIF Sh. GURBANOV<sup>1</sup>, LATIF A. SULTANOV<sup>1,\*</sup>, OLEG S. BRYUKHOVETSKY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Oil and Gas of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan  
9, F. Amirov str., Baku, AZ1000, Azerbaijan*

<sup>2</sup> *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117997, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** In this article, we investigate geological, geophysical, and physical aspects that affect the reservoir capacity of oil, gas, and gas condensate fields in the area of the Neft Daşları deposit.

**Aim.** The aim was to study the lithologic and petrographic features of deep-seated strata, as well as their reservoir properties, and to reveal regularities of their change with depth.

**Methods and materials.** To that end, the parameters of carbonation, porosity, permeability, density, granulometric composition, and longitudinal seismic wave propagation velocities were determined. Rock specimens of the Neft Daşları field were collected from exploration wells.

**Results.** The minimum, average, and maximum limits of the physical properties of rocks were established. The dependence of reservoir properties and other physical factors on the depth of rock occurrence was considered. The results obtained allow us to assume the oil and gas bearing capacity of deep-seated strata along with those already under operation.

**Keywords:** rocks, formation, porosity, depth, well, density, petrophysics, horizon, drilling, geophysics, oil and gas accumulation

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosures:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Gurbanov V.Sh., Sultanov L.A., Bryukhovetsky O.S. Geological structure, lithological and petrophysical properties of Neft Daşları deposit: patterns of changes in the reservoir properties of productive strata depending on the depth of their occurrence (northwestern part of the South Caspian depression). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):45—57. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-45-57>

*Manuscript received 08 June 2023*

*Accepted 05 July 2024*

*Published 30 September 2024*

\* Corresponding author

В связи с изучением нефтегазоносности глубокозалегающих толщ осадочного чехла Южно-Каспийской впадины (ЮКВ) в Азербайджане в значительном объеме были проведены геолого-разведочные и геофизические работы. Были подготовлены научные критерии, которые могут послужить основанием для будущих геологических исследований. Было отмечено, что основные

залежи нефти и газа в регионе связаны с Южно-Каспийской и Куринской впадинами, которые подвергались интенсивному погружению в течение мезокайнозойского времени.

Несмотря на высокую перспективность центральной части ЮКВ [8], ее глубокозалегающих толщ, проблемы, связанные с извлечением из них нефти и газа, еще не разрешены окончательно.

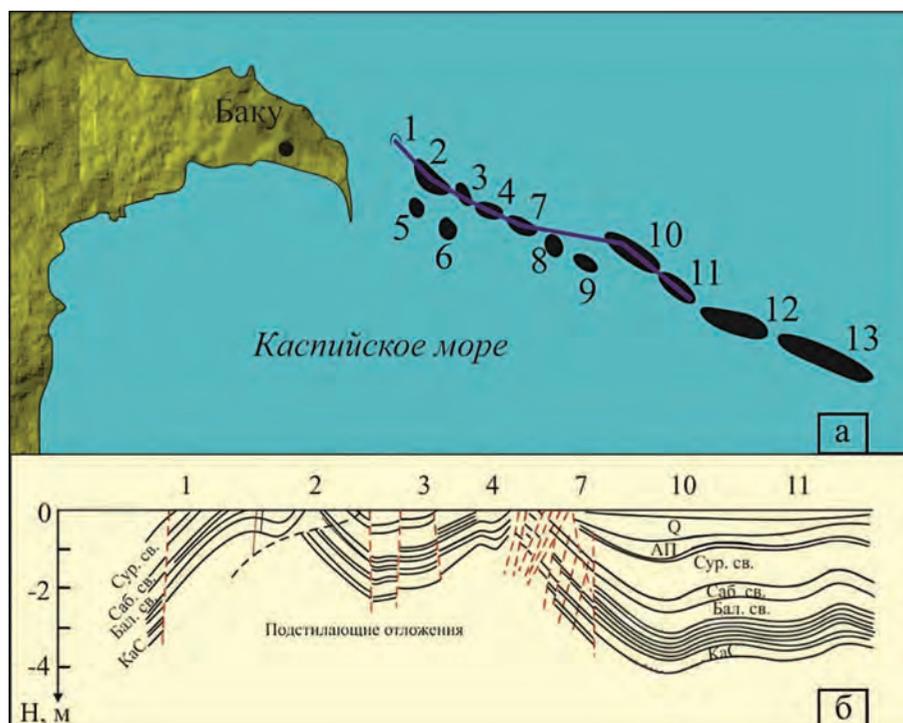
Локальные поднятия отдельных структурных элементов ЮКВ развивались в основном при активности одних и тех же механизмов складкообразования, и их подавляющая часть является структурами нагнетания. К таковым относятся локальные поднятия всей приосевой антиклинальной зоны Апшероно-Прибалханского структурно-мегагаседла, к которой приурочено и поднятие Нефть Дашлары (рис. 1). Данная антиклинальная зона берет начало на северо-западе от поднятия Гошадаш и далее через структуры Пираллахи — Гюргян-дениз — Дарвин кюпеси — Хали — Нефть Дашлары — Азери и т.д. простирается на восток до поднятия Челекен-море, развиваясь в условиях Апшероно-Прибалханской неклассической (остаточной) субдукции. Характерной особенностью структур этой антиклинальной зоны является их формирование механизмами продольного и поперечного изгибов с доминированием первого.

Вследствие этого их большинство являются линейными и удлиненными брахискладками, осложненными грязевулканизмом. В районе Апшеронского архипелага на ряде площадей были осуществлены петрофизические исследования. Их

целью было получение подробной информации о породах-коллекторах, их литолого-петрофизических особенностях, уточнение углеводородных ресурсов и на основе полученных результатов определение дальнейших направлений поисково-разведочных работ.

С этой целью были исследованы геолого-геофизические и физические характеристики пород, которые влияли на коллекторский потенциал мезокайнозойских отложений, содержащих нефтяные, газовые и газоконденсатные скопления в ЮКВ. Такие работы были осуществлены и на месторождении Нефть Дашлары Северо-Апшеронского архипелага.

Складка Нефть Дашлары асимметрична по простиранию и вкрест него. Ее северо-западная периклиналь укорочена, углы падения здесь составляют  $33\text{--}45^\circ$ , юго-восточная периклиналь имеет удлиненную форму, слои залегают под углом  $22\text{--}29^\circ$ . Свод складки смещен в сторону северо-западной периклинали к юго-востоку от продольного тектонического нарушения (рис. 2, 3) и глубоко размыт. В результате отложения кирмакинской свиты, залегающие в ядре складки обнажаются на поверхности морского дна [1, 4].



**Рис. 1.** Карта расположения изучаемой области. Условные обозначения: 1 — Хали; 2 — Чиллов адасы; 3 — Ази Асланов; 4 — Палчыг Пилпилясы; 5 — Джануб; 6 — Джануб-2; 7 — Нефть Дашлары; 8 — Огуз; 9 — Джаббар Гарягды (Д-30); 10 — Гюнешли; 11 — Чираг; 12 — Азери; 13 — Кяпаз

**Fig. 1.** Map of the location of the studied area. Symbols: 1 — Khali; 2 — Chilov adasy; 3 — Azi Aslanov; 4 — Palchig Pilpilasi; 5 — Janub; 6 — Janub-2; 7 — Oil Dashlars; 8 — Oguz; 9 — Jabbar Garyagdy (D-30); 10 — Guneshli; 11 — Chirag; 12 — Azeri; 13 — Kapaz

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

Свод поднятия осложнен крупным продольным разрывом, который по существу является широкой зоной интенсивной дизъюнктивной дислокации, сложенной сильно перематыми брекчиевидными отложениями олигоцен-миоценового возраста. В целом складка осложнена двумя продольными и большим числом поперечных разрывов (рис. 2). В ее юго-восточной части, на пересечении разрывных нарушений, располагается грязевой вулкан. Здесь на дне моря имеются многочисленные грифоны, непрерывно выделяющие нефть и газ [1].

Юго-западное крыло складки более крутое с углами падения в основном в  $35\text{--}40^\circ$ , а северо-восточное относительно пологое. Здесь слои залегают под углом  $27\text{--}30^\circ$ . Однако на северо-восточном крыле, ближе к юго-восточной периклинали, углы падения пластов составляют  $45\text{--}50^\circ$ . На некоторых участках, в приосевой полосе северо-восточного крыла, в тектоническом блоке между осепродольными разрывами углы падения пластов достигают  $72^\circ$  (рис. 3).

Сейсморазведкой было установлено, что в пределах юго-восточной периклинали шарнир складки разветвляется, и она с севера кулисообразно сочленяется со структурой Гюнешли через неглубокую седловину, а с юга — с поднятием Нефт Дашлары-2. На северо-западе она отделяется

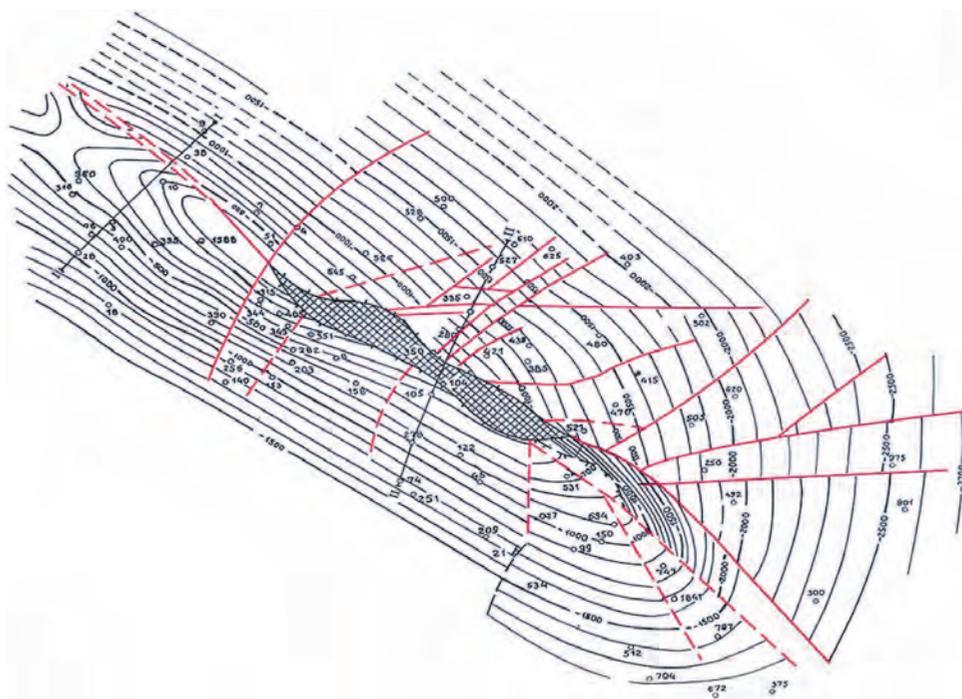
от складки Палчыг Пильпиляси слабо выраженной седловиной.

Осадочный разрез месторождения Нефт Дашлары изучен от коунской свиты до четвертичных отложений включительно.

Глубокой поисково-разведочной скважиной были вскрыты и изучены отложения коунской, майкопской серий, среднего, верхнего миоцена и плиоцена. Максимальная толщина этих отложений составляет 4650 м.

Майкопская серия вскрыта скважиной, в сводовой части складки, она состоит из песков и глин с прослойками вулканического пепла и растительных остатков.

В разрезе продуктивной толщи (ПТ) был выявлен целый ряд нефтеносных горизонтов. Калинская подошвенная свита ПТ представлена алевролитами и глинистыми отложениями с прослойками мелкозернистых песков и песчаников. Пески кварцевые, средне-мелкозернистые, глины слабопесчанистые и слабокарбонатные. Состав и мощность песчаных горизонтов и глинистых прослоев, разделяющих их, по площади нестабильны. Песчанистость разреза от подошвы к кровле свиты и от крыльев к своду складки увеличивается до 70%. Свита делится на 4 нефтегазоносных горизонта. В нижнем горизонте в ряде блоков выделяются еще 4 подгоризонта [4].



**Рис. 2.** Месторождение Нефт Дашлары. Структурная карта по кровле кирмакинской свиты ПТ (продуктивной толщ)

**Fig. 2.** The field of Oil Dashlars. Structural map of the roof of the Kirmakin formation PT (productive strata)

Для определения запасов эксплуатационного объекта по площади необходим анализ накопленно-геолого-геофизического, промыслового материалов и комплексное использование их результатов. По материалам каждой скважины интерпретируются и определяются значения таких параметров, как эффективная мощность, пористость, нефтенасыщенность. Используемая методика реализуется по программе алгоритмов [3, 5].

Известно, что поиски и разведка месторождений нефти и газа, их разработка и оценка потенциала нефтегазоносности коллекторов зависят от петрофизических характеристик отложений, составляющих разрез площади.

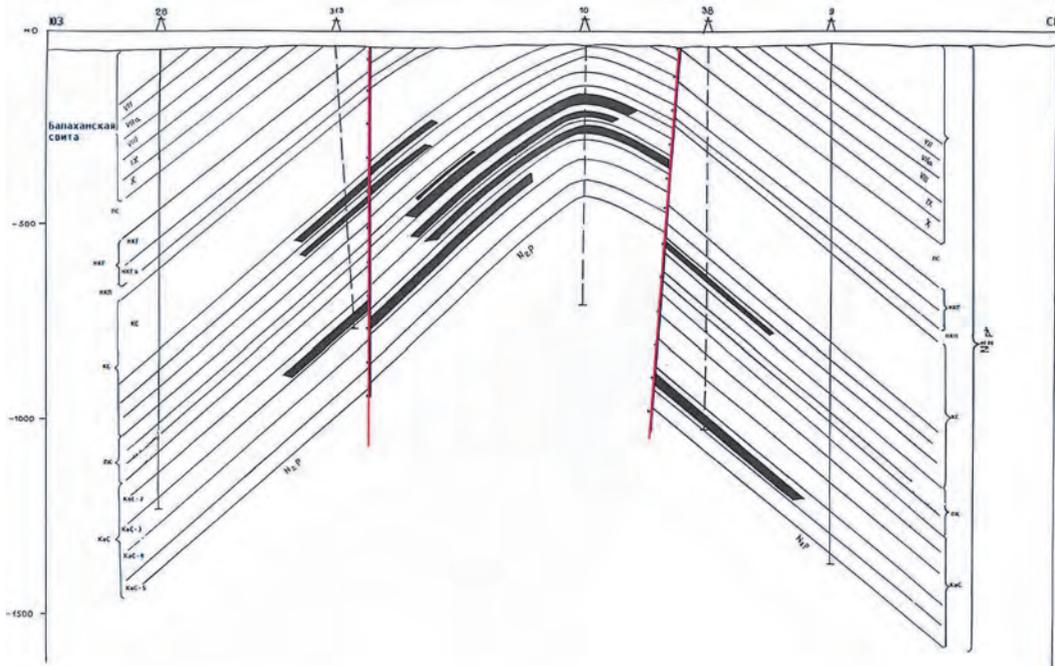
Для определения физических и коллекторских свойств, а также их изменения с глубиной на площади Нефть Дашлары были составлены таблица и графики, отражающие петрофизические характеристики пород (табл. 1, рис. 4) [6, 10].

Месторождение характеризуется пластовым, литологическим и тектоническим типами ловушек и содержит 26 нефтеносных объектов, приуроченных к свитам и горизонтам ПТ. Подстилающие ПТ отложения (коунская свита — понтический ярус) с точки зрения их нефтегазоносности представляют интерес по данным более 25 скважин.

В нефтеносных объектах скопления газа встречаются в растворенном виде. Однако в некоторых случаях отмечается его самостоятельный выход. Нефтеносность калинской свиты была установлена во всех тектонических блоках структуры.

Как следует из таблицы 1 и графиков (рис. 4), в глубинном интервале 430—480 м породы представлены песчано-глинистыми алевритами с карбонатностью в 9,7%, пористостью 16,3% и проницаемостью  $59,7 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup>. Очевидно, низкий процент карбонатности и наличие определенного количества открытых пор способствовали образованию или сохранению хорошей проницаемости при средней плотности пород (2,45) и скорости сейсмических волн в 2400 м/сек.

Интервал глубин 480—600 м сложен алевритовыми глинами с карбонатностью 19,14%. В данном случае глинистый состав и относительно высокая карбонатность пород со средней плотностью (2,50) и скоростью сейсмических волн в 2550 м характеризуются очень слабой проницаемостью, составляющей  $5,35 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup> (табл. 1 и рис. 4). При глинистом составе повышение карбонатности, вероятно, способствовало образованию трещин, т.е. вторичной пористости, ставшей основной причиной возникновения незначительной проницаемости.



**Рис. 3.** Поперечный геологический профиль через месторождение Нефть Дашлары. Свиты ПТ: KаС — калинская свита; PK — подкирмакинская свита; KС — кирмакинская свита; НКП — надкирмакинская песчанистая свита; KС-1 — первый, KС-2 — второй горизонты кирмакинской свиты

**Fig. 3.** Transverse geological profile through the oilfield Dashlary. PT formations: Kaskalinsky formation; PK — Podkirmakinsky formation; KS — Kirmakinsky formation; NKP — Nadkirmakinsky sandy formation; KS-1 — the first, KS-2 — the second horizons of the Kirmakinsky formation

# ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

**Таблица 1.** Пределы изменения средних значений физических свойств и степень проницаемости осадочных пород ПТ месторождения Нефть Дашлары

**Table 1.** The limits of change are the average values of physical properties and the degree of permeability of sedimentary rocks of the PT oil field Dashlary

Интервалы глубин, м.	Литология	Карбонатность, % мин.—макс. ср.	Плотность, $\sigma$ , г/см <sup>3</sup> мин.—макс. ср.	Скорость распространения упругих волн, V, м/с мин.—макс. ср.	Пористость, % мин.—макс. ср.	Проницаемость, $10^{-15}$ мкм <sup>2</sup> мин.—макс. ср.	Степень проницаемости
430—480	Песчано-глинистые алевролиты	8,3—12,8 9,7	2,42—2,50 2,45	2200—2600 2400	11,6—20,1 16,3	28,5—79,4 59,7	Хорошая
480—600	Алевритовые глины	4,9—26,8 19,14	2,36—2,56 2,50	2000—3100 2650	12,4—17,0 11,0	2,6—8,1 5,35	Очень слабая
640—690	Глинисто-песчаные алевролиты	5,8—12,4 7,53	1,6—2,34 2,20	1700—2400 1980	11,0—33,6 16,92	0,1—95,7 40,68	Хорошая
690—930	Глинисто-песчаные алевролиты	8,9—9,9 9,37	2,01—2,10 2,05	2400—2600 2500	19,5—22,9 21,4	0,1—95,7 2,20	Очень слабая
930—940	Песчано-глинистые алевролиты	8,2—9,4 8,8	2,01—2,47 2,37	2300—3200 3000	9,9—25,7 15,5	1—3,5 2,3	Очень слабая
940—1130	Глинистые алевролиты	4,5—6,0 5,27	2,37—2,67 2,56	2500—3000 2800	6,0—16,0 9,57	214,9	Высокая
113—1400	Глинисто-песчаные алевролиты	23,4—25,8 24,60	2,38—2,53 2,44	2100—3200 2580	9,7—11,1 10,40	2,25—6,23 4,24	Очень слабая
150—1550	Глинистые алевролиты	3,0—11,0 7,0	2,40—2,47 2,44	2300—2400 2350	12,6—14,9 13,75	0,6—2,0 1,3	Отсутствует
160—2050	Глинистые алевролиты	3,8—15,7 11,8	2,47—2,56 2,51	3500—3600 3550	7,6—10,8 9,02	56,9	Хорошая
2050—2200	Песчано-глинистые алевролиты	4,1—14,6 9,79	2,36—2,43 2,40	3150	13,6—17,9 14,8	12,5	Средняя
2200—2500	Глинистые алевролиты	3,8—15,7 11,8	2,47—2,56 2,51	3500—3600 3550	7,6—10,8 9,02	56,9	Хорошая
2550—3550	Глинистые алевролиты	7,8—8,7 8,1	2,43—2,60 2,56	3600	8,5—10,0 9,9	66,9	Хорошая
3550—4600	Глинисто-песчаные алевролиты	2,8—10,8 6,8	2,58—2,64 2,61	4000	5,3—14,2 9,57)	60,5	Хорошая

Примечание: в числителе минимальные и максимальные значения, в знаменателе — средние значения.

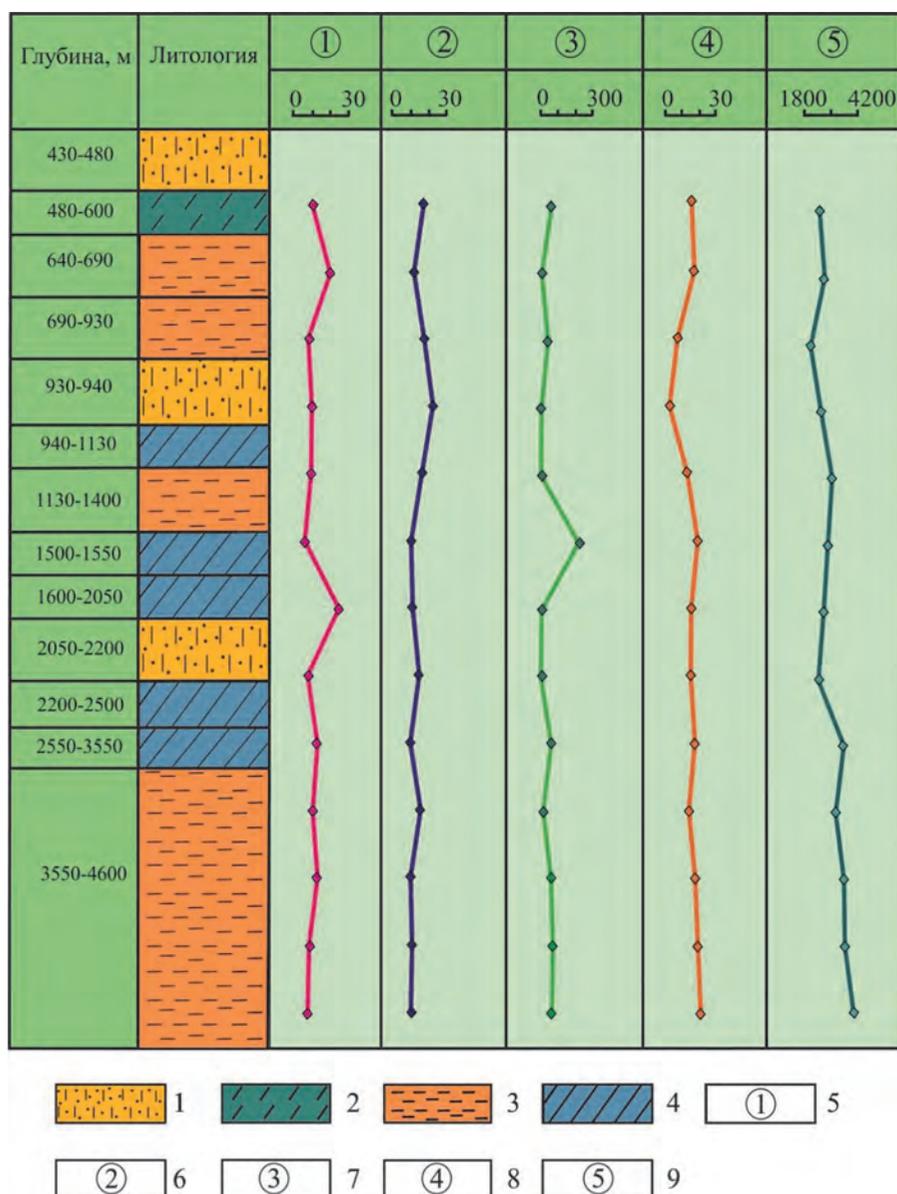
Note: the numerator has minimum and maximum values, and the denominator has average values.

На глубинах 640—690 м залегают глинисто-песчаные алевролиты. Очевидно, глины частично замещены песками, карбонатность упала до 7,53%, а пористость повысилась до 16,92%; соответственно, улучшилась и проницаемость, достигнув  $40,68 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup> при плотности 2,20 и скорости сейсмических волн в 1980 м/с. Относительно низкие плотность и скорость сейсмических волн, а также хорошая проницаемость, по-видимому, указывают на наличие в данных породах первичной открытой пористости.

Интервал глубин 690—930 м выражен глинисто-песчаными алевролитами с карбонатностью

в 9,37% и пористостью 21,4%. Однако при этом проницаемость фактически исчезла ( $2,20 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup>), понизилась и плотность (2,05), хотя существенно возросла (2500 м/сек) скорость сейсмических волн (табл. 1). Очевидно, повышение пористости касается их субкапиллярной закрытой разновидности, которое не способствует увеличению проницаемости пород.

На глубинах 930—940 м залегают песчано-глинистые алевролиты с карбонатностью до 8,8% и пористостью до 15,5%, плотностью 2,37 и с относительно высокой скоростью сейсмических волн, составляющей 3000 м/с. Как и в предыдущем



**Рис. 4.** Литолого-петрофизические свойства пород месторождения Нефт Дашлары: 1 — песчано-глинистые алевролиты; 2 — алевритовые глины; 3 — глинисто-песчаные алевролиты; 4 — глинистые алевролиты; 5 — карбонат, %; 6 — пористость, %; 7 — проницаемость,  $10^{-15}$  г/см<sup>2</sup>; 8 — плотность, г/см<sup>2</sup>; 9 — скорость распространения упругих волн, V, м/с

**Fig. 4.** Lithological and petrophysical properties of rocks of the Neftdashlary deposit: 1 — sandy-clay siltstones; 2 — siltstone clays; 3 — clay-sandy siltstones; 4 — clay siltstones; 5 — carbonate, %; 6 — porosity, %; 7 — permeability,  $10^{-15}$  g/cm<sup>2</sup>; 8 — density, g/cm<sup>2</sup>; 9 — propagation velocity elastic waves, V, m/s

случае, несмотря на достаточную пористость, породы практически лишены проницаемости ( $2,3 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup>), по-видимому, из-за развития в основном субкапиллярной пористости.

Следующий интервал глубин, 940—1130 м, состоит из глинистых алевролитов с низкой карбонатностью (5,27%) и невысокой пористостью (9,57%). Плотность относительно высокая (2,56),

а скорость сейсмических волн составляет 2800 м/сек. При этом проницаемость пород составляет  $214,9 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup>, что может быть связано с относительно хорошим развитием суперкапиллярной пористости или с появлением ее вторичной разновидности.

Глинисто-песчаные алевролиты слагают интервал глубин 1130—1400 м с карбонатностью

24,6%, пористостью 10,4%, плотностью 2,44 и скоростью сейсмических волн 2530 м/сек. При достаточной пористости очень слабая проницаемость ( $4,24 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup>) может быть связана с высокой карбонатностью и, по-видимому, с развитием в основном закрытой или субкапиллярной пористости.

Интервал глубин 1500—1550 м представлен глинистыми алевролитами с карбонатностью 7,0%, пористостью 13,75%, а плотность и скорость сейсмических волн такая же, как в предыдущем интервале. В данном случае практически отсутствие проницаемости ( $1,3 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup>) свидетельствует о том, что существующая пористость является субкапиллярной или закрытой.

Породы глубинного интервала 1600—2050 м являются глинистыми алевролитами с карбонатностью 11,8% и пористостью 9,02% при плотности 2,51 и скорости сейсмических волн в 3550 м/сек. Их проницаемость составляет  $56,9 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup>. Хороший показатель проницаемости может быть связан с развитием первичных или вторичных сверхкапиллярных открытых пор.

Интервал глубин 2050—2200 м представлен песчано-глинистыми алевролитами с карбонатностью в 9,79% и пористостью 14,8% (табл. 1 и рис. 3). При плотности 2,40 и скорости сейсмических волн в 3150 м/сек эти породы обладают проницаемостью в  $12,5 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup>, что указывает на средний уровень, связанный с присутствием определенного количества сверхкапиллярной открытой пористости в породах.

На глубинах 2200—2500 м залегают глинистые алевролиты с карбонатностью в 11,8% и пористостью в 9,02%. Эти породы при плотности 2,51 и скорости сейсмических волн в 3550 м/сек имеют хорошую проницаемость ( $56,9 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup>), что свидетельствует о присутствии в них достаточного количества открытых сверхкапиллярных пор.

Интервал глубин 2550—3550 м сложен глинистыми алевролитами с карбонатностью 8,1%, пористостью 9,9%, плотностью 2,56, скоростью сейсмических волн в 3600 м/сек, обладающих хорошей проницаемостью в  $66,9 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup> (табл. 1 и рис. 4), которая может быть связана, как и в предыдущих случаях, с присутствием в них открытых капиллярных и сверхкапиллярных пор.

На глубинах 3550—4600 м породы представлены глинисто-песчаными алевролитами карбонатностью в 6,8%, пористостью 9,57% при плотности 2,61 и скорости сейсмических волн в 4000 м/сек. С такой петрофизической характеристикой

их проницаемость составляет  $60,5 \times 10^{-15}$  мкм<sup>2</sup>, что, очевидно, связано с наличием открытой капиллярной и сверхкапиллярной пористости.

Представленный анализ влияния физических параметров пород на их проницаемость позволяет заключить, что основное влияние на проницаемость оказывают литофациальный состав, степень отсортированности, величина карбонатности и тип пористости. Однако повышенная карбонатность пород может стимулировать появление в них трещиноватости при возникновении как жестких термобарических условий, так и динамических напряжений, а также и кавернозных пустот выщелачивания в случае циркуляции вод в образовавшихся трещинах. Эти процессы положительно влияют на проницаемость высококарбонатных пород.

Плотность среды и скорость сейсмических волн являются косвенными показателями проницаемости, находясь в обратной зависимости с ней и в прямой между собой.

Все сказанное можно наблюдать и на графиках (рис. 4), на которых более четко прослеживается зависимость между карбонатностью и проницаемостью, чем между пористостью и проницаемостью.

На площади Нефт Дашлары вскрытая четырьмя скважинами максимальная мощность ПТ составляет 4600 м. На отдельных участках месторождения глубокими разведочными скважинами, на больших глубинах были вскрыты некоторые горизонты ПТ. Плотность глинистых пород здесь составляет 2,20—2,48 г/см<sup>3</sup>, пористость 8,3—17,0% (в некоторых случаях достигает 25%), распространение ультразвуковых волн 2150—2200 м/сек. Плотность алевролитов составляют 2,13—2,60 г/см<sup>3</sup>, пористость варьирует между 15 и 28%, распространение ультразвуковых волн колеблется между 1300 и 2200 м/сек. Плотность песчаников изменяется от 2,00 до 2,50 г/см<sup>3</sup>, пористость изменяется между 7,2 и 22,0%. Во всех породах в зависимости от литологического состава распространение ультразвуковых волн изменяется в пределах 850—2800 м/сек. Карбонатные глины ПТ подвергались изменению, и их физические свойства характеризуются следующими величинами: плотность 2,02—2,59 г/см<sup>3</sup>, пористость 8,5—30,0%, скорость распространения ультразвуковых волн 2100—3500 м/сек.

При изучении гранулометрического состава пород, слагающих свиты ПТ площади Нефт Дашлары, установлено, что диаметр зерен изменяется в основном от 0,1 до 0,01 мм. Это свидетельствует

о том, что в разрезе превалирует алевритовая фа-ция относительно других терригенных разностей.

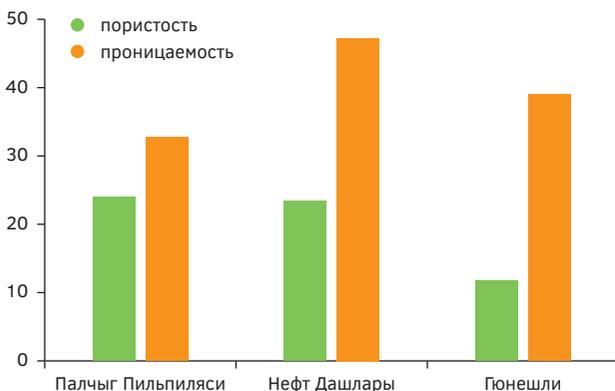
Как было отмечено, месторождение Нефт Дашлары многоэтажное. Для выяснения коллекторских свойств отложений с глубиной нами были корреляционно проанализированы пределы изменений физических параметров.

Проведенные исследования дают возможность предположить, что изменения физических характеристик пород связаны не только с литологической неоднородностью пород, карбонатностью, но и с тектонической активностью среды. В результате установлены закономерности изменения коэффициентов пористости и проницаемости.

Из таблицы 1, построенных графиков (рис. 4) и их анализа видно, что коллекторские свойства пород в пределах рассматриваемых глубин изменяются от непроницаемых до высокопроницаемых независимо от глубины их залегания, что дает основание прогнозировать наличие коллекторов на относительно больших глубинах. В некоторых же случаях в связи с петрофизическими изменениями нарушаются отдельные закономерности. Это видно из графиков изменения пределов значений коллекторских характеристик пород (рис. 4).

Нами были проанализированы также пределы изменения пористости и проницаемости пород по отдельным площадям на основе их петрофизических характеристик (рис. 5) [2, 7, 9], указывающие на отсутствие прямой зависимости между общей пористостью и проницаемостью пород.

Обработка и интерпретация петрофизических и промыслово-геофизических материалов по месторождению Нефт Дашлары позволили установить,



**Рис. 5.** Характер изменения средних значений пористости и проницаемости по площадям Палчыг Пильпиласи, Нефт Дашлары и Гюнешли

**Fig. 5.** The nature of the change in the average values of porosity and permeability over the areas of Palchig Pilpilasi, Neftdashlary and Guneshli

что некоторые горизонты ПТ с точки зрения их нефтегазоносности являются более перспективными.

Из анализа данных изменения литолого-петрофизических свойств по разрезу и изменению легкой минералогической фракции в зависимости от стратиграфического возраста вмещающих отложений (табл. 2) можно установить, что все стратиграфические комплексы имеют хорошие коллекторские свойства. Большой интерес представляет изучение пористости и проницаемости Калинской свиты, которая является потенциальным объектом для поиска нефтяных залежей в пределах Апшеронского нефтегазозносного района. Анализ данных по указанной свите показал (рис. 6, 7), что вся область характеризуется хорошими коллекторскими свойствами и благоприятными условиями для накопления углеводородов.

Проведенный анализ литолого-петрографических свойств отложений месторождения Нефт Дашлары и их коллекторских свойств по керновому материалу позволяет заключить, что изменение коллекторских свойств пород с глубиной — явление многофункциональное. При определенных термобарических и геодинамических условиях породы, в особенности с повышенной карбонатностью, могут приобрести или улучшить свои коллекторские свойства за счет формирования в них вторичной пористости. Полученный результат дает основание прогнозировать нефтегазоносность глубоководных слоев.

Из приведенного анализа петрофизических характеристик пород разреза ПТ можно сделать следующие выводы.

1. Изменение в широком диапазоне коллекторских свойств пород на площади Нефт Дашлары связано в основном с условиями литогенеза, с неоднородностью литологического состава осадочных комплексов, глубинами залегания пород с тектонической активностью региона.

2. Скорость распространения ультразвуковых волн возрастает с увеличением плотности пород, а уменьшение их скорости — с улучшением коллекторских свойств пород.

3. Карбонатность и коллекторские свойства пород находятся в обратной зависимости, однако при относительно жестких термобарических и динамических условиях породы с высокой карбонатностью и глинистостью могут приобрести или улучшить свои коллекторские свойства за счет формирования в них вторичной пористости.

4. Проведенные петрофизические исследования свидетельствуют об отсутствии прямой

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ /  
GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

Таблица 2. Легкая минеральная фракция пород по площадям  
Table 2. Light mineral fraction of rocks by area

Нефтегазовые месторождения	Легкая минеральная фракция	Стратиграфия					
		СП	НКГ	НКП	КС	ПК	КаС
Чиллов адасы	Кварц	-	-	-	35	45	64,5
	Полевой шпат	-	-	-	53	50	21,6
	Фрагменты пород	-	-	-	12	5	13,9
	Глауконит и др.	-	-	-			-
Джануб	Кварц	67,3	44,8	76,4	60,5	82,7	-
	Полевой шпат	4,6	11,9	7,2	6,7	5,4	-
	Фрагменты пород	28	42,9	15,9	32,5	11,4	-
	Глауконит и др.	0,1	0,4	0,5	0,3	0,5	-
Палчыг Пильпиля	Кварц	-	-	-	25	51	56
	Полевой шпат	-	-	-	37	37,5	23,2
	Фрагменты пород	-	-	-	38	11,5	20,8
	Глауконит и др.	-	-	-	-	-	-
Нефт Дашлары	Кварц	69,4	-	22,5	41,8	53,5	47,3
	Полевой шпат	3,5	-	20	23,4	24,1	23,4
	Фрагменты пород	27	-	57,5	34,8	21,5	29
	Глауконит и др.	0,1	-	-	-	0,9	0,3
Гюнешли	Кварц	64,8	-	29,7	-	45,1	33
	Полевой шпат	5,8	-	57,3	-	42,6	50,1
	Фрагменты пород	19,4	-	4,4	-	3,7	13,3
	Глауконит и др.	10	-	8,6	-	8,6	3,6

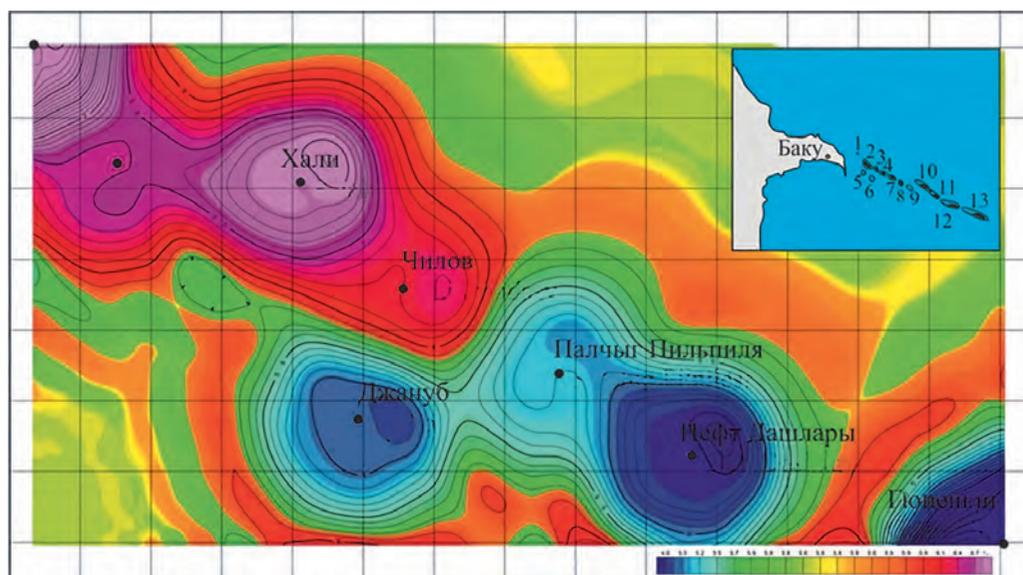


Рис. 6. Схема изменения карбонатности пород, %  
Fig. 6. Scheme of changes in the carbonate content of rocks, %

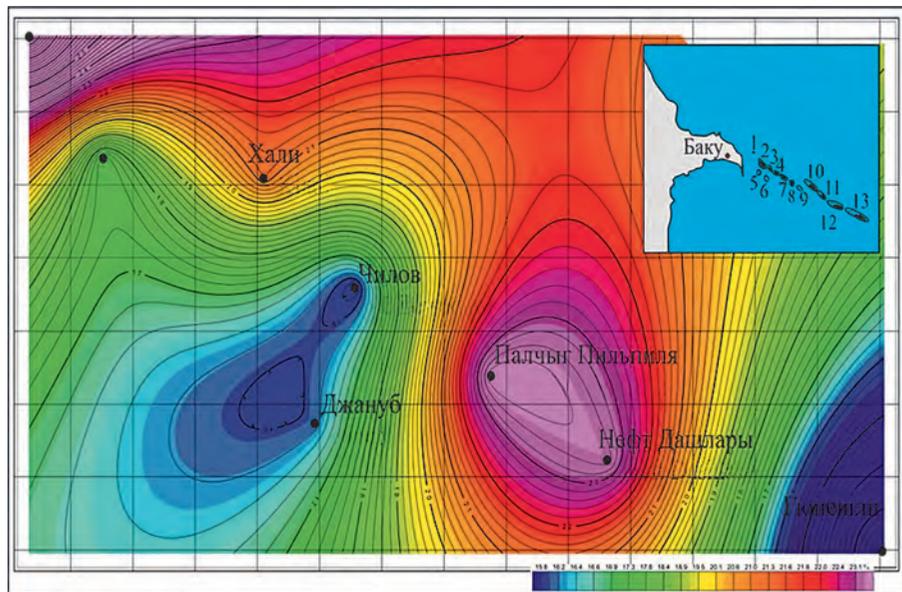


Рис. 7. Карта изменения пористости, %  
Fig. 7. Porosity change map, %

функциональной зависимости между коллекторскими свойствами пород и глубиной их залегания.

5. При прогнозировании нефтегазоносности в глубоко залегающих толщах, наряду с разве-

дочно-геофизическими методами, целесообразно учитывать также результаты анализа фильтрационно-объемных характеристик пород и характер изменения скорости распространения сейсмических волн.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Али-заде А.А., Ахмедов Г.А., Ахмедов А.М., Алиев А.К., Зейналов М.М. Геология нефтяных и газовых месторождений Азербайджана. М.: Недра, 1966. 390 с.
2. Али-Заде А.А., Салаев С.Г., Алиев А.И. Научная оценка перспектив нефтегазоносности Азербайджана и Южного Каспия и направление поисково-разведочных работ. Баку: Элм, 1985. 227 с.
3. Бабазаде Б.Х., Путкарадзе Л.А. О поисках залежей газа и нефти в прибрежной морской зоне Апшеронского полуострова и Бакинского архипелага. Геология нефти и газа. 1961. № 10. С. 7—11.
4. Гурбанов В.Ш., Султанов Л.А., Аббасова Г.Г. Литолого-петрографические и коллекторские свойства мезокайнозойских отложений Прикаспийско-Губинского нефтегазоносного района. Геофизические новости Азербайджана. 2014. № 3—4. С. 10—13.
5. Гурбанов В.Ш., Султанов Л.А., Валиев С.А., Бабаева М.Т. Литолого-петрографические и коллекторские характеристики мезокайнозойских отложений северо-западной части Южно-Каспийской впадины. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2015. Т. 14. № 17. С. 5—15. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.17.1
6. Магид М.Ш., Авчян Г.М., Дортман Н.Б. и др. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): Справочник геофизика. М.: Недра, 1976. 527 с.
7. Мехтиев У.Ш., Хеиров М.Б. Литолого-петрографические особенности и коллекторские свойства пород калинской и подкирмакинской свит Апшеронской нефтегазоносной области Азербайджана. Баку, 2007. Ч. 1. 238 с.
8. Серикова У.С., Алланазарова М.А. Условия формирования углеводородных систем в Туркменском секторе Южно-Каспийского бассейна. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. Т. 65. № 5. С. 33—51
9. Составление каталога коллекторских свойств мезокайнозойских отложений месторождений нефти-газа и перспективных структур Азербайджана: отчет Научно-исследовательского института геофизики № 105-2009. Фонды Управления геофизики и геологии. Баку, 2010. 250 с.
10. Юсифзаде Х.Б. Применение современных технологий в области разведки и добычи нефтегазовых месторождений в Азербайджане. Азербайджанское нефтяное хозяйство. 2013. № 7—8. С. 3—13.

## REFERENCES

1. Ali-zadeh A.A., Akhmedov G.A., Akhmedov A.M., Aliyev A.K., Zeynalov M.M. Geology of oil and gas fields of Azerbaijan. Moscow: Nedra, 1966. 390 p. (In Russ.).
2. Ali-Zadeh A.A., Salaev S.G., Aliyev A.I. Scientific assessment of the prospects of oil and gas potential of Azerbaijan and the Southern Caspian Sea and the direction of prospecting and exploration. Baku: Elm, 1985. 227 p. (In Russ.).
3. Babazade B.H., Putkaradze L.A. On the search for gas and oil deposits in the coastal marine zone of the Absheron Peninsula and the Baku aripelag. Geology of oil and gas. 1961. No. 10. P. 7—11 (In Russ.).
4. Gurbanov V.Sh., Sultanov L.A., Abbasova G.G. Lithological-petrographic and reservoir properties of Mesocainozoic deposits of the Caspian-Guba oil and gas bearing region. Geophysical news of Azerbaijan. 2014. No. 3—4. P. 10—13 (In Russ.).
5. Gurbanov V.Sh., Sultanov L.A., Valiev S.A., Babaeva M.T. Lithological-petrographic and reservoir characteristics of Mesocainozoic deposits of the northwestern part of the South Caspian depression. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining. 2015. Vol. 14. No. 17. P. 5—15 (In Russ.). DOI: 10.15593/2224-9923/
6. Magid M.Sh., Avchyan G.M., Dortman N.B., etc. Physical properties of rocks and minerals (petrophysics): Handbook of Geophysics. Moscow: Nedra, 1976. 527 p. (In Russ.).
7. Mehdiyev U.S., Kheirov M.B. Lithological and petrographic features and reservoir properties of rocks of the Kalinsky and Podkirmakinsky formations of the Absheron oil and gas region of Azerbaijan. Baku, 2007. Part 1. 238 p. (In Russ.).
8. Serikova U.S., Allanazarova M.A. Formation conditions of hydrocarbon systems in the Turkmen sector of the South Caspian basin. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2023. Vol. 65. No 5. P. 33—51. (In Russ.).
9. Compilation of a catalog of reservoir properties of Mesocainozoic deposits of oil and gas fields and promising structures of Azerbaijan: report of the Scientific Research Institute of Geophysics No. 105-2009. Funds of the Department of Geophysics and Geology. Baku, 2010. 250 p. (In Russ.).
10. Yusifzade H.B. Application of modern technologies in the field of exploration and production of oil and gas fields in Azerbaijan. The Azerbaijani oil industry. 2013. No. 7—8. P. 3—13 (In Russ.).

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Гурбанов В.Ш. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Султанов Л.А. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Брюховецкий О.С. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vagif Sh. Gurbanov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Latif A. Sultanov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Oleg S. Bryukhovetsky — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Гурбанов Вагиф Шыхи оглы** — доктор геолого-минералогических наук, исполнительный директор Института нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики.

9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджанская Республика

e-mail: [vaqifqurbanov@mail.ru](mailto:vaqifqurbanov@mail.ru)

тел.: +009 (412) 493-67-13

Scopus ID: 57193747031

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1042-9025>

**Vagif Sh. Gurbanov** — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Executive Director, Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan Oil and Gas Institute.

9, F. Amirova str., Baku AZ1000, Republic of Azerbaijan

e-mail: [vaqifqurbanov@mail.ru](mailto:vaqifqurbanov@mail.ru)

tel.: +009 (412) 493-67-13

Scopus ID: 57193747031

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1042-9025>

**Султанов Латиф Агамирза оглы\*** — научный сотрудник Института нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики.  
9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджанская Республика  
e-mail: [latif.sultan@mail.ru](mailto:latif.sultan@mail.ru)  
тел.: +994 50 327 97 01  
Scopus ID: 57209321385  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2745-9586>

**Брюховецкий Олег Степанович** — доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия  
тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 21-19  
e-mail: [bryhovetskyos@mgri.ru](mailto:bryhovetskyos@mgri.ru)  
SPIN-код: 8619-2065

**Latif A. Sultanov\*** — researcher at the Institute of Oil and Gas, National Academy of Sciences of Azerbaijan.  
9, F. Amirova str., Baku AZ1000, Republic of Azerbaijan  
e-mail: [latif.sultan@mail.ru](mailto:latif.sultan@mail.ru)  
tel.: +994 50 327 97 01  
Scopus ID: 57209321385  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2745-9586>

**Oleg S. Bryukhovetsky** — Dr. of Sci. (Tech.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
tel.: +7 (495) 255-15-10, ext. 21-19  
e-mail: [bryhovetskyos@mgri.ru](mailto:bryhovetskyos@mgri.ru)  
SPIN-code: 8619-2065

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



# РИФТОВЫЕ БАСЕЙНЫ ПОЗДНЕГО ФАНЕРОЗОЯ АФРИКИ (РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ)

В.М. УСОВА

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»  
6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Обоснована зависимость режимов развития рифтовых бассейнов позднего фанерозоя Афро-Аравии от размеров и возраста структур нижнекорковых комплексов (гранулитовых поясов), в которых они заложены. Предложена модель, согласно которой рифтообразование было связано с функционированием центров рождения и регенерации Африканского суперплюма и распространением поступившего из них разгоряченного сверхглубокого материала по каналам гранулитовых поясов.

**Цель.** Главной целью исследования являлось выяснение признаков и причин финальной дифференциации рифтовых бассейнов на тектонотипы «незавершенного» и «завершенного» развития, а также тектонических предпосылок миграции рифтообразования с юга на север и с запада на восток.

**Материалы.** Исследование базировалось на изучении множества опубликованных материалов, главным образом зарубежных авторов, по геологии рифтовых бассейнов и коровых комплексов.

**Метод.** Использован метод сравнительного анализа геолого-геофизических данных, относящихся к рифтовым бассейнам разных тектонотипов.

**Результаты.** Выявлены следующие закономерности развития рифтовых бассейнов.

1. Финальная тектоническая дифференциация бассейнов и их седиментационные структуры определялись размерами панафриканских гранулитовых поясов, по которым бассейны закладывались.
2. Рифтообразование мигрировало с юга на север и с запада на восток от более молодых сегментов гранулитовых поясов к их более древним сегментам и поясам с удалением от центров рождения Африканского суперплюма. При этом режиме «магматические» бассейны «завершенного» развития сменялись амагматическими бассейнами обоих тектонотипов.
3. Миграция рифтообразования с конца палеозоя на юге и триаса на западе до позднего кайнозоя между Африкой и Аравией сопровождалась сокращением временных интервалов и увеличением скорости прогибания создававшихся им бассейнов.

**Заключение.** Впервые для Афро-Аравии обоснована пространственно-временная зависимость рифтообразования от размеров и возрастов панафриканских гранулитовых поясов, по которым оно происходило, и их расположение относительно центров Африканского суперплюма.

**Ключевые слова:** рифтовые бассейны, Африканский суперплюм, гранулитовые пояса, закономерности развития

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности:** автор выражает слова благодарности профессору д.г.-м.н. Долгинову Е.А. за обсуждение вопросов, рассмотренных в настоящей статье.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Усова В.М. Рифтовые бассейны позднего фанерозоя Африки (региональные закономерности и концептуальные аспекты развития). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(3):58—68. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-58-68>

Статья поступила в редакцию 13.05.2024

Принята к публикации 17.06.2024

Опубликована 30.09.2024

# RIFT BASINS OF THE LATE PHANEROZOIC OF AFRICA: REGIONAL PATTERNS AND CONCEPTUAL DEVELOPMENT ASPECTS

VALENTINA M. USOVA

*Peoples' Friendship University of Russia  
6, str. Miklukho-Maklaya, Moscow 117198, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** This work substantiates the dependence of the development modes of rift basins of the Late Phanerozoic of Afro-Arabia on the size and age of the Lower crust structures (granulite belts) in which they were laid. The author proposes a model to correlate the rifting process with the centers of evolution and regeneration of the African superplume and the spread of heated super-deep material from these centers through the channels of granulite belts.

**Aim.** To clarify the signs and causes of the final differentiation of rift basins into the tectonic types of incomplete and completed development, as well as the tectonic prerequisites for the migration of rift formation from south to north and from west to east.

**Materials and methods.** The study was based on a review of scientific publications, mainly by foreign authors, on the geology of rift basins and crustal complexes. A comparative analysis of geological and geophysical data related to rift basins of different tectonic types was conducted.

**Results.** The following patterns of rift basin development were identified. (1) The final tectonic differentiation of basins and their sedimentation structures of the African granulite belts along which the basins were laid. (2) Rifting migrated from south to north and from west to east from younger granulite belts to older belts with a distance from the evolution centers of the African superplume. In this regime, the magmatic basins of completed development were replaced by amagmatic basins of both tectonic types. (3) The migration of rifting from the end of the Paleozoic in the south and the Triassic in the west to the Late Cenozoic between Africa and Arabia was accompanied by a reduction in time intervals and an increase in the rate of deflection of the basins created by this process.

**Conclusion.** For the first time in Afro-Arabia, the spatial and temporal dependence of rifting on the size and age of the pan-African granulite belts, along which it occurred, and their location relative to the centers of the African superplume was substantiated.

**Keywords:** rift basins, African superplume, granulite belts, development patterns

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interest.

**Acknowledgments:** the author expresses his gratitude to Professor E.A. Dolginov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), for discussing the issues discussed in this article.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Usova V.M. Rift basins of the late phanerozoic of Africa: regional patterns and conceptual development aspects. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):58—68. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-58-68>

*Manuscript received 13 May 2024*

*Accepted 17 June 2024*

*Published 30 September 2024*

Многообразие рифтовых бассейнов позднего фанерозоя в Афро-Аравии и одновозрастных рифтовых комплексов под морскими отложениями офшорных бассейнов делают данный регион уникальным для выявления закономерностей рифтообразования. Однако, несмотря на более чем 100-летнее многостороннее изучение научными, производственными коллективами и отдельными исследователями многих стран бассейнов рифтового происхождения, особенно в связи с их

нефтегазоносностью, остаются открытыми два важнейших вопроса: 1) причины дифференциации рифтовых бассейнов на тектонотипы «незавершенного» и «завершенного» развития (т.е. сохранивших свое изначально внутриматериковое положение и перешедших в стадии периконтинентального, синокеанического прогибания соответственно) и 2) тектонические обстоятельства, обусловившие миграцию рифтообразования.

**Пространственно-временные закономерности формирования рифтовых бассейнов**

В рассматриваемом регионе могут быть выделены следующие четыре возрастные группы пространственно разобщенных рифтовых бассейнов позднего фанерозоя обоих тектонотипов как существующих в современной тектонической структуре Африки, так и предварявших образование пассивных, большей частью подводных окраин Африки.

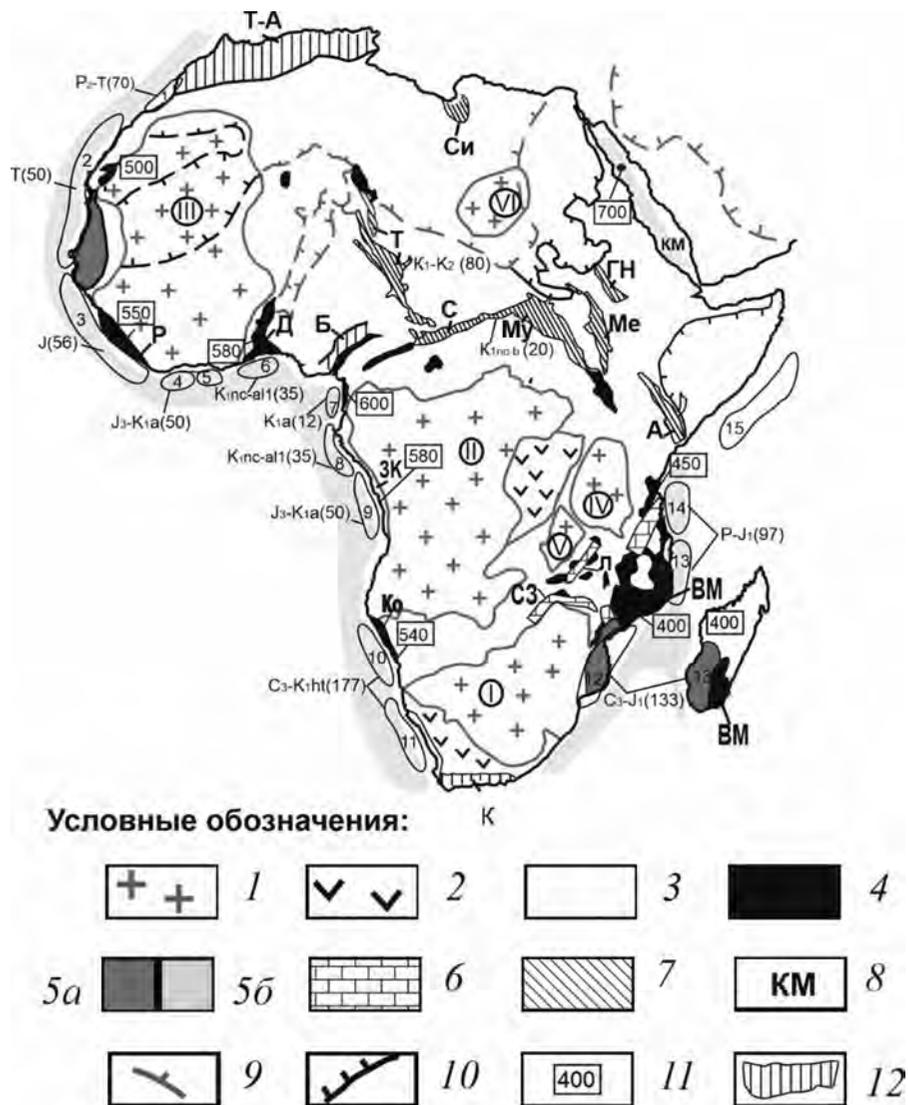
1. Бассейны позднего палеозоя — раннего мезозоя (Южная, офшорные Юго-Восточная, Восточная, Юго-Западная Африка).

2. Бассейны триаса и юры (офшорные Северо-Западная и Западная Африка).

3. Бассейны раннего мела (офшорные окраины Африки вдоль Гвинейского залива, Восточная часть Центральной Африки), нижнего-позднего мела (Центральная часть Центральной Африки).

4. Бассейны позднего кайнозоя (офшорный Красного моря, Восточной Африки) (рис. 1).

Сопоставление разрезов бассейнов «незавершенного» и «завершенного» развития, принадлежащих отдельным возрастным группам, не выявило системных различий в их мощностях, а значит



**Рис. 1.** Главные коровые комплексы Африки и соотношение с ними рифтогенных бассейнов позднего фанерозоя: 1—5 коровые комплексы (на поверхности и под осадочными чехлами): 1—3 верхнекоровые: 1 — архея — раннего протерозоя (древние кратоны), 2 — середины позднего протерозоя, 3 — конца позднего протерозоя (панафриканские), 4—5 нижнекоровые панафриканские, местами вдоль окраин Африки палеозойские: 4 — на поверхности (гранулитовые пояса): P — Рокелл, Д — Дагомейский, Ко — Коако, ВМ — Восточно-Мозамбикский;

5 — под осадочными комплексами: 5a — на материковых окраинах, 5b — в офшорных областях; 6—8 — внутриконтинентальные рифтовые бассейны развития: 6 — позднего палеозоя — раннего мезозоя, 7 — меловые, 8 — Красного моря, 9 — границы распространения платформенных отложений палеозоя, 10 — восточная граница распространения платформенных отложений мезозоя на востоке Северной Африки и в пределах Сомалийского плато, 11 — возраст гранулитовых комплексов, 12 — складчатые пояса позднего фанерозоя.

Древние кратоны: I — Южно-Африканский; II — Конго, III — Западно-Африканский, IV — Танзанийский, V — Багенвулу; VI — Увейнат.

Рифтогенные бассейны в материковой части Африки: C3 — Среднего Замбези (C3-J1), Л — Луангва (P-T), Р — Рувуму (P-T), О — Огадена (P), Т — Термит (K1—2), С — Саламат, Му — Муджлад (K1), Ме — Мелут (K1), ГН — Голубого Нила (K1), А — Анза (K1), Си — Сирт, Б — инверсированный Бенуэ.

Пояса складчатости: К — Капский, Т-А — Тель-Атласский.

Периконтинентальные рифтогенные бассейны (на схеме указаны стратиграфический и абсолютный возраст рифтовых комплексов): 1 — Дахла-Дуккала, 2 — Сенегало-Мавританский, 3 — Гвинейско-Либерийский, 4 — Кот Д'ивуара, 5 — Тано, 6 — Кета (Дагомейский), 7 — Дуала-Рио Муни, 8 — Габонский, 9 — Нижнего Конго, 10 — Валвис-Людерец, 11 — Оранж, 12 — Дельты Замбези, 13 — Морондава, 14 — Танзанийский (Рувума), 15 — Кенийский (Ламу)

**Fig. 1.** The main crustal complexes of Africa and the ratio of rift basins of the Late Phanerozoic to them: 1—5 crustal complexes (on the surface and under sedimentary covers): 1—3 upper crust: 1 — Archaean-early Proterozoic (ancient cratons), 2 — mid-Late Proterozoic, 3 — late Late Proterozoic (Pan-African), 4—5 Lower Crustal Pan-African Paleozoic in places along the margins of Africa: 4 — on the surface (granulite belts): R — Rockell, D — Dahomey, Ko-Koako, VM — East Mozambican; 5 — under sedimentary complexes: 5a — on the mainland, 5b — in offshore areas; 6—8 intracontinental rift basins of development: 6 — late Paleozoic-Early Mesozoic, 7 — Cretaceous, 8 — Red Sea, 9 — Paleozoic platform sediment distribution boundaries, 10 — eastern boundary of Mesozoic platform sediment distribution in eastern North Africa and within the Somali Plateau, 11 — age of granulite complexes, 12 — folded belts of the Late Phanerozoic.

Ancient cratons: I — South African; II — Congo, III — West African, IV — Tanzanian, V — Bagenwulu; VI — Uweinat.

Rift basins in the African mainland: NW — Middle Zambezi (C3-J1), L — Luangwa (P-T), R — Ruvumu (P-T), O — Ogadana (P), T — Termite (K1—2), S — Salamat, Mu — Mujlad (K1), Me — Melut (K1), GN — Blue Nile (K1), A — Anza (K1), Si — Sirte, B — inverted Benue.

Folding belts: K — Cape, T-A — Tel-Atlas.

Pericontinental rift basins (the diagram shows the stratigraphic and absolute age of rift complexes): 1 — Dakhla-Dukkala, 2 — Senegalese-Mauritanian, 3 — Guinean-Liberian, 4 — Ivory Coast, 5 — Tano, 6 — Keta (Dahomey), 7 — Douala-Rio Muni, 8 — Gabonese, 9 — Lower Congo, 10 — Valvis-Luderec, 11 — Orange, 12 — Zambezi Delta, 13 — Morondawa, 14 — Tanzanian (Ruwuma), 15 — Kenyan (Lamu)

и скоростях прогибаний. Например, толщина рифтового разреза периконтинентального бассейна Морондава Мадагаскара (C<sub>3</sub>-J<sub>1</sub>) достигает 10 км, тогда как одновозрастной комплекс бассейна Среднего Замбези имеет толщину около 4,5 км. Однако противоположным является соотношение мощностей рифтового комплекса офшорного бассейна Рувума Танзании (P-J<sub>1</sub>: 4,5 км) и стратиграфически более ограниченного комплекса рифта Луангва (P-T: 7 км). Сходными являются соотношение мощностей рифтового комплекса офшорного бассейна Ламу Кении (P-T: 4,5—5 км) и рифта Огадена Эфиопии (P: 6 км).

В бассейне Муджлад Южного Судана рифтовый комплекс неокома-баррема имеет толщину 9,5—10 км [3, 4]. Одновозрастный рифтовый комплекс в Габонском офшорном бассейне (K<sub>1</sub>nc-a) имеет в 2 раза меньшую толщину (4,5 км). Примерно сходными являются максимальные мощности офшорного рифта «завершенного» развития Красного моря (Pg<sub>3</sub>-N<sub>2</sub>: 6 км) и внутриконтинентального рифта Туркана (N<sub>1-2</sub>: 4 км) (табл. 1).

Отсутствие признаков системных различий в седиментационном развитии рифтовых бассейнов «завершенного» и «незавершенного» развития дополняется амагматичностью большинства тех и других, а также некоторыми другими факторами. В частности, это подкрепляется сходным резким замедлением скорости прогибания с переходом от баррема к апту как в бассейне Муджлад Судана, так и бассейнах «завершенного» развития, с которых началось прогибание периконтинентальных бассейнов Кета Того-Бенина, Габонского и Нижнего Конго Анголы, Конго (табл. 2).

Изменения в режимах прогибаний бассейнов сопровождалось сменой условий осадконакопления: в бассейне Муджлад от преимущественно озерного (песчано-глинистые фации) к дельтово-речным (песчаные фации) [3, 4], в бассейнах другого тектонотипа от озерно-речных (песчано-глинистые фации) к лагунным (эвапориты). Аптское «событие» в виде несогласия фиксируется также в платформенных бассейнах Северной Африки [7] и имеет региональное значение. Это обстоятельство

**Таблица 1.** Главные характеристики рифтовых бассейнов «незавершенного» и «завершенного» развития  
**Table 1.** Main characteristics of rift basins of “incomplete” and “completed” development

Бассейны: нр — «незавершенного», зр — «завершенного» развития	Стратиграфические диапазоны осадочных комплексов (в индексах)	Максимальная толщина осадочных комплексов (в м)	Временные интервалы прогибаний (в млн лет)	Скорости прогибания (в м/млн лет)
Среднего Замбези (нр)	C <sub>3</sub> -T	4500	107	42
Морондава (зр) (Мадагаскар)	C <sub>3</sub> -T(J <sub>1</sub> )	~10 000	117	85
Огаден (нр) (Эфиопия)	P	6500	47	~140
Руума (зр) (Танзания)	P	4000	47	~85
Муджлад (нр) (Ю. Судан)	K <sub>1</sub> nc-a	14 000	45	~300
Габонский (зр)	K <sub>1</sub> nc-a	4500	32	140
Рио-Муни (зр) (Экваториальная Гвинея)	K <sub>1</sub> a	7000	13	~540

**Таблица 2.** Изменение скорости прогибания раннемеловых рифтовых бассейнов «незавершенного» и «завершенного» развития

**Table 2.** Change in the rate of deflection of Early Cretaceous rift basins of “incomplete” and “completed” development

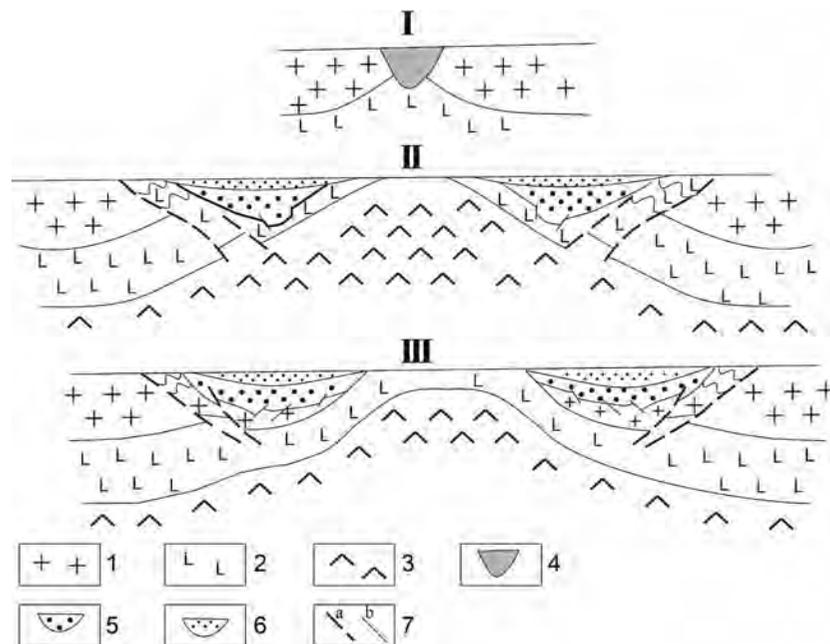
Бассейны: нр — «незавершенного», зр — «завершенного» развития	Стратиграфические диапазоны осадочных комплексов (в индексах)	Максимальная толщина осадочных комплексов (в м)	Временные интервалы прогибаний (в млн лет)	Скорости прогибаний (в м/млн лет)
Нижнего Конго (зр)	K <sub>1</sub> a-al <sub>1</sub>	1400	20	70
	K <sub>1</sub> br	3100	4	770
	J <sub>3</sub> km <sup>2</sup> -K <sub>1</sub> nc	2800	28	100
Габонский (зр)	K <sub>1</sub> a	930	12	~80
	K <sub>1</sub> br	3500	4	875
	K <sub>1</sub> nc	2000	16	125
Бенин-Кета (зр)	K <sub>1</sub> a-al <sub>1</sub>	1120	20	56
	K <sub>1</sub> br	1400	4	350
	K <sub>1</sub> nc	1000	16	60
Муджлад (нр)	K <sub>1</sub> a	700	25	28
	K <sub>1</sub> nc-br	9500	20	475

указывает на сходную реакцию процессов «незавершенного» и «завершенного» рифтообразования на широкомасштабные тектонические процессы и в известном смысле «генетическое» родство созданных ими структур. Свидетельством этому является провинциальная обособленность рифтовых бассейнов обоих тектонотипов разных возрастных групп. Очевидные предвестники финальной тектонической дифференциации рифтовых бассейнов проявились в особенностях их синседиментационных структур. Бассейны «незавершенного» развития характеризуются симметрично-одноосным строением. Бассейны «завершенного» развития в пределах подводных границ Африки имели одноосно-асимметричное строение, обусловленное приближенностью их осей

к материковой окраине и утонением осадочных комплексов в стороны океанов.

Рифтовые бассейны, определившие подводные границы Африки, являются лишь элементами более крупных разрушенных рифтовых систем, зеркально-симметричные части которых находятся на подводных окраинах континентов Гондванской группы. При реконструкции суперматерика устанавливается, что эти системы состояли из боковых депрессий и разделяющих их поднятий, местами с выходами на сводах пород фундаментов, и в целом соответствовали строению Красного моря (рис. 2).

Различия в сложности строения рифтовых систем «завершенного» развития и внутриконтинентальных бассейнов хотя и являются



**Рис. 2.** Модели строения рифтовых бассейнов и систем «незавершенного» (I) и «завершенного» (II, III) развития и их соотношения с комплексами коровых инфраструктур (с учетом [17]): 1—2 — комплексы материковой коры: 1 — гранитно-метаморфические; 2 — гранулит-базитовые; 3 — литосферная мантия; 4—6 — комплексы рифтовых бассейнов: 4 — «незавершенного» развития, 5—6 «завершенного» развития (5 — горсто-грабеновых структур, 6 — остаточных прогибов — Sag Basins); 7 — разломы (а — образованные во время формирования коровой инфраструктуры, частично активированные при рифтообразовании, б — синрифтовые)

**Fig. 2.** Models of the structure of rift basins and systems of “incomplete” (I) and “completed” (II, III) development and their relationship to crustal infrastructure complexes [17]: 1—2 — complexes of the continental crust: 1 — granite-metamorphic; 2 — granulite-basite; 3 — lithospheric mantle; 4—6 — rift basin complexes: 4 — “incomplete” development, 5—6 — “completed” development (5 — handful-graben structures, 6 — residual deflections — Sag Basins); 7 — faults (a — formed during the formation of crustal infrastructure, partially activated during rifting, b — synrift)

индикаторами их главной финальной тектонической дифференциации, но не могут служить «материалом» для познания истинных причин этого «дуализма» процесса рифтообразования. Подход к решению этого и некоторых других близких вопросов был найден при сопоставлении бассейнов рифтового происхождения с их коровыми инфраструктурами. В частности, это дало возможность дополнительно определить тектонические условия миграции рифтообразования с юга Африки на север и от ее северо-западной окраины к востоку в Центральной район и далее в область сочленения Африки и Аравии, а также вероятную причину синмиграционного увеличения скорости прогибания бассейнов.

#### Соотношение рифтогенных бассейнов с коровыми инфраструктурами.

Давно показано, что рифтогенез позднего фанерозоя в материковой части Африки проявился

лишь в областях самой молодой, панафриканской коры, консолидированной с подстилающей ее литосферной мантией в интервалах 800—550 млн лет назад, по периферии материка местами 550—400 млн лет назад, и не затронул древние кратоны, сложенные коровыми комплексами архея, раннего протерозоя, и обрамляющие их складчатые пояса Ирумид и Катангид (рис. 1).

Помимо этого установлено, что в пределах панафриканской коры рифтовые бассейны всех указанных возрастных групп совпадают с гранулитовыми поясами, представляющими собой линейные выходы нижнекоровых комплексов [2]. Многочисленные геолого-геофизические данные по рассматриваемому и другим регионам свидетельствуют, что под рифтогенными периконтинентальными (большой частью офшорными) бассейнами залегают высокоплотные, как считается в разной степени растянутые комплексы так называемой «транзитной» коры, которые

образовывали ранее гранулитовые пояса. Их отторженцы залегают в виде надвигов и тектонических покровов иногда очень крупных или реликтовых клиппов на окраинах Африки и других континентов [1, 11, 13]. Большие, местами на сотни километров перемещения тектонических покровов в сторону «материковой» Африки указывают на очень крупные размеры реконструируемых внутригондванских гранулитовых поясов, по которым заложилась рифтовая система «завершенного» развития. Такую же природу, по всей видимости, имеет высокоплотная («псевдоокеаническая», «псевдоконтинентальная») кора молодого рифтового бассейна Красного моря, перекрытая последовательно континентальными мелководно-морскими отложениями и эвапоритами разреза олигоцена-плиоцена.

Таким образом, мы приходим к, может быть, главному заключению, что в дифференциации рифтовых бассейнов на два тектонотипа главное значение имели размеры гранулитовых поясов, по которым они возникли.

Зависимость рифтовых бассейнов от размеров унаследованных или гранулитовых поясов выразилась также в различных сочетаниях их структур. Малые гранулитовые пояса представляют собой антиформы относительно простого строения, которые испытали «антиинверсию» во время рифтовых прогибаний, т.е. от оси антиформ оказались осями бассейнов «незавершенного» развития. Внутригондванские гранулитовые мегапояса характеризовались дивергентными покровно-надвиговыми структурами, которые определили симметрично биосевые структуры рифтовых бассейнов «завершенного» развития.

Проведенное исследование показало, что процессы рифтообразования зависели не только от размеров и сложности строения гранулитовых поясов, в недрах которых они протекали, но и от возраста этих нижнекорových геоструктур.

Самые ранние рифтовые бассейны «завершенного» развития Морондава Мадагаскара, подводных окраин Мозамбика формировались с позднего карбона до ранней юры на комплексах транзитной коры, имеющих, судя по сопряженным с ними тектоническим покровам гранулитов, палеозойский возраст (500—400—300 млн лет) [11, 13]. Более низкие минимальные изотопные датировки в 550—500 млн лет получены для Восточных гранулитов Танзании [10], погружающихся под рифтогенные офшорные бассейны Рувума, Танзании и Ламу Кении [11]. В отличие от более южных офшорных бассейнов рифтовое развитие двух

последних началось позже, в перми, но продолжалось также до ранней юры. Вдоль атлантической окраины Африки наблюдается следующая закономерность соотношения возраста рифтовых структур расположенных здесь офшорных бассейнов и сопряженных с ними инфра- и супракрустальных поясов панафриканской складчатости.

Вдоль атлантической окраины Африки протягиваются два зональных пояса панафриканской складчатости: Коако в Намибии и Рокелл в Либерии и Сьерра-Леоне. Внутренние зоны этих поясов (интерниды), приближенные к океану, сложены преимущественно нижнекоровыми комплексами. Их внешние зоны (экстерниды) образованы осадочными и отчасти в поясе Рокелл вулканическими породами позднего протерозоя, измененными в условиях фации зеленых сланцев. Промежуточная зона в поясе образована породами раннего протерозоя, амфиболитовой фации метаморфизма. Оба пояса характеризуются покровно-надвиговыми структурами с восточной и северной вергентностью соответственно в стороны сопряженных с ними древних кратонов.

Для средне-нижнекорových пород пояса Коако получены датировки в 500 млн лет, соответствующие заключительным фазам формирования его структуры. Эти значения, по всей видимости, соответствуют возрасту комплексов транзитной коры, подстилающих бассейны Людерец и Валвис, и южному сегменту Западно-Гондванского гранулитового ранее существовавшего мегапояса. Рифтовое развитие указанных офшорных бассейнов происходило с конца палеозоя (позднего карбона, перми) или триаса до изменения базальтов готтерива.

Расположенный южнее офшорный бассейн Оранж ЮАР имеет то же строение, что и бассейны Людерец и Валвис, что особенно подчеркивается распространением вдоль всей надводной юго-западной окраины Африки базальтов готтерива, образующих погружающееся в сторону океана «вулканическое плато». Это обстоятельство позволяет предполагать рифтовое развитие бассейна Оранж на нижнекорových комплексах того же возраста, что и двух и более северных офшорных бассейнов, т.е. на одновозрастном с ними сегменте гранулитового мегапояса.

По аналогии с рассмотренным выше районом Юго-Западной Африки изотопные датировки в 520—500 млн лет, полученные для гранулитов «приокеанической» зоны пояса Рокелл [10], могут быть приняты для нижнекорových комплексов транзитной коры офшорного Гвинейско-Либерийского бассейна, прошедшего рифтовое

развитие в юре, а также соответствующего сегмента внутригондванского гранулитового мегапояса.

Крупный Мавритано-Сенегальский офшорный бассейн прошел рифтовую стадию развития в триасе, на севере, возможно, также в поздней перми. Судя по району Акжужт (Мавритания), последние деформации нижекоровых комплексов его транзитной коры произошли в варисскую фазу диастрофизма [15]. В это время породы северного окончания интра-Западно-Гондванского гранулитового мегапояса были перемещены к востоку на эпикратонные осадочные комплексы позднего протерозоя и палеозоя.

На материковых окраинах Африки вдоль Гвинейского залива структурированные панафриканские гранулитовые комплексы отсутствуют, и здесь о возрасте транзитной коры под эпирифтовыми офшорными бассейнами, а вместе с этим и структур, в которых произошла их эксгумация, можно судить по косвенным данным.

На территории Того и Бенина протягивается субмеридиональный Дагомейский гранулитовый пояс, являющийся пограничным между эбурнидами Западно-Африканского кратона и панафриканской областью Центральной Африки. Для катазонально метаморфизованных пород этого пояса получена изотопная датировка в 620 млн лет. С приближением к океану этот пояс расширяется и его комплексы погружаются под периконтинентальный бассейн Кета. В юго-западном направлении на простирании пояса, выраженное в современном рельефе в виде горного сооружения, находится подводное поднятие, отделяющее бассейны Тано (Гана) и Кета (Того-Бенин). Данное обстоятельство дает основание предполагать распространение дагомейских гранулитов в область транзитной коры подводного широтного склона Африки и ее соответствующий «материковым» гранулитам возраст. Рифтовое развитие на дагомейских нижекоровых комплексах бассейна Кета происходило в неокоем апте, возможно, до раннего альба включительно [8].

О возрасте транзитной коры под рифтогенными офшорными бассейнами Дуала-Криби (Камерун) и Рио-Муни (Экваториальная Гвинея) можно судить по датировке гранулитов в 630 млн лет, вскрывающихся в прибрежном районе Камеруна. Возможно, к этому же возрасту относятся гиперстеисодержащие меланократовые гнейсы, выступающие на поднятии, которое разделяет береговые прогибы Камеруна и Экваториальной Гвинеи. На этом наиболее древнем для подводной атлантической окраины Африки нижекоровом основании в апте

заложились и завершили развитие самые молодые и «кратковременные» рифтовые бассейны. Наиболее неясным остается возраст транзитной коры под первично рифтовыми офшорными бассейнами Нижнего Конго и Габонским, что обусловлено отсутствием каким-либо образом сопряженных с ними выходов на материковой окраине панафриканских гранулитовых комплексов. Об этом можно судить, хотя из большей доли условности, чем для рассмотренных выше ситуаций, по возрасту вдоль берегового Западно-Конголезского пояса складчатости, сопряженного с бассейном Нижнего Конго и имеющего сходство по зональному строению с частично гранулитовым поясом Рокелл Западной Африки. С востока на запад в Западно-Конголезском поясе складчатости выделяются: внешняя зона, сложенная осадочными породами позднего протерозоя, измененными в условиях низких строений фации зеленых сланцев; центральная зона, образованная осадочными и вулканическими породами раннего протерозоя, преобразованными в РТ-условиях амфиболитовой фации; и внутренняя (приокеаническая) зона среднекоровых мигматито-гнейсов. Комплексы всех зон испытали финальные деформации с перемещением к востоку около 580 млн лет назад. Имеются все основания считать, что ниже-среднекоровые комплексы транзитной коры рассматриваемых периконтинентальных бассейнов образовывали осевые интерниды Западно-Коаголезского пояса, имеют этот же, что и внешние зоны, «деформационный» возраст и были вскрыты, как и другие комплексы транзитной коры, в эпоху панафриканского диастрофизма.

Приведенные выше сопоставления свидетельствуют о смещении «завершенного» рифтообразования, сокращении его временных интервалов (т.е. ускорении процессов) от более молодых к более древним сегментам внутригондванских гранулитовых мегапоясов конца позднего протерозоя — палеозоя. Хорошим дополнением к этой закономерности является самый молодой (позднекайнозойский) рифтовый бассейн «полузавершенного» развития Красного моря. Он заложен на самом древнем из панафриканских гранулитовом поясе, тектоническим отторжением которого является горстовое поднятие о-ва Забаргад со вскрытыми на нем пироксенсодержащими гнейсами с возрастом 700 млн лет [6, 9].

### Обсуждение

Показано, что рифтогенез позднего кайнозоя между Африкой и Аравией и в Восточной Африке

связан с южной областью рождения Африканского суперплюма [12]. По логике такое же объяснение может быть дано и для более ранних проявлений рифтогенеза позднего фанерозоя, в первую очередь его миграции из Южной в Центральную Африку. Смещение «завершенного» рифтообразования от северо-западной границы Африки к востоку позволяет по аналогии связывать его и со вторым, западным центром рождения суперплюма [16].

Таким образом, имеются основания считать, что указанные выше закономерности рифтогенеза являлись результатом сочетания трех главных факторов: 1) инициативной роли двух плюмовых центров; 2) наиболее активным распространением температурно-возбужденной ими астеносферы по литосферным «каналам» гранулитовых поясов и 3) различным воздействием астеносферы на литосферу малых и крупных гранулитовых поясов.

С первым из этих допущений хорошо согласуются тектонические закономерности магматизма мезозоя. Наиболее широко в самом конце триаса — ранней юре основной, трапповый магматизм проявился в южном и западном центрах Африканского суперплюма. «Загадочным» является то обстоятельство, что эти почти синхронные плюмовые «извержения» мантийного материала совпали с древними, наиболее «холодными» Южно-Африканским и Западно-Африканским кратонами, характеризующимися наиболее глубокими литосферными «корнями». Это очевидное несоответствие требует специального рассмотрения и здесь нами не обсуждается. Базальтоидный магматизм раннего мезозоя проявился в значительных объемах лишь в рифтовых бассейнах «завершенного» развития, располагавшихся вблизи плюмовых центров: в ранней юре вдоль Гвинейско-Либерийской границы архейского ядра Западно-Африканского кратона и в заключительную стадию рифтообразования вдоль южнозамбикской границы Южно-Африканского кратона, также в аналогичную стадию рифтового развития в середине раннего мела вдоль западной границы этого кратона. В аспекте рассматриваемого вопроса показательно уменьшение интенсивности пред- и раннерифтового базальтоидного магматизма от Гвинеи и Кот-д'Ивуара к Того и Бенину по мере удаления от западного плюмового центра.

В соответствии с положениями одной из хорошо аргументированных общих моделей рифтогенеза [5] указанное соотношение рифтовых бассейнов с гранулитовыми поясами разных размеров можно связывать с различиями теплового состояния, толщины и реологических свойств литосферы этих гео-

структур. Бассейны первых из указанных тектонотипов могли образоваться на умеренно разогретой и относительно более толстой литосфере малых гранулитовых поясов. Бассейны второго типа могли возникнуть на «горячей» и более тонкой литосфере мегапоясов. Эти особенности литосферы могли обеспечить различные геологические свойства литосферы, сказавшиеся на ее пред- и синрифтовых преобразованиях: денсификации (эклогитизации) нижней коры в малых гранулитовых поясах, вызывавшее гравитационное синседиментационное опускание их комплексов и преимущественное растяжение всей эластичной литосферы мегапоясов. Одной из наиболее неопределенных является причина «миграционного» ускорения рифтообразования с удалением от южного и западного центров Африканского суперплюма. В первом приближении в соответствии с предложенными моделями эту закономерность можно связывать с изменением плотностных и реологических свойств до- и синрифтовой литосферы гранулитовых поясов, находившейся под воздействием растекавшейся от плюмовых центров и, скорее всего, при этом остывавшей астеносферы [5].

Более детальное рассмотрение этого вопроса требует дополнительного изучения геофизических данных и их соотношения с законами термодинамики.

Согласно данным сейсмотомографии [14], верхняя мантия рифтогенных бассейнов, разноудаленных от южного и западного центров и «питания» Африканского суперплюма, сохранила температурные различия до настоящего времени. Она осталась более «горячей» в приближенных к этим центрам бассейнах и менее разогретой в удаленных от них бассейнах. Обращает на себя внимание сходство температурного состояния литосферной мантии офшорных бассейнов рифтового происхождения и прилегающих к ним областей Индийского и Атлантического океанов. Такая температурная «гармония» может быть объяснена рождением и наращиванием в рифтовых системах «завершенного» развития различно разогретой океанической литосферы. Иначе говоря, нами допускается генерация Африканским суперплюмом не только рифтовых систем, разрушивших суперматерик по гранулитовым мегапоясам, но также через эндогенные системы последних, литосферы океанов.

Нельзя исключать, что увеличение возраста гранулитовых мегапоясов центральной Гондваны с удалением от центров Африканского суперплюма было связано с функционированием последних

уже во время формирования финальной коро-  
во-мантийной структуры древнего суперматерика.

### Выводы

Проведенное исследование показало, что риф-  
тообразование позднего фанерозоя в Африке опре-

делялось сочетанием механизмов плюмотектони-  
ки и структур панафриканских гранулитов поясов.  
В специальной работе будет показано влияние ко-  
ровых инфраструктур и Африканского суперплю-  
ма на процессы углеводородов в бассейнах риф-  
тового происхождения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Долгинов Е.А. К проблеме происхождения океанов. Бюлл. МОИП Отдел геологии. 1979. № 1(54). С. 3—21.
2. Долгинов Е.А., Д'Альмейда Ж.Ф. Соотношение рифтов позднего фанерозоя со структурами докембрийского фундамента Аравийско-Африканской платформ. Геотектоника. 2002. № 5. С. 23—31.
3. Долгинов Е.А., Фарах С. Новая интерпретация тектонического развития мезо-кайнозойских осадочных бассейнов Муджлад и Мелут Южного Судана. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2008. № 1. С. 20—23.
4. Долгинов Е.А., Фарах С. Некоторые особенности тектонического положения и развития мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна Муджлад Южного Судана. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2008. № 3. С. 9—13.
5. Никишин А.М., Примина С.П., Рассказов С.В. Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2013. 216 с.
6. Bonatti E., Clocchiatti R., Colantoni P. Zabargad (St. John's) Island: An uplifted fragment of sub-Red Sea lithosphere. J. Geol. Soc. Vol. 140. 2015. P. 677—690.
7. Boote D., Clark-Lowes D., Traut M. Traut Paleozoic petroleum system of North Africa. Geological Society, London, Special Publications. 1998. Vol. 132. P. 7—68.
8. Brownfield M.E., Charpentier R.R. Geology and total petroleum systems of the Gulf of Guinea Province of west Africa: U.S Geological Survey Bulletin 2207-C. 2006. 32 p.
9. Brueckner H.K., Elhaddad M.A., Hamelin B., Hemming S., Kröner A., Reisberg L., Seyler M. A Pan African origin and uplift for the gneisses and peridotites of Zabargad Island, Red Sea: A Nd, Sr, Pb, and Os isotope study. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 1995. No. B11(100). P. 22283—22297.
10. Cahen L., Snelling N.J., Delhal J., Vail J.R., Bonhomme M., Ledent D. The Geochronology and Evolution of Africa. Geological Magazine. 1985. No. 3(122). P. 309—310.
11. Fritz H., Abdelsalam M., Ali K.A., Bingen B., Collins A.S., Fowler A.R., et al. Orogen styles in the East African Orogen: A review of the Neoproterozoic to Cambrian tectonic evolution. Journal of African Earth Sciences. 2013. No. 86. P. 65—106.
12. Kendall J.-M., Pilidou S., Keir D., Bastow I.D., Stuart G.W., Ayele A. Mantle upwellings, melt migration and the rifting of Africa: Insights from seismic anisotropy. In: The Afar Volcanic Province Within the East African Rift System. Geol. Soc. London. UK. 2006. Vol. 259. P. 55—72.
13. Macey H., Millerb J.A., Rowec C.D., Grantham G.H., Siegfriede P., Armstrong R.A., Kempg, Bacalauh J. Geology of the Monapo Klippe, NE Mozambique and its significance for assembly of central Gondwana. Precambrian Research. 2013. No. 233. P. 259—281.
14. Priestley K., McKenzie D., Debayle E., Pilidou S. The African upper mantle and its relationship to tectonics and surface geology. Geophysical Journal International. 2008. Vol. 75. P. 1108—1126.
15. Villeneuve M., Fournier F., Cirilli S., Spina A., Ndiaye M., Zamba J., et al. Structure of the Paleozoic basement in the Senegalo-Mauritanian basin (West Africa). Bulletin de la Société Géologique de France. 2015. No. 2—3(186). P. 193—203.
16. Wilson M., Guiraud R., Moreau C., Bellion Y.J.-C. Late Permian to Recent magmatic activity on the African-Arabian margin of Tethys. Geological Society, London, Special Publications. 1998. No. 1(132). P. 231—263.
17. Zwaan F., Chenin P, Erratt D., Manatschal G., Schreurs G. Complex rift patterns, a result of interacting crustal and mantle weaknesses, or multiphase rifting? Insights from analogue models. Solid Earth. 2021. No. 7(12). P. 1473—1495.

## REFERENCES

1. Dolginov E.A. On the problem of the origin of oceans. Byull. MOIP Department of Geology. 1979. No. 1(54). P. 3—21 (In Russ.).
2. Dolginov E.A., D'Almeida J.F. Correlation of rifts of the Late Phanerozoic with structures of the Precambrian basement of the Arabian-African platform. Geotectonics. 2002. No. 5. P. 23—31 (In Russ.).
3. Dolginov E.A., Farah S. A new interpretation of the tectonic development of the Meso-Cenozoic sedimentary basins of the Mujlad and Melut of Southern Sudan. Bulletin of the RUDN. Engineering research. 2008. No. 1. P. 20—23 (In Russ.).
4. Dolginov E.A., Farah S. Some features of the tectonic position and development of the Mesozoic-Cenozoic

- sedimentary basin of the Mujlad of South Sudan. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2008. No. 3. P. 9—13 (In Russ.).
5. Nikishin A.M., Primina S.P., Rasskazov S.V. Continental rifting, related processes / Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, 2013. 216 p. (In Russ.).
  6. Bonatti E., Clocchiatti R., Colantoni P. Zabargad (St. John's) Island: An uplifted fragment of sub-Red Sea lithosphere. *J. Geol. Soc.* Vol. 140. 2015. P. 677—690.
  7. Boote D., Clark-Lowes D., Traut M. Traut Paleozoic petroleum system of North Africa. Geological Society, London, Special Publications. 1998. Vol. 132. P. 7—68.
  8. Brownfield M.E., Charpentier R.R. Geology and total petroleum systems of the Gulf of Guinea Province of west Africa: U.S Geological Survey Bulletin 2207-C. 2006. 32 p.
  9. Brueckner H.K., Elhaddad M.A., Hamelin B., Hemming S., Kröner A., Reisberg L., Seyler M. A Pan African origin and uplift for the gneisses and peridotites of Zabargad Island, Red Sea: A Nd, Sr, Pb, and Os isotope study. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 1995. No. B11(100). P. 22283—22297.
  10. Cahen L., Snelling N. J., Delhal J., Vail J. R., Bonhomme M., Ledent D. The Geochronology and Evolution of Africa. *Geological Magazine*. 1985. No. 3(122). P. 309—310.
  11. Fritz H., Abdelsalam M., Ali K.A., Bingen B., Collins A.S., Fowler A.R., et al. Orogen styles in the East African Orogen: A review of the Neoproterozoic to Cambrian tectonic evolution. *Journal of African Earth Sciences*. 2013. No. 86. P. 65—106.
  12. Kendall J.-M., Pilidou S., Keir D., Bastow I.D., Stuart G.W., Ayele A. Mantle upwellings, melt migration and the rifting of Africa: Insights from seismic anisotropy. In: *The Afar Volcanic Province Within the East African Rift System*. Geol. Soc. London. UK. 2006. Vol. 259. P. 55—72.
  13. Macey H., Millerb J.A., Rowec C.D., Grantham G.H., Siegfriede P., Armstrong R.A., Kempg, Bacalauh J. Geology of the Monapo Klippe, NE Mozambique and its significance for assembly of central Gondwana. *Precambrian Research*. 2013. No. 233. P. 259—281.
  14. Priestley K., McKenzie D., Debayle E., Pilidou S., The African upper mantle and its relationship to tectonics and surface geology. *Geophysical Journal International*. 2008. Vol. 75. P. 1108—1126.
  15. Villeneuve M., Fournier F., Cirilli S., Spina A., Ndiaye M., Zamba J., et al. Structure of the Paleozoic basement in the Senegalo-Mauritanian basin (West Africa). *Bulletin de la Société Géologique de France*. 2015. No. 2—3(186). P. 193—203.
  16. Wilson M., Guiraud R., Moreau C., Bellion Y.J.-C. Late Permian to Recent magmatic activity on the African-Arabian margin of Tethys. Geological Society, London, Special Publications. 1998. No. 1(132). P. 231—263.
  17. Zwaan F., Chenin P, Erratt D., Manatschal G., Schreurs G. Complex rift patterns, a result of interacting crustal and mantle weaknesses, or multiphase rifting? *Insights from analogue models*. *Solid Earth*. 2021. No. 7(12). P. 1473—1495.

### ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Усова В.М. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Valentina M. Usova — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Усова Валентина Михайловна** — старший преподаватель департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия

e-mail: [usova-vm@rudn.ru](mailto:usova-vm@rudn.ru)

SPIN-код: 1276-3570

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0023-5913>

Scopus ID: 57205576129

**Valentina M. Usova** — senior lecturer, Department of Geology, Mineral Development and Oil & Gas Engineering, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University).

6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russian Federation

e-mail: [usova-vm@rudn.ru](mailto:usova-vm@rudn.ru)

SPIN-code: 1276-3570

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0023-5913>

Scopus ID: 57205576129



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-69-77>  
УДК 553.8+549.755.131(575.3)



## МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЯ БИРЮЗЫ И ВАРИСЦИТА В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН

А.К. ЛИТВИНЕНКО, Ш.Т. ВОСИХОВ\*

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Бирюза известна в Северном Таджикистане, а варисцит — в Центральном. Бирюзовая минерализация представлена месторождением Бирюзакан и четырьмя проявлениями: Бирюзасай, Шорбулак, Кармазар, Кызылташ, которые находятся в центре крупнейшего горнорудного района Кармазар, на южном склоне Кураминского хребта. Проявления бирюзы Самаркандек и Исфара расположены в северных отрогах Туркестанского хребта. Варисцитовая минерализация размещена в Центральном Таджикистане, на северном склоне Зеравшанского хребта, в верховьях реки Шинг, на ее левом борту, на площади небольшого золото-сурьмяного месторождения Чоррога и второй объект, на площади крупного месторождения сурьмы Джижикрут. В образовании бирюзы и варисцита наблюдается много общих черт, позволяющих совместно их рассматривать как гидротермально-метасоматические минералы.

**Целью** является обобщение геологических материалов с учетом новых, полученных нами о бирюзе и варисците на территории Республики Таджикистан, и проанализировать процессы их образования.

**Объектом** служит месторождение Бирюзакан и шесть проявлений бирюзы и два — варисцита.

**Материалы и методы исследования.** Каменный материал отобран на Бирюзакане и Чорроге в 2022—2023 годах. Была выполнена фотодокументация горных выработок и крупного регионального разлома Бирюзовый. По литературным данным составлена на тектонической основе карта размещения бирюзовых и варисцитовых объектов. Для этого использовались картографический, структурный и минералогический методы.

**Результаты.** Впервые приводится геологическая сводка о всех известных месторождениях и проявлениях бирюзы и варисцита на территории Республики Таджикистан и составлена карта их размещения на тектонической основе. Предложен новый механизм образования: гидротермально-метасоматический, при котором вещество для бирюзы и варисцита (медь, алюминий и фосфор) заимствовалося из вмещающих вулканогенных и кремнистых пород по механизму латераль-секреционного процесса.

**Заключение.** Предложенная гипотеза об образовании бирюзы и варисцита является альтернативой существующим взглядам, которых придерживались многие крупные специалисты в области геологии месторождений самоцветов.

**Ключевые слова:** бирюза, варисцит, Бирюзакан, Кармазар, вулканические породы, яшмы, латераль-секреционный процесс, гидротермально-метасоматический генезис

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Литвиненко А.К., Восихов Ш.Т. Месторождения и проявления бирюзы и варисцита в Республике Таджикистан. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(3):69—77. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-69-77>

Статья поступила в редакцию 01.01.2024

Принята к публикации 28.06.2024

Опубликована 30.09.2024

\* Автор, ответственный за переписку

## DEPOSITS AND OCCURRENCES OF TURQUOISE AND VARISCITE IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

ANDREY K. LITVINENKO, SHOHRUKH T. VOSIHOV\*

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** Turquoise is known to occur in Northern Tajikistan, while variscite is found in Central Tajikistan. Turquoise mineralization is represented by Biryuzakan deposit and four occurrences: Biryuzasay, Shorbulak, Karamazar, Kyzyltash, which are located in the center of the largest mining district Karamazar, on the southern slope of the Qurama Mountains. The turquoise occurrences of Samarkandek and Isfara are situated in the northern branches of the Turkestan Range. Variscite mineralization is located in Central Tajikistan, on the northern slope of the Zarafshan Range, in the upper reaches of the Shing River, on its left side, in the area of a small gold-antimony deposit Chorraga and in the area of a large deposit of Jijikrut. Formation of turquoise and variscite has many common features, thereby allowing them to be considered together as hydrothermal-metasomatic minerals.

**Aim.** To summarize geological materials, taking into account new data obtained regarding turquoise and variscite in the territory of the Republic of Tajikistan, and to analyze the processes of their formation. The study focuses on the Biryuzakan deposit and six occurrences of turquoise as well as two occurrences of variscite.

**Materials and methods.** Rock samples were collected at the Biryuzakan and Chorraga deposits in 2022—2023. Photographic documentation of mine workings and a major regional fault — Biryuzovy Fault — was conducted. A tectonic map of turquoise and variscite occurrences was compiled using literature data. Cartographic, structural, and mineralogical methods were employed for this purpose.

**Results.** For the first time, the study introduced a geological summary of all known deposits and occurrences of turquoise and variscite in the territory of the Republic of Tajikistan and a tectonic map of their location. A new, hydrothermal-metasomatic formation mechanism is proposed, wherein the substances for turquoise and variscite (copper, aluminum, and phosphorus) were sourced from host volcanic and siliceous rocks through a lateral-secretion process.

**Conclusion.** The proposed hypothesis regarding the formation of turquoise and variscite serves as an alternative to existing views shared by many prominent specialists in the field of gemstone geology.

**Keywords:** turquoise, variscite, Biryuzakan, Karamazar, volcanic rocks, jasper, lateral-secretion process, hydrothermal-metasomatic genesis

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Litvinenko A.K., Vosihov Sh.T. Deposits and occurrences of turquoise and variscite in the republic of Tajikistan. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):69—77. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-69-77>

*Manuscript received 01 January 2024*

*Accepted 28 June 2024*

*Published 30 September 2024*

\* Corresponding author

### Размещение месторождений и проявлений бирюзы и варисцита

Бирюзовая минерализация Таджикистана размещена, в соответствии с географическим районированием республики [8], в Северном Таджикистане.

Она представлена 7 объектами: одним месторождением (Бирюзакан) и шестью проявлениями (Бирюзасай, Шорбулак, Карамазар, Кызылташ, Исфара и Самаркандек). Наибольший промышленный интерес имеют Бирюзакан, Самаркандек

и Исфара [1]. Бирюза из месторождения Бирюзакан является самой лучшей по качественным кондициям на территории бывшего СССР [2], где геологами объединения «Союзкварцсамоцветы» было выявлено много пунктов с бирюзовой минерализацией. Многие из них получили статус месторождения, например Техутское в Армении. Наши находки 2022—2023 годов также подтверждают высокие качественные кондиции Бирюзакана (рис. 1).

Варисцитовая минерализация размещена в Центральном Таджикистане, где была установлена [3] в верховьях реки Шинг, на ее левом борту, на площади небольшого золото-сурьмяного месторождения Чоррога, а второй объект — на площади крупного месторождения сурьмы Джижикрут.

### Геология месторождений бирюзы

Месторождение Бирюзакан и четыре проявления (Бирюзасай, Шорбулак, Кармазар, Кызылташ) находятся в центре крупнейшего горнорудного района Кармазар, на южном склоне Кураминского хребта. Эта территория входит в состав Срединного Тянь-Шаня — каледонская структура. Проявления бирюзы Самаркандек и Исфара расположены в северных отрогах Туркестанского хребта, который входит в состав Южного Тянь-Шаня — герцинская структура (рис. 2). Бирюзовые объекты Кармазара локализо-

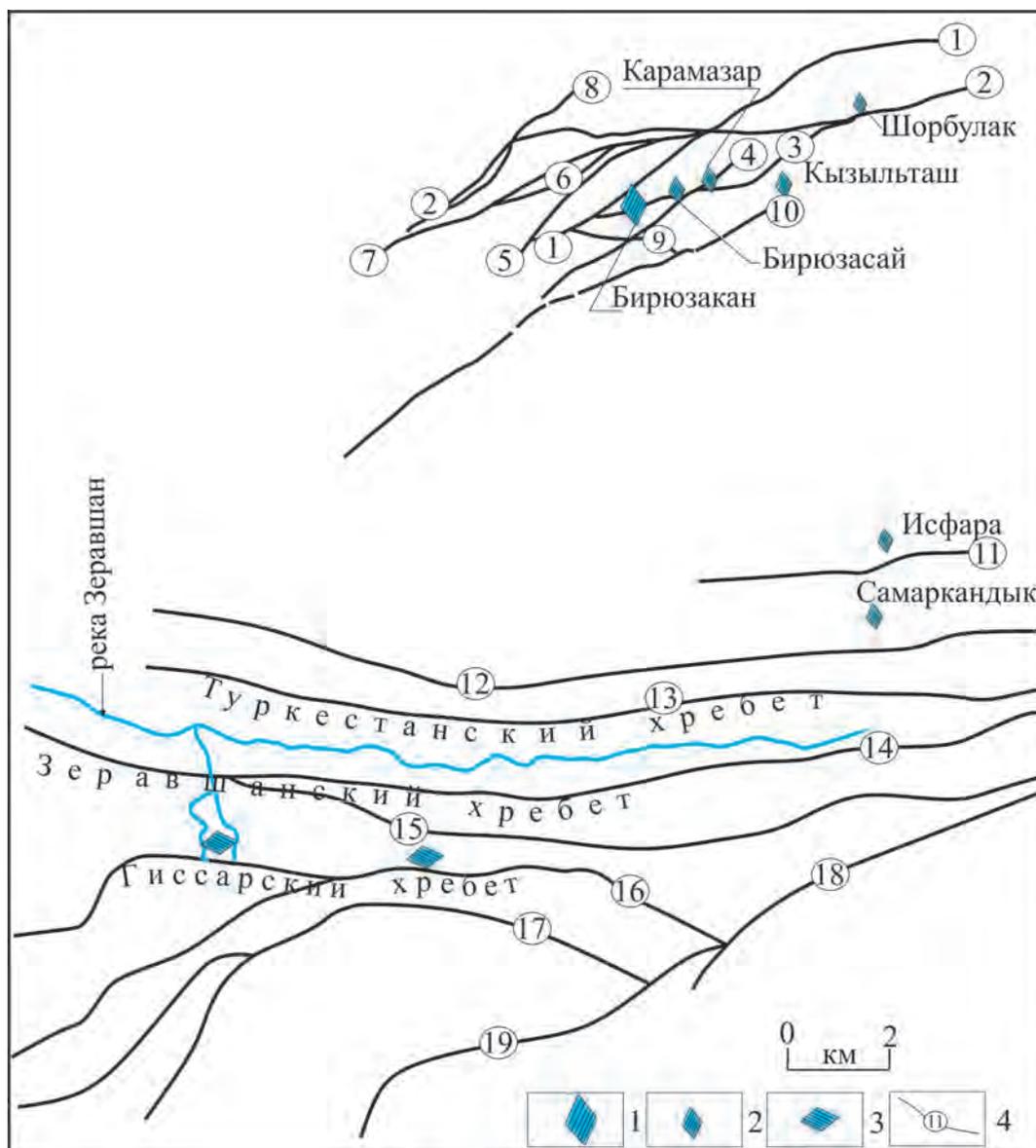
ваны в центре сложной системы глубинных разломов северо-восточного простирания: Тарыэканского, Баштавакского, Кошмулинского, Кызылтурского и Бирюзового. Проявления бирюзы Туркестанского хребта контролируются Шурабвуадильским и Зааминкаравшинским разломами широтного простирания (рис. 2).

**Бирюзакан** исследуется с 1964 года, наиболее полные сведения о нем приведены в монографиях Т.И. Менчинской (1981, 1989). Размещение бирюзовой минерализации Кармазара контролируется крупной разрывной структурой — Бирюзовым разломом. Эта структура четко выражена в рельефе и протягивается в северо-восточном направлении на 45 км. В границах месторождения разлом представлен дайкообразным телом с изменяющейся мощностью около 120 метров и углами падения 75—85°. Возможно, что вдоль линии разлома произошло внедрение кварцевой жилы, маркирующей линию разрыва (рис. 3). Севернее разлома расположена толща мраморизованных известняков и доломитов ( $D_3-C_1$ ).

Площадь месторождения сложена сильно измененными андезитовыми порфиритами минбулакской свиты ( $C_1$ ) и дацитовыми порфиритами и их туфами акчинской свиты ( $C_2$ ). Вулканы, вмещающие бирюзовую минерализацию, сильно



Рис. 1. Фрагмент бирюзовой жилы с участка 3  
Fig. 1. A fragment of a turquoise vein from site 3



**Рис. 2.** Карта размещения месторождений и проявлений бирюзы и варисцита. Составлена с использованием геологической карты масштаба 1:200 000 из отчета В.Н. Байкова и др., 1968: 1 — месторождение бирюзы, 2, 3 — проявления: 2 — бирюзы, 3 — варисцита, 4 — разломы и их номера: 1) Тарыэканский, 2) Баштавакский, 3) Бирюзовый, 4) Кошмулинский, 5) Канджольский, 6) Токмакский, 7) Реджометальный, 8) Алтынтюпканский, 9) Оккурдаванский, 10) Кызылтурский, 11) Шурабвуадильский, 12) Зааминкаравшинский, 13) Туркестано-алайский, 14) Зеравшанский, 15) Гиссарокаратегинский, 16) Главный Гиссарский, 17) Ходжаобигармский, 18) Вахшский, 19) Илякский

**Fig. 2.** A location map showing deposits and manifestations of kallaite and variscite. It is compiled using a 1:200000 scale geological map from the report by V.N. Baykov and others, 1968: 1 — turquoise field, 2, 3 — manifestations: 2 — turquoises, 3 — variscite, 4 — faults and their numbers: 1) Taryekansky, 2) Bashtavaksky, 3) Turquoise, 4) Koshmulinsky, 5) Kanjolsky, 6) Tokmaksky, 7) Redkometalny, 8) Altyntopkansky, 9) Okkurdawansky, 10) Kyzyltursky, 11) Shurabwadijsky, 12) Zaaminakaravshinsky, 13) Turkestanoyalaisky, 14) Zeravshansky, 15) Hissarokarategin, 16) Main Hissar, 17) Khodjaobigarmsky, 18) Vakhshsky, 19) Ilyakian

изменены. Внешне это проявлено в их сильном освещении. Благодаря этому месторождение выделяется среди окружающих черных пород, покрытых бронзовым загаром и более устойчивых к выветриванию. На месторождении было разведано три участка (рис. 3).



**Рис. 3.** Вид на месторождение бирюзы Бирюзакан с юга. Цифрами показаны участки месторождения, пунктирная линия — Бирюзовый разлом

**Fig. 3.** View of the Biryuzakan turquoise deposit from the south. The figures show the deposit sections, the dotted line is the Turquoise fault



**Рис. 4.** Соотношения кварцевых и бирюзовых жил с вмещающими породами

**Fig. 4.** The ratios of quartz and turquoise veins with the host rocks

Бирюзовая минерализация локализована в лежачем контакте Бирюзового разлома в зоне «оперяющих» его трещин. Мощность бирюзовых жил составляет 2—3 см, протяженность 7—12 м. Иногда встречается вкрапленная форма бирюзы: желваки, прожилки, линзы до первых сантиметров. Промышленный интерес представляют сближенные жилы и желваки бирюзы, объединяемые в зоны.

Изменения вулканитов проявлены в интенсивной каолинизации и окварцевании. Полевые шпаты размером 0,1—0,8 мм в поперечнике, иногда до 4 см, нацело замещены минералами группы каолинита, темноцветные — серпентином, халькопирит размером до 3 см в поперечнике — малахитом, пирит, первые мм, — гематитом. Неизмененные породы обогащены апатитом до 3—8% в ассоциации с хлоритом [5]. В зонах замещения вулканитов апатит отмечается в виде реликтов. В аповулканитах в интерстициях зерен кварца рассеяна тонкая

вкрапленность пирита, халькопирита, реликтов апатита и каолинита. Многочисленные кварцевые жилы пересекают аповулканиты, а жилы бирюзы секут кварцевые (рис. 4). Эти соотношения минералов указывают на то, что бирюза является более поздним минералом, чем кварцевые жилы.

За весь период освоения месторождения Бирюзакан, по мере накопления фактического материала, проводились попытки оценить прогнозные ресурсы бирюзы. Так, в 1963—1964 годах были оценены прогнозные ресурсы участка № 3 в количестве 667,6 кг кондиционной бирюзы, с учетом бирюзовой крошки — 971,4 кг. С учетом добычи (184,4 кг) перспективные запасы в недрах составили 486,2 кг с содержанием кондиционной бирюзы 1252,92 г/м<sup>3</sup>, в том числе голубой: 1 сорта — 89,27 г/м<sup>3</sup>, 2 сорта — 253,33 г/м<sup>3</sup>, 3 сорта — 667,4 г/м<sup>3</sup>, бирюзовой крошки — 570,52 г/м<sup>3</sup>; зеленой бирюзы: 1 сорта — 83,13 г/м<sup>3</sup>, 2 сорта — 159,79 г/м<sup>3</sup>. В 1982 г. отчете

о разведке месторождения геологи экспедиции «Средазкварцсамоцветы» отмечают, что объективную оценку они дать не могут, а поисковые работы рекомендуют направить на северо-восточное продолжение Биризового разлома в направлении проявления бирюзы Кызылташ (рис. 2).

**Проявления** бирюзы Биризуасай, Шорбулак, Кармазар и Кызылташ. Биризуасай и Кармазар локализованы вдоль Биризового разлома, генетически и парагенетически связаны с месторождением Биризуакан. Проявление бирюзы Кызылташ лежит между Биризовым и Кызылтурским разломами, а Шорбулак — севернее Баштавакского, одного из крупнейших глубинных разломов Кармазара (рис. 2). Их промышленный потенциал окончательно не определен. Их можно рассматривать как поисковый признак, позволяющий расширить границы и потенциал месторождения Биризуакан.

Проявление Исфара расположено в 5 км юго-западнее г. Исфара, севернее Шураб-Вуадильского разлома. Биризуа встречается в форме очень тонких жилок разной мощности в брекчированных, тонкослоистых кремнистых сланцах ( $C_1$ ). Качество бирюзы высокое [1].

Проявление Самаркандек находится в 13 км юго-западнее г. Исфара, южнее Шураб-Вуадильского разлома, в похожей геологической обстановке с проявлением Исфара. Биризуовая минерализация приурочена к прослоям кремнистых сланцев в известняках раннего палеозоя. Биризуа

установлена в зоне длиной 2,5 км. Она наблюдалась в форме линзочек мощностью 0,5—2 см, с содержанием кристаллосырья от 5 до 100 г/м<sup>3</sup>. Качество бирюзы высокое [1].

#### Геология месторождений варисцита

**Проявление** Чоррога находится в верхнем течении р. Шинг, на левом берегу озера Маргузор, в 0,5 км к востоку от небольшого месторождения сурьмы Чоррога. Эта территория входит в Шинг-Магианский золото-сурьяно-ртутный район, расположенный в западной части Зеравшано-Гиссарской структурно-формационной зоны Южного Тянь-Шаня.

Варисцит обнаружен в плитчатых яшмах агбасайской свиты ( $D_{1-2}$ ), с видимой мощностью около 90 м, падающей на юг под углом 40—50°. Яшмы подстилаются массивными известняками и доломитами аргской свиты ( $S_2$ ) и перекрывается со стратиграфическим несогласием песчано-глинистой толщей маргузорской свиты ( $C_1$ ) [3]. В скальном выступе яшм варисцит образует нескольких секущих жил мощностью до 10 см и протяженностью до нескольких метров (рис. 5). В обнаруженных жилах доминирующий минерал (до 90%) — варисцит. Вторым минералом является штрэнгит, составляющий около 7%. Остальной объем жил занимает светло-коричневая агрегированная смесь микрозернистых минералов: ярозита, скородита, фосфосидерита и метаварисцита.



**Рис. 5.** Вид с юга на месторождение Чоррога. Стрелкой показано проявление варисцита в яшмах  
**Fig. 5.** View from the south on the Chorrog deposit. The arrow shows the manifestation of variscite in jaspers

Исследования геммологических свойств позволили рекомендовать варисцит в качестве ювелирно-поделочного минерала. Он расширяет перспективы региона новым, нерудным видом полезных ископаемых — ювелирно-поделочным камнем [3, 9].

**Второе** проявление варисцита расположено на крупном золото-сурьмяном месторождении Джижикрут (рис. 2). Оно не изучено и является поисковым признаком для дальнейшего исследования. Информация о минерале обнаружена авторами в одном из производственных отчетов о геологическом строении данного месторождения. Эта находка увеличивает потенциал месторождения, где попутно мог бы отрабатываться варисцит.

#### Условия образования бирюзы и варисцита

В образованиях бирюзы и варисцита мы наблюдали много общих признаков. Их объединяет жильная форма. При этом жилы имеют секущие контакты с вмещающими породами и с более ранними жилами кварца (рис. 4, 6). Они образуются в породах с высоким или очень высоким содержанием  $\text{SiO}_2$ . Жилы, рассматриваемых минералов окружены зонами изменения, проявившимися в виде замещения первичных минералов, что привело к осветлению и дезинтеграции с повышением пористости и трещиноватости. В породах произошло разрушение минералов, содержащих медь (халькопирит),

алюминий (полевые шпаты) и фосфор (апатит), путем их замещения новыми. Перечисленные элементы, вероятно, переносились гидротермальными растворами в зияющие трещины, рассматриваемые нами как геохимический барьер, на котором кристаллизовались бирюза и варисцит. Механизм переноса элементов и кристаллизация минералов в трещинах можно трактовать как «альпийские жилы», вещество которых заимствовало из вмещающих пород, превращенных в кварцсодержащие сильно осветленные метасоматиты.

Жилы бирюзы, секущие кварцевые жилы, могут рассматриваться как проявление самой поздней эндогенной активности на территории Кармазара. Бирюза, несмотря на жильную форму ее тел, рассматривается нами как гидротермально-метасоматический минерал. В его образовании отчетливо наблюдается миграция элементов (меди, алюминия и фосфора) из вмещающих вулканитов и яшм на расстояние до нескольких метров, а возможно, и больше. Бирюза завершает процесс метасоматического изменения вулканитов, к которому относятся и жильные формы кварца.



**Рис. 6.** Жила варисцита в яшмах: длина 1,5, мощность в самой широкой части 0,15 м  
**Fig. 6.** A vein of variscite in jaspers: length 1.5, thickness in the widest part 0.15 meter



**Рис. 7.** Обломки варисцита из жилы, приведенной на рисунке 6  
**Fig. 7.** Fragments of variscite from the vein shown in Figure 6

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

Описанные выше геологические особенности залегания бирюзовой и варисцитовой минерализации по генетическим признакам подходят к многочисленным примерам латераль-секреционного процесса, имеющего место на многих рудных месторождениях [7]. Мы считаем, что механизмом кристаллизации бирюзы и варисцита является проявление именно латераль-секреционного процесса, в результате которого из вмещающих пород были мобилизованы медь, алюминий и фосфор — главные составные части бирюзы. Проблема источника вещества для образования бирюзы на месторождении Бирюзакан была сформулирована авторами ранее [4]. К настоящему времени на генезис бирюзы существует две точки зрения: гидротермальная [5, 6] и экзогенная [2]. Наша гипотеза является альтернативой упомянутым выше

представлениям, которых придерживались крупные специалисты в области геологии месторождений самоцветов.

### Заключение

1) Впервые приводится геологическая сводка о всех известных месторождениях и проявлениях бирюзы и варисцита на территории Республики Таджикистан.

2) Составлена карта размещения месторождений и проявлений бирюзы и варисцита на тектонической основе.

3) Предложен новый механизм образования бирюзы и варисцита — латераль-секреционный, при котором вещество для образования этих минералов заимствовалось из вмещающих пород в ходе низкотемпературного гидротермально-метасоматического процесса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Геология СССР. Таджикская ССР. М.: Научно-техн. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1959. Т. XXIV. Ч. I. 732 с.
2. Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. М.: Изд-во Земля. Ассоциация ЭКОСТ, 2000. 583 с.
3. Литвиненко А.К., Сорокина Е.С., Насреддинов З.З., Карампелас С., Иоспа А.В., Кривошеков Н.Н. Варисцит и штрэнгит Центрального Таджикистана — первая находка. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2013. № 3. С. 73—76
4. Литвиненко А.К., Восихов Ш.Т. Проблема источника вещества для бирюзы месторождения Бирюзакан, Карамазар, Северный Таджикистан. XVI Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». Тезисы докладов. 2023. Т. I. С. 53-56.
5. Менчинская Т.И. Бирюза. М.: Недра, 1981. 159 с.
6. Менчинская Т.И. Бирюза. М.: Недра, 1989. 192 с.
7. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1976. 687 с.
8. Таджикская советская социалистическая республика. Гл. ред. М.С. Асимов. Душанбе: 1974. 408 с.
9. Litvinenko A.K., Sorokina E.S., Hofmeister W., Hager T., Jacob D.E. Variscite from Central Tajikistan: Preliminary Results. Gem & Gemmology. 2015. V. LI. P. 160—175.

### REFERENCES

1. Geology of the USSR. Tajik SSR. Moscow: Scientific and technical publishing house of literature on geology and mineral resources protection. 1959. Vol. XXIV. Part. I. 732 p. (In Russ.).
2. Kiyevlenko Ye.Ya. Geology of gems. Moscow: House Earth Publ. ECOST Association, 2000. 583 p. (In Russ.).
3. Litvinenko A.K., Sorokina E.S., Nasreddinov Z.Z., Karampelas S., Iospa A.V., Krivoshchekov N.N. Variscite and Shtrengite of Central Tajikistan — the first finding. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2013. No. 3. 73—76 p. (In Russ.).
4. Litvinenko A.K., Vosihov Sh.T. The problem of the source of substance for turquoise from the Biryuzakan deposit, Karamazar, Northern Tajikistan. XVI International Scientific and Practical Conference «New Ideas in Earth Sciences» Abstracts of reports. 2023. T. I. 53-56 p. (In Russ.).
5. Menchinskaya T.I. Biryuza. Moscow: Mineral Resources, 1981. 159 p. (In Russ.).
6. Menchinskaya T.I. Biryuza. Moscow: Mineral Resources, 1989. 192 p. (In Russ.).
7. Smirnov V.I. Geology of minerals. Moscow: Mineral Resources, 1976. 687 p. (In Russ.).
8. Tajik Soviet Socialist Republic. Editor-in-chief M.S. Asimov. Dushanbe: 1974. 408 p. (In Russ.).
9. Litvinenko A.K., Sorokina E.S., Hoffmeister W., Hager T., Jacob D.E. Variscite from Central Tajikistan: Preliminary Results. Gems & Gemology. 2015. V. LI. 160—175 p.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Литвиненко А.К. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Восихов Ш.Т. — обработал и проанализировал геологические данные, подготовил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Andrey K. Litvinenko — developed the concept and prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Shohrukh T. Vosihov — has processed and analyzed the geological data, prepared the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Литвиненко Андрей Кимович** — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры минералогии и геммологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: [akl1954@yandex.ru](mailto:akl1954@yandex.ru)

тел.: +7 (916) 655-08-08

SPIN-код: 6127-2320

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1779-5391>

**Andrey K. Litvinenko** — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor of the Department of Minerology and Gemmology Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [akl1954@yandex.ru](mailto:akl1954@yandex.ru)

tel.: +7 (916) 655-08-08

SPIN-code: 6127-2320

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1779-5391>

**Восихов Шохрух Туйчиевич\*** — аспирант кафедры минералогии и геммологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: [shohrukh992v@mail.ru](mailto:shohrukh992v@mail.ru)

тел.: +7 (985) 685-14-44

SPIN-код: 5736-7097

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5834-385X>

**Shohrukh T. Vosihov\*** — postgraduate student, Department of Minerology and Gemmology Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [shohrukh992v@mail.ru](mailto:shohrukh992v@mail.ru)

tel.: +7 (985) 685-14-44

SPIN-code: 5736-7097

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5834-385X>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-78-87>  
УДК 552.5; 553.493.67



## ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВНИХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ С КОНЦЕНТРАЦИЯМИ СКАНДИЯ НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Р.У. ЕРЕМЕНКО<sup>1,\*</sup>, П.А. ИГНАТОВ<sup>1</sup>, П.Н. ИЛЛАРИОНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

<sup>2</sup> АК «АЛРОСА» (ПАО)  
б, Ленина ул., г. Мирный 678174, Республика Саха (Якутия), Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Рассмотрены петрохимические характеристики глинистых отложений дяхтарской свиты Накынского кимберлитового поля, содержащей материал переотложенных кор выветривания позднего триаса — раннеюрского возраста. На сегодняшний день оно является наиболее перспективным на скандиевое оруденение по сравнению с другими площадями Мало-Ботубинского и Ыгыаттинского алмазоносных районов Якутии, где также известны концентрации скандия.

**Цель.** Установить геохимические характеристики концентраций скандия в отложениях дяхтарской свиты Накынского кимберлитового поля.

**Материалы и методы.** Используя петрохимические модули проанализировано 9022 рентгенофлуоресцентных анализа пород дяхтарской свиты, выполненных в лаборатории Вилуйской ГРЭ АК АЛРОСА (ПАО).

**Результаты.** По пересчету петрохимических модулей, дяхтарская свита в разных соотношениях сложена: глинистыми породами (42%); глинистыми силицитами (31%), слабоглинистыми силицитами (15%), гидролизатными глинистыми породами (9%) с примесью силицитов (4%). Абсолютное большинство проб с концентрациями скандия выше 100 г/т оказались в гидролизатных глинистых породах (83%), которые содержат продукты зрелых кор выветривания. Также для скандиеносных пород характерно формирование в континентальных условиях, нормальная железистость, неперенесенность и слабощелочная среда.

**Заключение.** Установленные закономерные изменения коэффициентов корреляции Sc/V, Sc/Ti и Sc/K, Sc/Rb с ростом содержания скандия указывают на вероятные формы нахождения скандия в ванадиеносном титаномагнетите и сорбционную в монтмориллоните.

**Ключевые слова:** алмазоносные поля, скандий, дяхтарская свита, геохимия осадочных пород

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** работа выполнена в рамках геологических заданий МГРИ при финансовой поддержке гранта РФФ № 23-27-00280.

**Для цитирования:** Еременко Р.У., Игнатов П.А., Илларионов П.Н. Петрохимические характеристики древних кор выветривания с концентрациями скандия Накынского кимберлитового поля. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(3):78—87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-78-87>

Статья поступила в редакцию 17.07.2024

Принята к публикации 14.09.2024

Опубликована 30.09.2024

\* Автор, ответственный за переписку

# PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ANCIENT WEATHERING CRUSTS WITH SCANDIUM CONCENTRATIONS IN THE NAKYN KIMBERLITE FIELD

RUSLAN U. EREMENKO<sup>1,\*</sup>, PETR A. IGNATOV<sup>1</sup>, PAVEL N. ILLARIONOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117997, Russia*

<sup>2</sup> *JSC ALROSA (PJSC)  
6, Lenina str., Mirny 678174, Republic of Sakha /Yakutia/, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** The study examines the petrochemical characteristics of clayey deposits from the Dyakhtar Formation in the Nakyn Kimberlite Field, which contain material from redeposited weathering crusts of the Late Triassic to the Early Jurassic age. Currently, this Formation is considered the most promising for scandium mineralization compared to other areas in the Malo-Botuobinsky and Ygyattinsky diamond-bearing regions of Yakutia with the identified scandium concentrations.

**Aim.** To establish the geochemical characteristics of scandium concentrations in the sediments of the Dyakhtar formation of the Nakyn kimberlite field.

**Materials and methods.** Using petrochemical modules, 9022 X-ray fluorescence analyses of rocks of the Dyakhtar formation were analyzed, performed at the Vilyui Geological and Exploration Laboratory of ALROSA,

**Results.** The recalculation of the petrochemical modules has revealed that the Dyakhtar Formation comprises the following components in different proportions: clayey rocks (42%), clayey silicites (31%), weak clayey silicites (15%), hydrolyzate clayey rocks (9%) with an admixture of silicites (4%). The vast majority of samples with scandium concentrations exceeding 100 g/t were found in hydrolyzate clayey rocks (83%), which contain products of mature weathering crusts. In addition, scandium-bearing rocks are characterized by formation under continental conditions, by normal iron content and lack of translocation, as well as a weak alkaline environment.

**Conclusion.** The observed systematic changes in the correlation coefficients Sc/V, Sc/Ti, Sc/K, and Sc/Rb with increasing scandium concentrations suggest probable forms of scandium occurrence in vanadium-bearing titanomagnetite and its sorption in montmorillonite.

**Keywords:** diamond-bearing fields, scandium, Dyakhtar Formation, geochemistry of sedimentary rocks

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** the work was carried out within the framework of geological assignments of MGRI with the financial support of RNF grant No. 23-27-00280.

**For citation:** Ignatov P.A., Eremenko R.U., Illarionov P.N. Petrochemical characteristics of ancient weathering crusts with scandium concentrations in the Nakyn kimberlite field. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):78–87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-78-87>

*Manuscript received 17 July 2024*

*Accepted 25 September 2024*

*Published 30 September 2024*

\* Corresponding author

## Введение

В последние годы в Мало-Ботуобинском, Средне-Мархинском и Ыгыаттинском алмазодобывающих районах Якутии установлены высокие, вплоть до промышленных, концентрации скан-

дия и ряда попутных компонентов: ванадия, никеля, кобальта, лантана, церия и неодима [4, 5]. Они выявлены по данным анализов рядового литогеохимического опробования керн поисковых скважин. Опробование было нацелено

на обнаружение геохимических признаков кимберлитов и скоплений минералов — их индикаторов и минералов — спутников алмаза в осадочных породах нижнего палеозоя, потенциально вмещающих кимберлиты, и в базальных горизонтах перекрывающих их отложений. Ведущими признаками таких образований считаются аномальные концентрации хрома, никеля и кобальта [7]. Пробы отбирались, в том числе, из горизонтов древних кор выветривания, захороненных под чехлом каменноугольно-пермских и юрских отложений, достаточно распространенных в Якутской алмазонасной провинции [2].

Большая часть концентраций скандия локализована именно в древних корах выветривания [4]. В частности, в Накынском кимберлитовом поле Средне-Мархинского района самые многочисленные и высокие скопления скандия локализованы в отложениях дяхтарской свиты триас-раннеюрского возраста, содержащей материал переотложенных кор выветривания [1, 9]. Петрохимические характеристики этой свиты в контексте условий и форм концентраций скандия ранее не рассматривались и изложены ниже.

#### Фактический материал и методы исследований

Накынское поле Средне-Мархинского района расположено на юге Якутской алмазонасной провинции. В нем осваиваются месторождения алмазов в кимберлитах трубок Нюрбинская и Ботуобинская, известны алмазонасные дайки Майская, Мархинская, Озерное. Все тела перекрыты терригенными отложениями дяхтарской свиты и вышележащими юрскими прибрежно-морскими отложениями. Накынское поле хорошо изучено поисковым бурением по различным сетям от 20×40 до 500×500 м. В каждой скважине с интервалом порядка 5 м производилось штупное опробование. Содержания элементов корректно определены методом рентген-флюоресцентного анализа (РФА), который используется в практике работ Вилуйской ГРЭ. Анализы выполнены в ее центральной аналитической лаборатории с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра S8 TIGER «BRUKER» (Германия). Это позволило собрать единую базу данных из более чем 45 000 анализов. Все они имеют геологическую привязку и проанализированы в открытой геоинформационной среде QGIS. Расчеты выполнены по стандартной методике в программе Excel.

Перед началом интерпретации геохимических данных дяхтарской свиты проведен отбор результатов анализов. Удалены анализы проб, в которых

скандий не определен. Также удалены значения с сомнительной достоверностью (420 значений с одним результатом 0,5001 — значение, которое, скорее всего, является браком, так как множество значений выше и ниже данного имеют максимум 1—2 повторения). Также были убраны пробы из скважин, непосредственно вскрывших кимберлиты. В результате получен массив из 9021 пробы глинистых пород дяхтарской свиты.

Выбраны генетические петрохимические модули: гидролизатный модуль, алюмокремневый модуль и общая нормативная щелочность, а также элементные фациальные индикаторы, такие как Fe/Mn и Ti/Zr, которые фиксируют глубину осадконакопления и дальность переноса вещества соответственно.

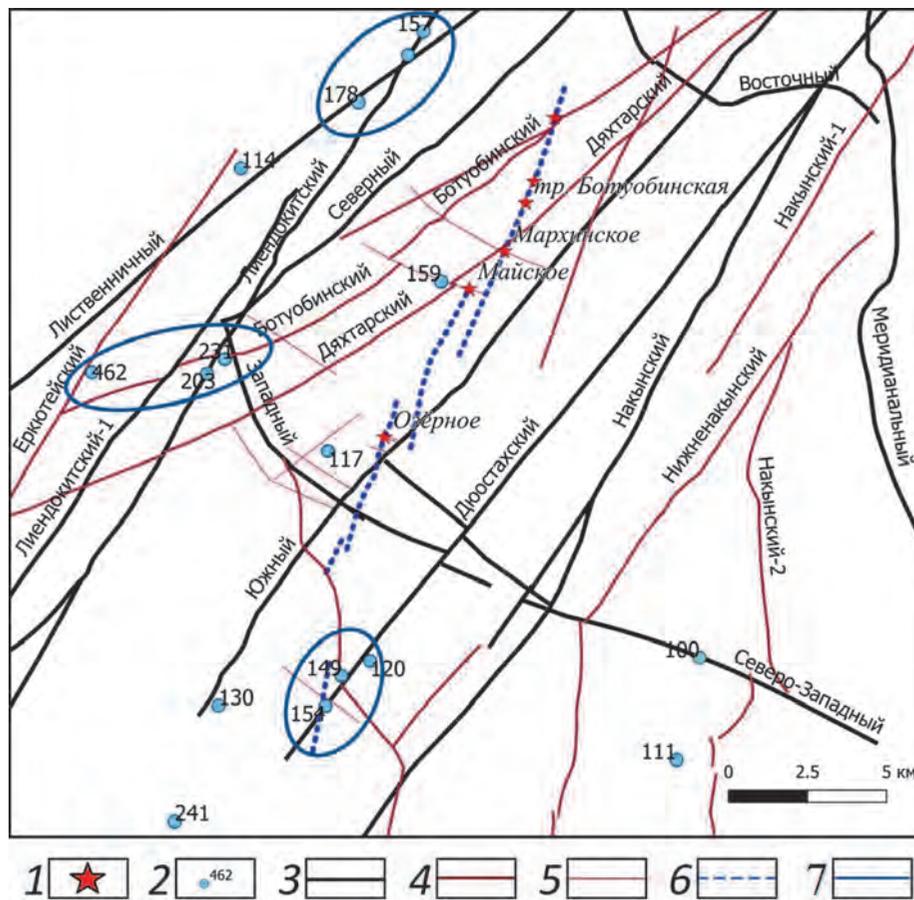
Анализ геохимических данных дополняет рассмотренные ранее перспективы обнаружения собственно скандиевых месторождений в Накынском поле [4]. Здесь выделены наиболее перспективные на скандий участки, расположенные вдоль Ботуобинского, Лиственничного и Дююстахского разломов (рис. 1).

#### Результаты исследований

Древние коры выветривания Якутии, в том числе и в Накынском поле, сложены главным образом монтмориллонитом с примесью других глинистых минералов и сидерита [2, 3, 10]. Глинистый состав кор выветривания, очевидно, делает их хорошим сорбентом.

В Накынском поле широко распространены переотложенные коры выветривания триас-раннеюрского возраста, относящиеся к дяхтарской свите. Они представлены карбонатно-алеврито-глинистым материалом карстовых, делювиальных, аллювиально-пролювиальных и озерных отложений, выполняющих пологие впадины древнего тектоно-эрозионно-карстового рельефа [1, 9]. Коры выветривания этого возраста затрагивают и позднедевонские кимберлиты [3, 6, 10]. В рассматриваемом районе, вероятно, и в раннекаменноугольное время проявлялось интенсивное выветривание, широко распространенное в Западной Якутии [2].

Проявлений триасового магматизма, характерного для большей части Западно-Якутской алмазонасной провинции, в Накынском поле нет [14]. Здесь широко распространены sillы и особенно дайки среднепалеозойских траппов, а также эруптивные брекчии базитов и единичные тела среднепалеозойских монцонит-порфиров [8, 12, 13].



**Рис. 1.** Структурно-тектоническая карта Накынского поля с перспективными на скандиевое оруденение участками, включая наиболее рудный центральный участок: 1 — кимберлитовое тело; 2 — аномальные содержания скандия в г/т; 3—5 — разрывные нарушения разных порядков: 3 — I, 4 — II, 5 — III; 6 — швы Диагонального разлома, контролирующего кимберлиты; 7 — перспективные участки для выявления Sc-оруденения

**Fig. 1.** Structural and tectonic map of the Nakyn field with areas promising for scandium mineralization, including the most ore-rich central area: 1 — kimberlite body; 2 — anomalous scandium contents in g/t; 3—5 — discontinuities of different orders: 3 — I, 4 — II, 5 — III; 6 — seams of the Diagonal Fault controlling kimberlites; 7 — promising areas for Sc mineralization

Наличие основных, ультраосновных и щелочных пород, которые подвергались достаточно глубокому выветриванию, предопределило возможность накопления в среднепалеозойских и мезозойских корах выветривания скандия и попутных компонентов. Разная степень выветривания различных по составу и генезису пород предопределила неравномерность распределения концентраций скандия, что находит отражение в петрохимических данных.

Гидролизатный модуль вычисляется по формуле  $Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO / SiO_2$ . Показатель дает возможность разделять терригенные и глинистые отложения по содержанию либо продукты гидролиза (каолинит, оксиды алюминия, железа, марганца), либо кремнезем. Чем выше значения

этого модуля, тем более глубокое выветривание претерпели исходные породы источников сноса [11]. При значении модуля меньше 0,1 речь идет о кварцевых песчаниках и алевролитах, от 0,1 до 0,2 — о слабглинистых песчаниках и алевролитах, 0,2—0,3 соответствует глинистым песчаникам, 0,3—0,5 — это глинистые породы, а значения выше 0,5 указывают на зрелые коры выветривания. Из 9021 пробы дягтарской свиты 42,1% относятся к глинистым породам, 30,7% — к глинистым силицитам, 14,8 — к слабглинистым силицитам, 3,5% — к силицитам и 8,9% — к гидролизатным породам (табл. 1).

В малочисленных гидролизатных породах, которые содержат либо каолинит, либо свободные оксиды алюминия, железа и марганца, содержится

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

**Таблица 1.** Соотношение проб с повышенным содержанием Sc в разных по петрохимическим модулям отложениях  
**Table 1.** Ratio of samples with elevated Sc content in different petrochemical modules of sediments

Породы	Количество проб	Процент проб от общего числа	Процент проб с содержанием выше 100 г/т
Гидролизатные глинистые породы	806	8,9	82,76
Глинистые породы	3800	42,1	13,79
Глинистые силициты (кремнисто-глинистые сланцы)	2765	30,7	3,45
Слабоглинистые силициты	1331	14,8	0
Силициты (кремни, фтаниты, яшмы, лидиты)	319	3,5	0
Всего	9021	100	100,00

**Таблица 2.** Соотношение проб с повышенным содержанием Sc с отложениями различной щелочности  
**Table 2.** Correlation of samples with elevated Sc content with sediments of different alkalinity

Пробы	Количество проб	Процент проб от общего числа (%)	Процент проб с содержанием выше 100 г/т (%)
Гиперщелочные	3	0,03	0
Высокощелочные	50	0,55	0
Повышенно щелочные	2357	26,13	6,90
Нормально щелочные	3362	37,27	13,79
Гипощелочные	3249	36,02	79,31
Всего	9021	100	100,00

83% от всех проб с содержанием Sc выше 100 г/т; 17% относятся к глинистым породам, и только 1 проба относится к глинистым силицитам (кремнисто-глинистые сланцы), мезомиктовым и полимиктовым кварцевым песчаникам и алевролитам. В то же время силициты и слабоглинистые силициты вообще не содержат повышенных концентраций скандия.

Алюмокремневый модуль, который зачастую дублирует гидролизатный модуль, также подтвердил, что большинство проб с повышенным содержанием скандия относятся к гидролизатным породам, связанным с корами выветривания.

Общая нормативная щелочность, или «полевошпатовый индикатор», рассчитывает стандартную смесь гидрослюд и полевых шпатов и интерпретирует отклонения в ту или иную сторону. Вычисляется по формуле  $K_2O+Na_2O/Al_2O_3$ . При значениях модуля выше 1 речь идет о гиперщелочных породах, от 0,7 до 1,0 — высокощелочные, 0,4—0,7 — повышенно щелочные, 0,2—0,4 — нормально щелочные, все значения ниже 0,2 относят породу к гипощелочной (слабощелочной). Среди всех проб дяхтарской свиты единичными являются пробы высоко- и гиперщелочных отложений (табл. 2), в то время как гипощелочные, нормально

щелочные и повышенно щелочные представлены примерно поровну и образуют 99,5% всех типов пород. Как и в случае с гидролизатным модулем, большинство проб с повышенным содержанием Sc (79,31%) относятся к определенному типу гипощелочных пород.

Fe/Mn фациальный индикатор показывает глубину осадкообразования и указывает на то, что большинство пород (72,4%) формировались в поверхностных условиях, однако 27,6 % отложений по данному индикатору формировались в морском мелководье. Одна проба показала глубоководные условия формирования, что не сходится с палеогеографической характеристикой дяхтарского времени, а также палеогеологическими картами, но, вероятнее всего, это связано с переработкой нижележащей олдондинской свиты, представленной преимущественно известняками.

Фациальный индикатор Ti/Zr указывает на дальность переноса вещества и основан на том, что при длительной транспортировке обломочной составляющей породы значения этого модуля уменьшаются вследствие лучшей сохранности циркона в сравнении с титаносодержащими минералами. 69% проб с высоким

содержанием скандия указывают на породы, которые не подвергались дальнему переносу, однако 31% проб, согласно модулю, явно дальнеприносные. Такое большое значение не может быть погрешностью метода и показывает, что среди проб с повышенным содержанием Sc есть породы как ближнего, так и дальнего сноса.

Целесообразно рассмотреть петрохимические индикаторы на конкретном геологическом разрезе, составленном по наиболее перспективному на скандиевое оруденение участку, расположенному вдоль Ботубинского разлома между Еркютейским и Лиендокитским разломом (рис. 2).

Здесь в скважинах 396-472 и 428-448 встречаются интервалы мощностью около 20 м, в которых содержание скандия превышает 100 г/т. В скважине 396-472 между пробами с содержанием скандия 133,6 и 462,5 находится проба с содержанием в 56,95 г/т.

Согласно гидролизатному модулю все пробы с содержаниями больше 100 г/т и проба в 56,95 г/т относятся к зрелым корам выветривания. Показатель общей нормативной щелочности соответствует слабощелочным, кроме проб с 56,95 и 107,7 г/т, которые относятся к нормально щелочным и не сильно отличаются от остальных по значению модуля щелочности. Согласно Fe/Mn фациальному индикатору все пробы являются континентальными отложениями за исключением нижней (141 г/т), которая относится

к мелководным отложениям, что, скорее всего, связано с положением в нижней части разреза и эрозией карбонатных пород олдондинской свиты. Ti/Zr фациальный индикатор относит все пробы к практически не перенесенным или к слабо перенесенным. Железистый модуль в данном разрезе относит все пробы к повышенно железистым, кроме пробы в 130,2 г/т в скважине 396-472 и 199,7 г/т в скважине 428-448. Однако разница весьма незначительна, так как к высокожелезистым относятся значения в 1—3, а к нормальножелезистым 0,2—0,6 и значения в 1,03 и 0,59 соответственно отличаются от повышенно щелочных на незначительные 0,03 и 0,01.

Из менее показательных и результативных следует отметить упомянутый железистый модуль. При оценке выборки среди показателей с высоким содержанием Sc нет четкой взаимосвязи с породами определенной степени железистости. Однако отмеченные высокие концентрации скандия связаны с повышенно железистыми породами, которые составляют половину от общей выборки (9021 проба) в дяктарской свите (48,3%). Пятая часть (20,7%) относится к нормально железистым и высоко железистым и только 10,3% к слабожелезистым породам.

Таким образом, по петрохимическим модулям большая часть концентраций скандия выше 100 г/т связана с глинистыми, повышенно железистыми породами зрелой коры выветривания, которые накопились в континентальных,

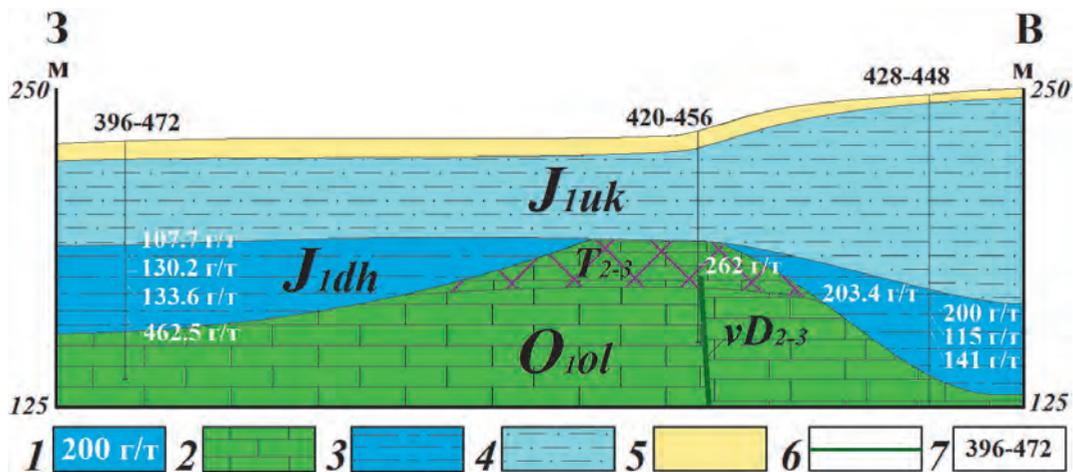


Рис. 2. Субширотный разрез перспективного участка: 1 — содержание скандия больше 100 г/т; 2 — карбонатные породы олдондинской свиты ордовика; 3 — глинистые породы дяктарской свиты; 4 — глинисто-песчаные породы укугутской свиты; 5 — четвертичные отложения; 6 — девонские дайки основного состава; 7 — номер скважины

Fig. 2. Sublatitudinal section of the prospective area: 1 — scandium content greater than 100 g/t; 2 — carbonate rocks of Oldondin Formation of Ordovician; 3 — clayey rocks of Dyakhtar Formation; 4 — clayey-sandy rocks of Ukugut Formation; 5 — Quaternary sediments; 6 — Devonian dikes of basic composition; 7 — well number

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

**Таблица 3.** Сравнение средних содержаний элементов в породах дяхтарской свиты Накынского кимберлитового поля  
**Table 3.** Comparison of average elemental contents in rocks of the Dyakhtar Formation of the Nakyn kimberlite field

Средние содержания:	Макроэлементы в %			Микроэлементы в г/т (для микроэлементов указан кларк)				
	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Sc (12)	V (150)	Cu (55)	Rb (130)	Nb (13,6)
Проб с повышенным содержанием Sc (29)	1,5	0,1	3,7	157,1	429,1	251,4	30,4	31,3
Проб, отнесенных к зрелым корам выветривания по модулям (806)	2,6	0,1	1,1	27,9	155,7	119,6	52,1	15,0
Всех проб дяхтарской свиты (9022)	3,4	0,1	0,8	14,6	107,2	97,0	71,6	14,2

Примечание. Указаны кларковые содержания элементов по данным таблицы, составленной в отделе «Геоэкология и геохимическое картирование» ИМГРЭ. <https://www.geokniga.org/geowiki/средние-содержания-химических-элементов>

Note. The clark contents of the elements are indicated according to the table compiled in the Department of Geoecology and Geochemical Mapping of IMGRE. <https://www.geokniga.org/geowiki/средние-содержания-химических-элементов>

слабощелочных условиях и не испытали значительного перемещения.

Имеющиеся аналитические данные позволяют подойти к решению вопроса о формах концентраций скандия в дяхтарской свите. Рассмотрим распределение макро- и микроэлементов, имеющих наиболее контрастные значения, по трем группам: пробы с повышенным содержанием Sc; пробы, отнесенные по модулям к зрелым корам выветривания; все пробы дяхтарской свиты. Элементы, которые значимо отличаются в выборках, представлены в таблице 3.

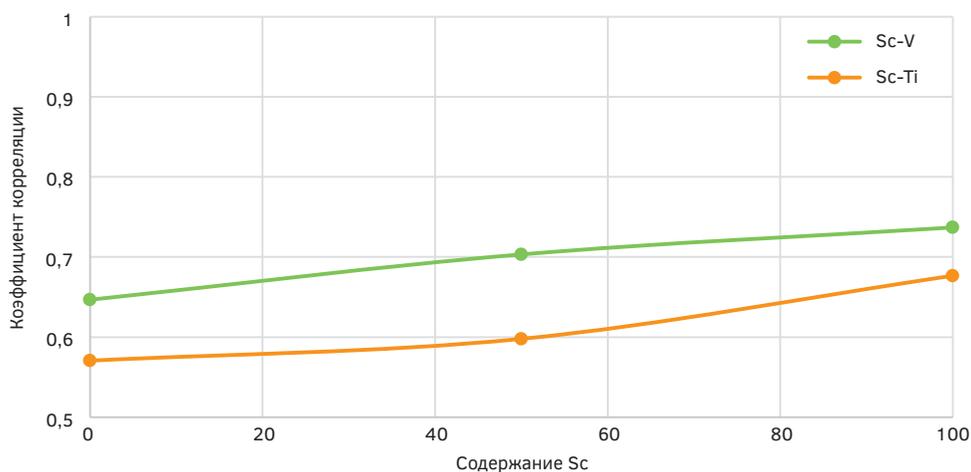
Видно, что концентрации скандия в породах дяхтарской свиты сопровождаются концентрациями ванадия, меди и ниобия и деконцентрацией калия и рубидия. В породах переотложенных кор выветривания повышены концентрации скандия и меди как относительно общей выборки, так и относительно кларков. Содержания ванадия повышены только в высокоскандиевых пробах.

По расчету коэффициентов корреляции установлен тренд на увеличение положительной связи скандия с ванадием и титаном (рис. 3).

Коэффициенты корреляции увеличиваются в пробах, содержащих скандий больше 50 г/т. Скорее всего, это указывает на нахождение скандия и ванадия в одном минерале, предположительно, в установленном [9] в дяхтарской свите, титаномагнетите.

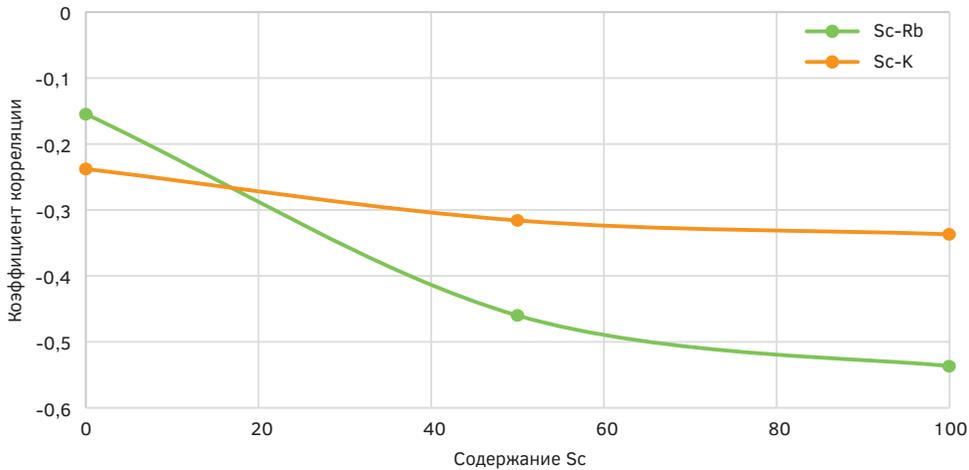
Коэффициенты корреляции скандия с рубидием и калием имеют обратный тренд (рис. 4).

Видно, что корреляция скандия с калием практически не меняется, а с рубидием увеличивается обратная зависимость. Возможно, это связано с тем, что рубидий вместе с калием входит в кристаллическую структуру гидрослюд, а скандий, вероятно, сорбировался монтмориллонитом. Надо отметить, что рассматриваемые зрелые коры выветривания имеют монтмориллонит-гидрослюдистый состав [9].



**Рис. 3.** Увеличение коэффициентов корреляции V и Ti со Sc с ростом его концентраций

**Fig. 3.** Increase of correlation coefficients of V and Ti with Sc with increase of its concentrations



**Рис. 4.** Уменьшение коэффициентов корреляции K и Rb со Sc с ростом его концентрации  
**Fig. 4.** Decrease of correlation coefficients of K and Rb with Sc with increase of its concentration

### Заключение

Анализ петрохимических модулей показывает, что большая часть концентраций скандия выше 100 г/т связана с неперенесенными глинистыми, повышено железистыми породами зрелой коры выветривания, которые накопились в континентальных слабощелочных условиях.

По коэффициентам корреляций скандия с калием, рубидием и ванадием можно считать, что форма нахождения рудных концентраций скандия предполагается в виде сорбции в монтмориллоните и тонкозернистом акцессорном ванадий-скандиеносном титаномагнетите.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Граханов О.С. Строение, состав и условия формирования раннемезозойских погребенных россыпей алмазов Средне-Мархинского района Западной Якутии: Автореф. дис. ... канд. геолого-минералогических наук. Воронеж 2010.
2. Зинчук Н.Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы. Новосибирск: Изд-во Новосибирского ун-та, 1994. 240 с.
3. Зинчук Н.Н., Мельник Ю.М., Стегницкий Ю.Б. Сравнительная минералогическая характеристика кор выветривания кимберлитовых пород трубок Нюрбинская и Ботуобинская. В сб.: Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов (мат-лы науч.-практ. конф., посв. 30-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». Мирный, 1998. С. 132—134.
4. Игнатов П.А., Еременко Р.У., Толстов А.В., Овчинников И.М. Перспективы выявления месторождений скандия в Якутской алмазонасной провинции. Горный журнал. 2022. № 7. С. 12—21.
5. Игнатов П.А., Еременко Р.У., Толстов А.В., Овчинников И.М. Перспективы обнаружения месторождений стратегических полезных ископаемых (Cu, Co, Ti, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, графит, углеводород) в алмазонасных районах юга Западной Якутии. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2024. Т. 66. №1. С.65—78.
6. Килижеков О.К. Закономерности локализации и особенности разведки погребенных россыпей алмазов Средне-Мархинского района. (Якутская алмазонасная провинция): Автореф. дис. ... канд. геолого-минералогических наук. Новосибирск, 2017.
7. Кириллина А.В., Васильева В.И., Симоненко В.И. Геохимические методы поисков кимберлитов на закрытых территориях западной Якутии. В сб.: Роль геохимии в развитии мсб тпи прогноз, поиски, оценка и инновационные технологии освоения редкометалльных объектов. М.: ИМГРЭ. 2016. С. 44—47.
8. Киселев А.И., Ярмолюк В.В., Егоров К.Н. и др. Среднепалеозойский базитовый магматизм северо-западной части Вилюйского рифта: состав, источники, геодинамика. Петрология. 2006. Т. 14. № 6. С. 626—648.
9. Никулин И.И., Савко А.Д. Литология алмазонасных нижнеюрских отложений Накынского кимберлитового поля (Западная Якутия). Тр. НИИ ВГУ. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2009. 134 с.
10. Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Неустроев Р.Г., Карпенко М.А., Килижеков О.К. Слонопостроенные зрелые коры выветривания кимберлитов Накынского поля (трубки Ботуобинская и Майская). В сборнике: Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные,

- методические, инновационно-технологические пути ее повышения: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённая 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ — НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). 2018. г. Мирный. С. 156—160.
11. *Скляр Е.В.* Интерпретация геохимических данных. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с. ISBN: 5-89594-063.
  12. *Томшин М.Д., Фомин А.С., Корнилова В.П., Черный С.Д., Яныгин Ю.Т.* Особенности магматических формаций из Накынского кимберлитового поля. Якутской провинции. Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 12. С. 1678—1689.
  13. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.
  14. *Черенков В.Г., Корнилова В.П., Голубева Ю.Ю., Герасимова М.В.* Базиты Вилюйско-Мархинского дайкового пояса (Вилюйский палеорифт) и их соотношения с кимберлитами Накынского поля. Руды и металлы. 2021. № 4. С. 85—108.

## REFERENCES

1. Grakhanov O.S. Structure, composition and conditions of formation of Early Mesozoic buried diamond placers of the Sredne-Markhinsky region of Western Yakutia: Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geological and mineralogical Sciences Voronezh, 2010 (In Russ.).
2. Zinchuk N.N. Weathering crusts and secondary alteration of kimberlites of the Siberian Platform. Novosibirsk: Novosibirsk University Publ., 1994. 240 p. (In Russ.).
3. Zinchuk N.N., Melnik Yu.M., Stegnitsky Yu.B. Comparative mineralogical characterization of weathering crusts of kimberlite rocks of Nyurbinskaya and Botuobinskaya pipes. In: *Geology, regularities of location, methods of forecasting and prospecting for diamond deposits (materials of the scientific and practical conference dedicated to the 30th anniversary of YANIGP CRNIGRI ALROSA.* Mirny, 1998. P. 132—134 (In Russ.).
4. Ignatov P.A., Eremenko R.U., Tolstov A.V., Ovchinnikov I.M. Prospects for identification of scandium deposits in the Yakutsk diamondiferous province. *Gornyy Zhurnal.* 2022. No. 7. P. 12—21 (In Russ.).
5. Ignatov P.A., Eremenko R.U., Tolstov A.V., Ovchinnikov I.M. Prospects for the discovery of deposits of strategic minerals (Si, Co, Ti, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, graphite, hydrocarbon) in the diamond-bearing regions of the south of Western Yakutia. *News of higher educational institutions. Geology and exploration.* 2024. Vol.66. No.1. P. 65-78. (In Russ.).
6. Kilizhekov O.K. Regularities of localization and peculiarities of exploration of buried diamond placers of the Sredne-Markhinsky district. (Yakutsk diamondiferous province). Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geological and mineralogical Sciences Novosibirsk, 2017 (In Russ.).
7. Kirillina A.V., Vasilieva V.I., Simonenko V.I. Geochemical methods of searching for kimberlites in the closed areas of western Yakutia. In: *Role of geochemistry in the development of Mineral resource base of solid minerals forecast, prospecting, evaluation and innovative technologies of development of rare-metal objects.* Moscow: IMGRE, 2016. P. 44—47 (In Russ.).
8. Kiselev A.I., Yarmolyuk V.V., Egorov K.N., et al. Middle Paleozoic basite magmatism of the northwestern part of the Vilyui rift: composition, sources, geodynamics. *Petrology.* 2006. Vol. 14. No. 6. P. 626—648 (In Russ.).
9. Nikulin I.I., Savko A.D. Lithology of diamondiferous Lower Jurassic sediments of the Nakyn kimberlite field (Western Yakutia). *Proc. VGU RESEARCH INSTITUTE.* Voronezh: Voronezh State University, 2009. 134 p. (In Russ.).
10. Sablukov S.M., Sablukova L.I., Neustroev R.G., Karpenko M.A., Kilizhekov O.K. Complexly constructed mature weathering crusts of kimberlites of the Nakyn field (Botuobinskaya and Mayskaya pipes). In the collection: *The effectiveness of geological exploration for diamonds: predictive resource, methodological, innovative and technological ways to improve it: materials of the V All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the Diamond Laboratory TsNIGRI — NIGP ALROSA (PAO).* 2018. Mirny. P. 156—160 (In Russ.).
11. Sklyarov E.V. Interpretation of geochemical data. Moscow: Intermet Engineering, 2001. 288 p. (In Russ.). ISBN: 5-89594-063.
12. Tomshin M.D., Fomin A.S., Kornilova V.P., Cherny S.D., Yanygin Y.T. Features of magmatic formations from the Nakyn kimberlite field. Yakutsk province. *Geology and Geophysics.* 1998. Vol. 39. No. 12. P. 1678—1689 (In Russ.).
13. Kharkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. Root diamond deposits of the world. Moscow: Nedra, 1998. 555 p. (In Russ.).
14. Cherenkov V.G., Kornilova V.P., Golubeva Yu. V. Basites of the Vilyuisko-Markhinsky dyke belt (Vilyuisky paleorift) and their relations with kimberlites of the Nakyn field. *Ores and Metals.* 2021. No. 4. P. 85—108 (In Russ.).

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Еременко Р.У. — провел исследования, верифицировал данные, провел статистический анализ, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Игнатов П.А. — разработал концепцию, методологию, проведение исследования, провел редактирование рукописи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Илларионов П.И. — разработал методологию, провел исследования, верифицировал данные, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ruslan U. Eremenko — conducting research, verifying data, conducting statistical analysis, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Petr A. Ignatov — development of the concept, methodology, research, editing of the manuscript, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Pavel N. Illarionov — methodology, research, data verification, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Еременко Руслан Умарович** — аспирант, инженер-исследователь кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: [eremenko-ruslan@mail.ru](mailto:eremenko-ruslan@mail.ru)

тел.: +7 (916) 017-36-29

SPIN-код: 3885-1807

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1997-8723>

**Ruslan U. Eremenko** — graduate student, research engineer at the Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [eremenko-ruslan@mail.ru](mailto:eremenko-ruslan@mail.ru)

tel.: +7 (916) 017-36-29

SPIN-code: 3885-1807

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1997-8723>

**Игнатов Петр Алексеевич\*** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: [ignatovpa@mgri.ru](mailto:ignatovpa@mgri.ru)

тел.: +7 (495) 461-37-77

SPIN-код: 7893-1477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

**Petr A. Ignatov\*** — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor, Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [ignatovpa@mgri.ru](mailto:ignatovpa@mgri.ru)

tel.: +7 (495) 461-37-77

SPIN-code: 7893-1477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

**Илларионов Павел Николаевич** — руководитель направления АК АЛРОСА (ПАО).

6, ул. Ленина, г. Мирный, Республика Саха (Якутия)

e-mail: [IllarionovPN@alrosa.ru](mailto:IllarionovPN@alrosa.ru)

**Pavel N. Illarionov** — Head of the Department of AK ALROSA (PJSC).

6, Lenin str., Mirny, Republic of Sakha (Yakutia),

Russia

e-mail: [IllarionovPN@alrosa.ru](mailto:IllarionovPN@alrosa.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД КАК НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В.Р. ВОЛОШИН\*, К.В. БЕЛОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В связи с развитием новых энергосберегающих технологий происходит внедрение альтернативных источников теплоснабжения, одним из которых являются теплонасосные установки. Одна из схем эксплуатации — использование низкопотенциального тепла грунтового водоносного горизонта. В статье на основе модельных расчетов обосновывается выбор наиболее оптимальной схемы работы.

**Цель.** Модельные расчеты с целью количественной оценки возможности использования грунтового водоносного горизонта в качестве низкопотенциального источника тепловой энергии.

**Материалы и методы.** Для изучения гидродинамических процессов и процесса теплопереноса в водоносном горизонте использовался расчетный код GERA/E1.0, предназначенный для трехмерного геофильтрационного и геомиграционного моделирования.

**Результаты.** Разработано несколько численных моделей для различных схем эксплуатации грунтового водоносного горизонта. На основании расчета выбрана наиболее перспективная схема эксплуатации.

**Заключение.** Количественно оценена возможность эксплуатации водоносного горизонта в качестве низкопотенциального источника тепловой энергии. Выбрана наиболее перспективная схема эксплуатации подземных вод.

**Ключевые слова:** гидрогеология, альтернативные источники, тепловой насос, моделирование, грунтовый водоносный горизонт

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности:** авторы благодарят сотрудников лаборатории №12 геомиграционного моделирования ИБРАЭ РАН и лично кандидата физико-математических наук Капырина И.В.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Волошин В.Р., Белов К.В. Модельные исследования эффективности использования грунтовых вод как низкопотенциальных источников энергии. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(3):88—99. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-88-99>

Статья поступила в редакцию 15.08.2024

Принята к публикации 16.09.2024

Опубликована 30.09.2024

\* Автор, ответственный за переписку

## MODEL STUDIES ON GROUNDWATER EFFICIENCY AS A LOW-GRADE ENERGY SOURCE

VALERY R. VOLOSHIN\*, KONSTANTIN V. BELOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** New energy-saving technologies induce the implementation of alternative heat supply sources, including heat pump systems. One of their operational schemes utilizes low-grade heat from groundwater aquifers. The paper substantiates the selection of the most optimal operational scheme based on model calculations.

**Aim.** To conduct model calculations aimed at computing the feasibility of using groundwater aquifers as a low-grade heat energy source.

**Materials and methods.** The hydrodynamic processes and heat transfer within the aquifer were studied using the GERA/E1.0 computational code, designed for three-dimensional geofiltration and geomigration modeling.

**Results.** Several numerical models are developed for various operational schemes of groundwater aquifers. The most promising operational scheme was selected based on the calculations.

**Conclusion.** The feasibility of using groundwater aquifers as a low-grade heat energy source has been quantitatively assessed. The most optimal operational scheme has been selected.

**Keywords:** hydrogeology, alternative sources, heat pump, modeling, groundwater aquifer

**Conflict of interest:** the authors declare that they have no conflict of interest.

**Acknowledgments:** the authors thank the staff of Laboratory No. 12 of Geomigration Modeling IBRAE RAN, and personally the candidate of physical and mathematical sciences Kapyrin I.V.

**Financial disclosures:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Voloshin V.R., Belov K.V., Akatiev I.D. Model studies on groundwater efficiency as a low-grade energy source. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):88—99. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-88-99>

*Manuscript received 15 August 2024*

*Accepted 16 September 2024*

*Published 30 September 2024*

\* Corresponding author

В настоящее время одной из мировых проблем является рациональное использование топливно-энергетических ресурсов. Истощение традиционных видов топлива, экологические проблемы, возникающие вследствие их сжигания, повлекли за собой интерес к переходу на альтернативные виды получения энергии.

Преимущества использования технологий, основанных на альтернативных источниках тепловой энергии, заключаются не только в значительном снижении энергетических затрат, но также в их экологической устойчивости и возникновении новых возможностей для увеличения автономности систем отопления. Одним из ключевых направлений является внедрение новейших

нетрадиционных источников тепловой энергии, таких как геотермальная энергия.

Геотермальные системы в зависимости температуры извлекаемой воды можно разделить на два вида: высокопотенциальные (с температурой более 30 °С) и низкопотенциальные (с температурой менее 30 °С).

К высокопотенциальным источникам относятся петротермальные и гидротермальные ресурсы — горные породы и подземные воды, которые были нагреты до высоких температур вследствие получения большого количества тепла от земных недр, а также энергии, выделяемой вследствие протекания геологических процессов. Несмотря на высокий потенциал данного вида энергии,

он имеет ряд недостатков, главным из которых является локальное распространение на Земле, этот вид ресурсов существует при определенных геологических условиях, как правило, в зонах активного вулканизма, сейсмоактивных районах или в зонах конвективной циркуляции подземных вод в областях высоких температур. В Российской Федерации областями распространения гидротермальных ресурсов являются Курильские острова, Камчатка, Краснодарский и Ставропольский края, республики Дагестан, Ингушетия и т. д. В Европе источниками высокопотенциальной гидрогеотермальной энергии активно пользуются Исландия, Венгрия, Франция, Германия [2, 5—7, 8, 10—12].

К низкопотенциальным источникам тепловой энергии относятся источники тепловой энергии с относительно низкими температурами, порядка 7—10 °С. Такими источниками могут являться как естественные, так и искусственно созданные. К естественным относятся тепловая энергия подземных вод, грунтов, а также тепло наружного воздуха. Искусственными источниками могут являться удаляемый вентиляционный воздух, канализационные стоки, промышленные сбросы тепла, тепло, выделяемое при проведении технологических процессов [2—12].

В отличие от прямого использования высокопотенциальных источников тепловой энергии, эксплуатация низкопотенциального тепла возможна при помощи геотермальных тепловых насосов.

Геотермальные тепловые насосы широко используются в жилых домах, коммерческих зданиях и промышленных объектах. Они могут обеспечивать отопление зимой и охлаждение летом, что делает их универсальным решением для любых климатических условий. Система состоит из компрессора, испарителя, конденсатора и теплообменника. При нагнетании газообразного фреона компрессором происходит его сжатие до жидкости в конденсаторе, сопровождающееся сильным нагревом, далее при дросселировании фреон переходит из сжиженного состояния в газообразное (в испарителе) с сильным охлаждением.

Таким образом, подбирая степень сжатия фреона и его марку, электрическую мощность компрессора, площадь конденсатора и испарителя (или длину трубопровода, по которой циркулирует фреон), возможно создать установку, которая, используя подземные или поверхностные воды, воздух, влажный грунт в качестве источника тепла с температурой около 5—10 °С, позволяет получить температуру теплоносителя до 70 °С [3].

Существует множество конструктивно различающихся вариантов сбора низкопотенциального тепла недр:

1) при достаточной площади земельного участка путем закапывания в грунт замкнутой трассы из полиэтиленовой трубы (горизонтальный геотермальный контур);

2) более компактный метод устройства геотермального контура — вертикальный геотермальный контур, что позволяет разместиться на небольшой территории. Для этого производится бурение вертикальных скважин и монтаж в них геотермальных зондов. В случае наличия водоносного горизонта с высокими фильтрационными свойствами возможно создание схемы, при которой из одной скважины производится откачка воды, а в другую, после «съема» тепла в тепловом насосе, закачка обратно в водоносный горизонт;

3) наклонно-кластерный геотермальный контур. Производится проходка наклонных скважин (например, под углом 45° к горизонту). Для выполнения работ по такой технологии в грунт закапывают бетонное кольцо диаметром 1,5 м и на нем монтируют компактную буровую установку. Далее внутри бетонного кольца бурят наклонную скважину и опускают в нее геотермальный зонд. После окончания бурения первой скважины буровую установку поворачивают вокруг вертикальной оси на кольцо и бурят следующую скважину, и так далее, до достижения необходимого общего метража зондов [1—3, 12, 13].

#### Материалы и методы

Подземные воды могут быть использованы в качестве источника низкопотенциального тепла. Температура подземных вод в зоне постоянных годовых температур (глубина залегания около от 10,0 до 20,0 м в зависимости от климата, геологического строения, гидрогеологических условий) является постоянной и составляет от 7 до 10 °С. Наличие уклона потока подземных вод и, как следствие, постоянная циркуляция (по этой причине использование подземных вод в качестве теплоаккумулятора является невозможным), высокая величина теплопроводности грунта, высокая величина теплоемкости воды говорят о перспективе использования водоносных горизонтов в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии.

В ходе эксплуатации системы из водозаборных и нагнетательных скважин для отбора из них тепловой энергии изменяется структура потока подземных вод и нарушается тепловой режим грунтов. Это приводит, с одной стороны, к изменению

уровня подземных вод, с другой — к выхолаживанию массива.

#### Постановка задачи

Для расчета предполагается обеспечить тепловой энергией дом общей площадью 120 м<sup>2</sup>. Согласно СП 60.13330.2020 «Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003» для такой площади необходимо обеспечить источник тепла мощностью не менее 18,0 кВт. Основной характеристикой теплового насоса является коэффициент преобразования, или COP — от английского «Coefficient of Performance» — отношение теплопроизводительности к полезной потребляемой электрической мощности устройства при любых установленных номинальных условиях (показывает количество переданной тепловой энергии при затратах 1,0 кВт электрической). Этот коэффициент будет зависеть от нескольких параметров, но среднее его значение составляет порядка 4. Тепловой насос, работающий по схемам «вода-вода» и «рассол-вода», использующий земные воды (ground-water heat pump application), применяет воду, забираемую из скважины или водоема для эксплуатации в качестве источника тепла. При этом температура отбираемой воды изменяется, связана с климатическими условиями и может варьироваться в пределах от 5 до 25 °С для глубоких скважин [5].

В толще грунтового массива выделяются слои суточных, сезонных и годовых температур. Пояс постоянных годовых температур — глубина, на которой амплитуда годовых колебаний температуры равна 0 °С. Суточные температуры проникают на глубину не более 2,0 м. Сезонные температурные изменения связаны с сезонами года и развиты на глубину до 10,0 м, годовые — до 30,0 м. Глубина этого пояса изменяется в значительных пределах, а сама температура может колебаться от -13 до +20 °С. Обычно эта температура близка к среднегодовой температуре воздуха на поверхности земли.

Отопление и горячее водоснабжение предполагаются при помощи теплонасосной установки с коэффициентом преобразования (COP) равным 4. Исходя из этого требуется отбор 4,5 кВт тепловой энергии из низкопотенциального источника (грунтового водоносного горизонта). Эксплуатация предполагается открытым типом (посредством водозаборных и нагнетательных скважин) [4, 7, 10, 12].

Для количественной оценки возможности использования грунтового водоносного горизонта

в качестве источника низкопотенциального тепла при помощи расчетного кода GERA/E1.0 разработана численная модель области фильтрации и проведено моделирование процесса теплопереноса.

При численном моделировании решались следующие задачи:

- оценка размеров области взаимовлияния скважин (гидродинамической и тепловой) в зависимости от дебита скважин,
- оценка длительности процесса выхолаживания массива и «выход» это процесса на стационарный режим,
- подбор оптимальной схемы расположения скважин для отбора и закачки воды с целью минимизации выхолаживания массива и попадания фронта холодной воды в водозаборную скважину.

Для решения поставленных задач создана трехмерная модель размером в плане 1000×1000 м (большие размеры области моделирования взяты для минимизации влияния граничных условий). На левой и правой границах модели задавались напоры величиной 6,0 и 7,0 м (гидравлический уклон потока 0,001). Начальные уровни воды в скважинах задавались в диапазоне от 6,45 до 6,55 м. Нижняя и верхняя поверхности на модели задавались как непроницаемая граница (при решении задачи теплопереноса тепловой поток через эти поверхности задавался равным нулю).

В центральной части модели размещались водозаборные и нагнетательные скважины. Дебиты скважин изменялись от 10,3 до 46,3 м<sup>3</sup>/сут. Фильтрационные параметры среды задавались изотропными, равными 1,0 м/сут ( $K_x = K_y = K_z = 1,0$  м/сут). Активная пористость среды 0,1. Мощность водоносного горизонта на модели постоянна и составляет 10,0 м. Согласно справочнику гидрогеолога В.А. Максимова, значение коэффициента фильтрации величиной 1,0 м/сут отвечает мелко- и среднезернистым пескам. В генетическом отношении такими породами являются неглубоко залегающие аллювиальные и аллювиально-флювиогляциальные отложения, имеющие широкое распространение в Московской области.

При моделировании теплопереноса температура массива принималась равной 283 градуса Кельвина (10 °С). Плотность пород в области моделирования — 1,4 г/см<sup>3</sup>, удельная теплоемкость — 2900 Дж/(кг×К), теплопроводность — 1,91 Вт/(м×К) [1]. Отсутствие на верхней и нижней границах тепловых потоков, по нашему мнению, компенсируется наличием гидравлического уклона и, как следствием, поступлением подземных вод с постоянной температурой.

**Таблица 1.** Зависимость объемного расхода отбираемой воды теплонасосной установкой от разности температур при откачке и закачке

**Table 1.** Dependence of the volumetric flow rate of the extracted water by the heat pump installation on the temperature difference during pumping and injection

№ варианта	Расстояние между скважинами, м	Температура закачиваемой воды / разница температур при откачке и закачке, °С	Объемный расход воды, м <sup>3</sup> /сут
1	50,0	8,0/2,0	46,3
2		3,0/7,0	13,2
3		1,0/9,0	10,3

При решении гидродинамической задачи область моделирования задавалась гексаэдральной сеткой с размером на границах модели 10,0 м, в областях, примыкающих к скважинам, производилось сгущение сетки до 0,1 м (сами скважины). При решении задачи теплопереноса модельная сетка также разбивалась гексаэдральным генератором сеток с размерами 10,0 м на гранях и 1,0 м в области задания скважин.

Производительность скважин рассчитывалась исходя из необходимого перепада температур на входе и на выходе теплонасосной установки. Расчет осуществлялся по формуле:

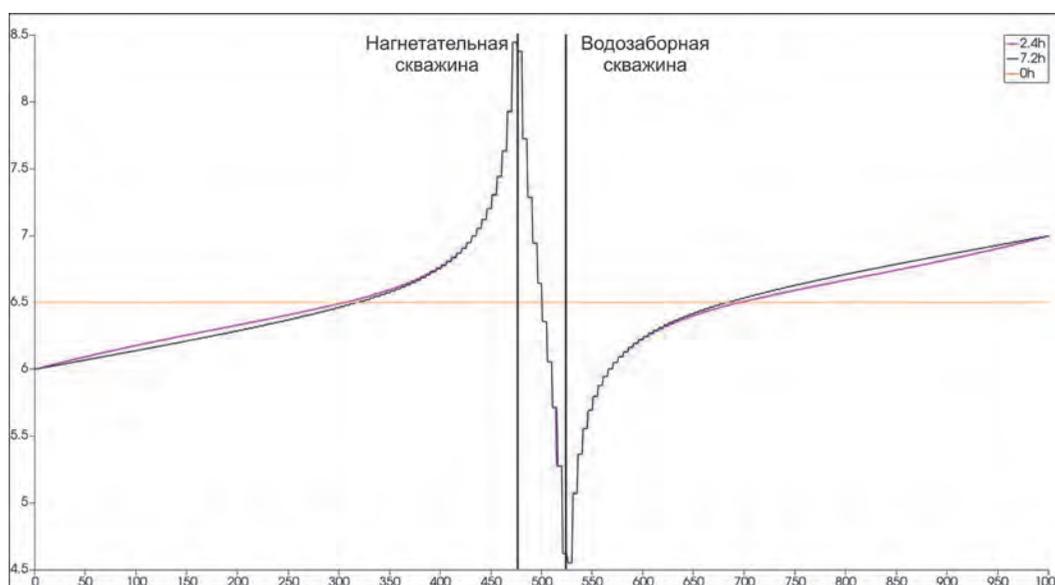
$$P = C * Q_m * \Delta T,$$

где  $P$  — тепловая мощность 4500 Вт,  
 $C$  — удельная теплоемкость воды, 4200 Дж/(кг×К),  
 $Q_m$  — массовый расход теплоносителя (воды), кг/час,  
 $\Delta T$  — разница температур, °С.

Исходя из этого для получения определенной температуры на выходе из теплового насоса рассчитаны значения расхода (табл. 1).

Анализируя данные в таблице 1, можно видеть, что расход отбираемой воды при одинаковой теплопроизводительности установки зависит от перепада температур на «входе» — водозаборной и на «выходе» — нагнетательной скважин. Чем больше перепад температур, тем ниже требуемый расход.

Для оценки размеров области взаимовлияния скважин (гидродинамической и тепловой) горные выработки задавались на расстоянии 50 м друг от друга (при дебите откачки и закачки 46,3 м<sup>3</sup>/сут). В результате решения задачи в нестационарной постановке получено распределение напоров в разрезе, показанное на рисунке 1, на различные моменты времени.



**Рис. 1.** Форма депрессионной кривой при моделировании отбора и закачки воды с расходом 46,3 м<sup>3</sup>/сут. Цветом показаны депрессионные кривые на различные моменты времени

**Fig. 1.** The shape of the depression curve in modeling the selection and injection of water with a flow rate of 46,3 m<sup>3</sup>/day. The color shows the depression curves at different points in time

Анализируя результаты гидродинамического моделирования, можно видеть, что за первые 7,2 часа происходит выход скважин на квазистационарный режим работы.

Расчет теплопереноса производился на период 5 лет при дебите скважины 46,3 м<sup>3</sup>/сут, температуры массива 10 °С и температуры закачиваемой воды 8 °С. Решение показывает, что привлечение холодной воды к водозаборной скважине произойдет на 300-й день после начала моделирования (рис. 2).

В результате решения задачи при задании расхода величиной 13,2 м<sup>3</sup>/сут наступление квазистационарного режима фильтрации происходит по истечении 14,4 часа (рис. 3).

Анализируя положение депрессионных кривых на различные моменты времени (рис. 2), можно видеть, что уровень в водозаборной скважине установился на отметке 5,95 м, осушение горизонта не произошло. При закачке воды произошел подъем уровня до отметки 7,05 м. При этом влияние скважин друг на друга сказалось практически сразу — спустя несколько часов (период моделирования составлял 10 суток).

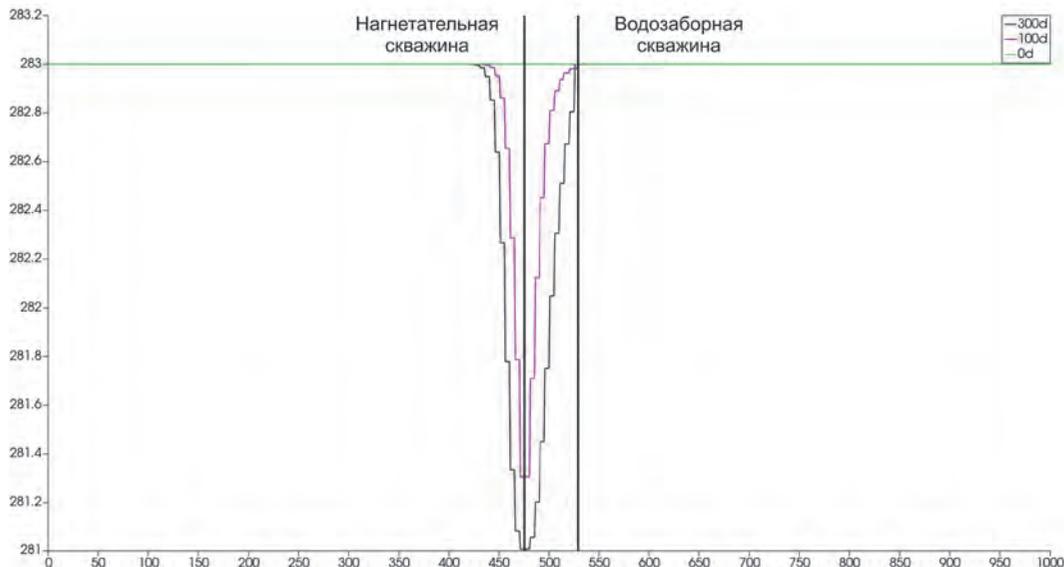
После решения гидродинамической задачи производился расчет теплопереноса (период моделирования 5 лет). Водоотбор был задан в объеме 13,2 м<sup>3</sup>/сут, температура нагнетаемой воды 3 °С, температура массива 10 °С. Результаты расчета

показаны на рисунке 4. Полученные графики распределения температур в разрезе говорят о том, что на 600-е сутки произойдет привлечение фронта охлажденной воды в водозаборную скважину, что приведет к уменьшению эффективности работы теплонасосной установки.

Результаты моделирования отбора и закачки воды при расходе величиной 10,3 м<sup>3</sup>/сут свидетельствуют о том, что наступление квазистационарного режима фильтрации наступает по истечении 12 часов после начала расчета (рис. 5). По положению депрессионной кривой можно видеть, что уровень в водозаборной скважине установился на отметке 6,08 м, положение уровня в нагнетательной скважине составило 6,98 м.

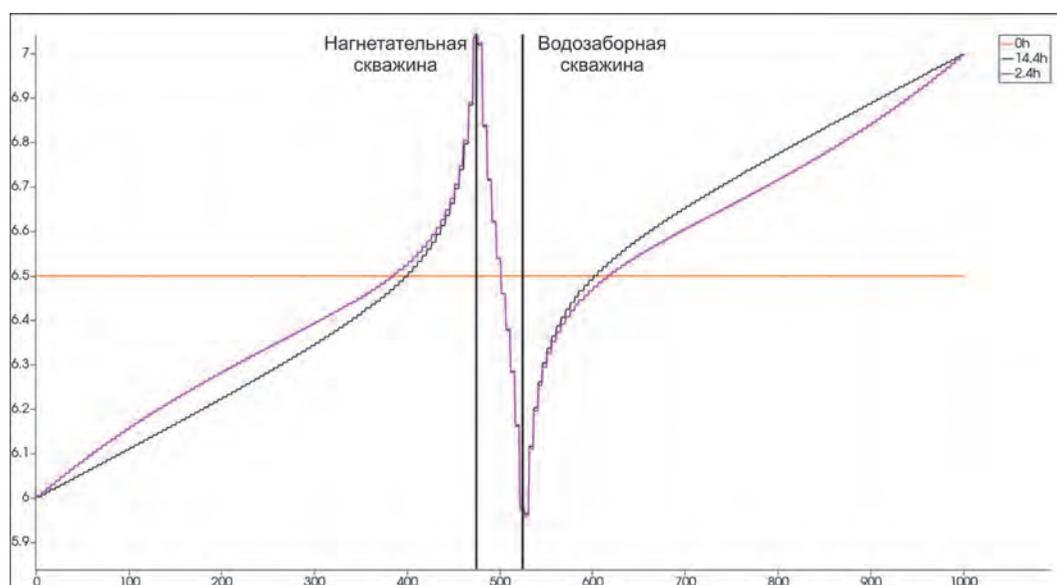
Расчет теплопереноса производился при величине расхода 10,3 м<sup>3</sup>/сут при температуре закачиваемой воды 1 °С и температуре массива 10 °С. Результаты расчета приведены на рисунке 6. Проникновение фронта охлажденной воды в сферу влияния водозаборной скважины произойдет на 500-е сутки после начала расчета.

Расчеты указывают на то, что наиболее рациональной схемой использования грунтовых вод как источника низкопотенциального тепла является схема при отборе 13,2 м<sup>3</sup>/сут и температуре закачиваемой в водоносный пласт воды 3 °С, так как при этом водоотборе наблюдается максимальное время выхолаживания массива (600 суток).



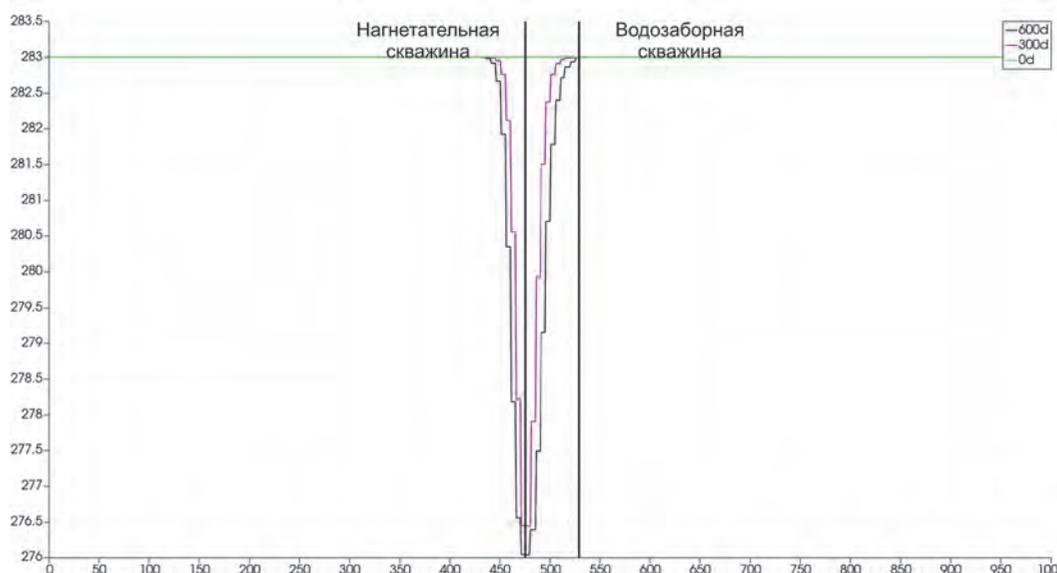
**Рис. 2.** Формы изотерм при моделировании отбора и закачки воды с расходом 46,3 м<sup>3</sup>/сут. Цветом показаны изотермы на различные моменты времени. Температура нагнетаемой воды 8 °С (281 К), температура массива 10 °С (283 К)

**Fig. 2.** Forms of isotherms in modeling the selection and injection of water with a flow rate of 46,3 m<sup>3</sup>/day. The color shows the isotherms at different points in time. The temperature of the injected water is 8 °С (276 K), the temperature of the array is 10 °С (283 K)



**Рис. 3.** Формы депрессионных кривых при моделировании отбора и закачки воды с расходом  $13,2 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Цветом показаны депрессионные кривые на различные моменты времени

**Fig. 3.** The shapes of depression curves in modeling the selection and injection of water with a flow rate of  $13,2 \text{ м}^3/\text{day}$ . The color shows the depression curves at different points in time



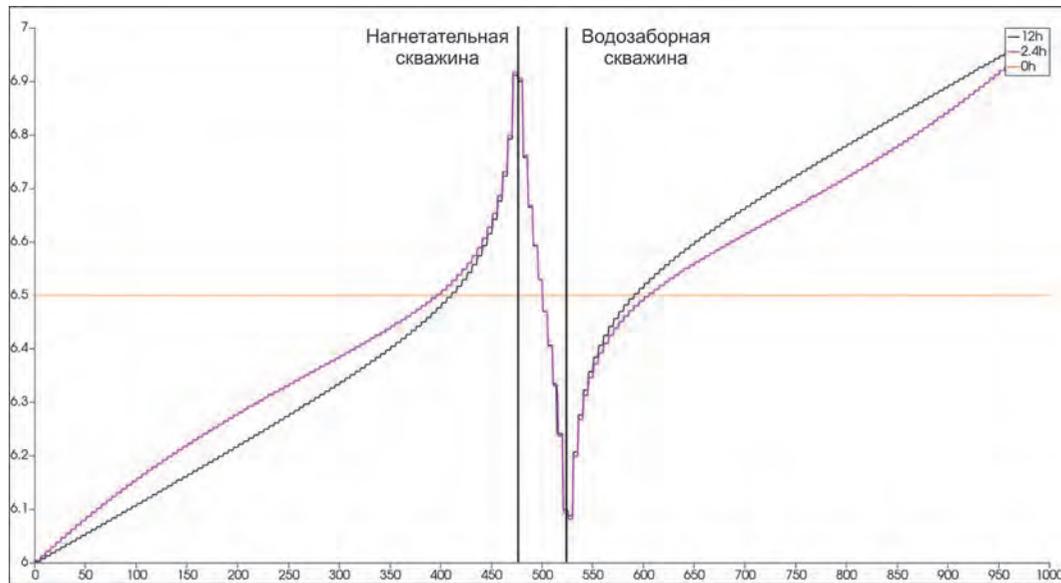
**Рис. 4.** Формы изотерм при моделировании отбора и закачки воды с расходом  $13,2 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Цветом показаны изотермы на различные моменты времени. Температура нагнетаемой воды  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $276 \text{ K}$ ), температура массива  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $283 \text{ K}$ )

**Fig. 4.** Forms of isotherms in modeling the selection and injection of water with a flow rate of  $13,2 \text{ м}^3/\text{day}$ . The color shows the isotherms at different points in time. The temperature of the injected water is  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $276 \text{ K}$ ), the temperature of the array is  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $283 \text{ K}$ )

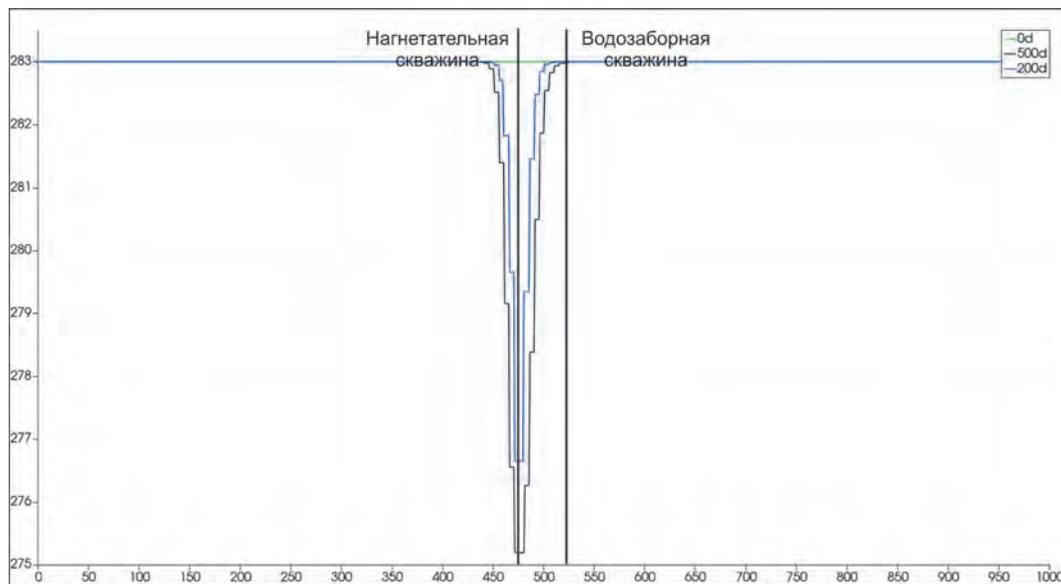
Дальнейшее исследование направлено на возможность увеличения срока эффективной службы теплонасосной установки путем изменения схемы расположения и количества водозаборных и нагнетательных скважин.

В качестве начальных условий был взят наиболее перспективный результат исследования (расход  $13,2 \text{ м}^3/\text{сут}$ ) при температуре нагнетаемой воды  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В дальнейших расчетах используются следующие варианты расположения скважин (табл. 3, рис. 7).



**Рис. 5.** Формы депрессионных кривых при моделировании отбора и закачки воды с расходом  $10,3 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Цветом показаны депрессионные кривые на различные моменты времени  
**Fig. 5.** The shapes of depression curves in modeling the selection and injection of water with a flow rate of  $10.3 \text{ m}^3/\text{day}$ . The color shows the depression curves at different points in time



**Рис. 6.** Формы изотерм при моделировании отбора и закачки воды с расходом  $10,3 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Цветом показаны изотермы на различные моменты времени. Температура нагнетаемой воды  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $274 \text{ K}$ ), температура массива  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $283 \text{ K}$ )  
**Fig. 6.** Forms of isotherms in modeling the selection and injection of water with a flow rate of  $10.3 \text{ m}^3/\text{day}$ . The color shows the isotherms at different points in time. The temperature of the injected water is  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $276 \text{ K}$ ), the temperature of the array is  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $283 \text{ K}$ )

В результате решения гидродинамической задачи и задачи теплопереноса получены следующие результаты (табл. 3).

Установление уровней при любой схеме расположения скважин происходит в течение 7,2 часа.

При решении задачи теплопереноса привлечение охлажденных вод к водозаборным скважинам произойдет значительно позже: максимальное время эксплуатации без подтягивания охлажденных вод составит 1000—1200 суток (табл. 3).

Таблица 2. Схемы расположения скважин  
Table 2. Well layout diagrams

№ варианта	Количество и назначение скважин
Вариант 2.1	2 водозаборные (6,6 м <sup>3</sup> /сут); 1 нагнетательная (13,2 м <sup>3</sup> /сут)
Вариант 2.2	1 водозаборная (13,2 м <sup>3</sup> /сут); 2 нагнетательные (6,6 м <sup>3</sup> /сут)
Вариант 2.3	2 водозаборные (6,6 м <sup>3</sup> /сут); 2 нагнетательные (6,6 м <sup>3</sup> /сут)

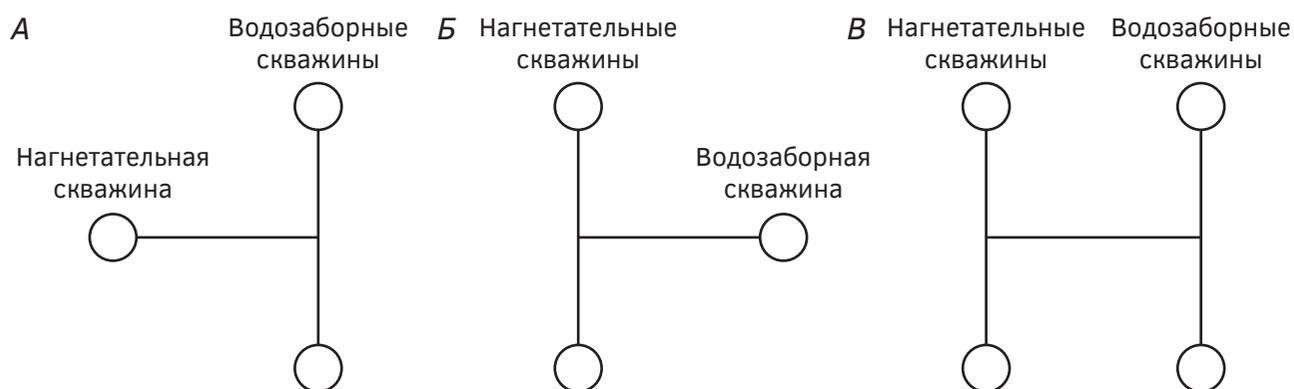


Рис. 7. Схемы расположения водозаборных и нагнетательных скважин  
Fig. 7. Diagrams of the location of intake and injection wells

Таблица 3. Результаты решения гидродинамических задач и задач теплопереноса  
Table 3. Hydrodynamic and heat transfer solutions

№ схемы	Максимальное понижение в водозаборной скважине, м	Максимальный напор в нагнетательной скважине, м	Период выхода на квазистационарный режим, ч	Продолжительность периода привлечения охлажденной воды, сут
А	6,4	7,1	7,2	1000
Б	5,69	6,38	7,2	1200
В	6,41	5,72	7,2	1000

Наиболее рациональной схемой расположения является схема Б, срок привлечения охлажденной воды к водозаборной скважине и, соответственно, максимальный срок эффективной эксплуатации теплонасосной установки составит 1200 суток (рис. 8, 9).

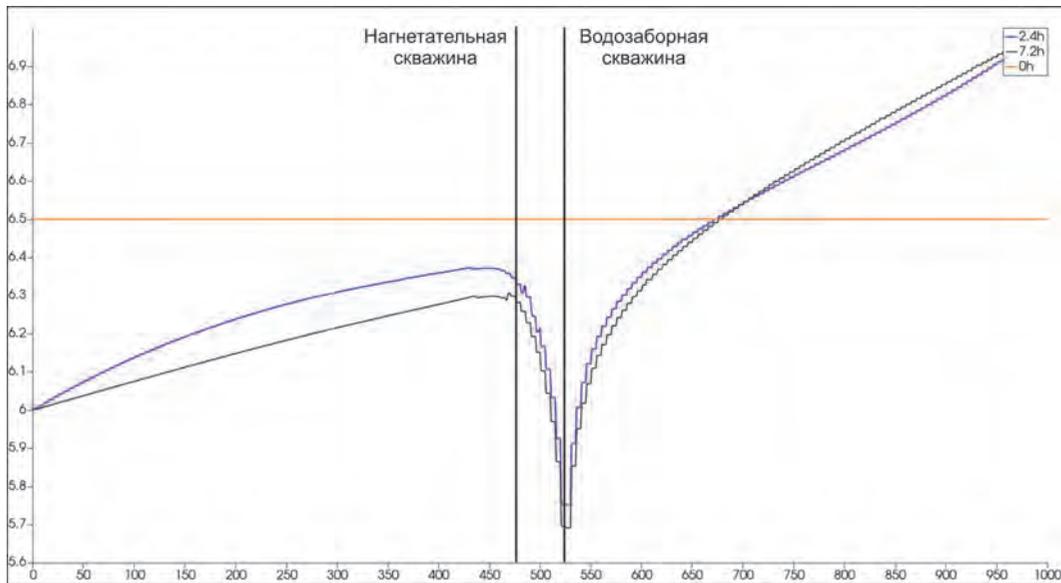
### Результаты и обсуждения

Рассмотрены основные схемы использования грунтовых вод как низкопотенциальных источников тепла для отопления и горячего водоснабжения.

Проведены модельные расчеты в программном комплексе GeRa/E1.0. В результате решения гидродинамических и задач теплопереноса

установлено, что наиболее оптимальной схемой, в которой грунтовые воды являются низкопотенциальным источником тепла, является схема с одной водозаборной и двумя нагнетательными скважинами. При других вариантах расположения подтягивание охлажденных вод происходит еще раньше. Однако стоит учесть, что влияние от работы нагнетательных скважин будет заметно уже через 3,2 года после начала эксплуатации, в дальнейшем постепенно будет происходить снижение эффективности работы теплового насоса из-за выхолаживания массива.

При моделировании не учитывалось множество факторов, которые могут существенно исказить результаты моделирования. Структура



**Рис. 8.** Формы депрессионных кривых при моделировании отбора и закачки воды по схеме Б с расходом  $13,2 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Цветом показаны депрессионные кривые на различные моменты времени  
**Fig. 8.** The shapes of depression curves in modeling the selection and injection of water with a flow rate of  $13.2 \text{ m}^3/\text{day}$ . The color shows the depression curves at different points in time



**Рис. 9.** Формы изотерм при моделировании отбора и закачки воды по схеме «Б» с расходом  $13,2 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Цветом показаны изотермы на различные моменты времени. Температура нагнетаемой воды  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $276 \text{ K}$ ), температура массива  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $283 \text{ K}$ )  
**Fig. 9.** Forms of isotherms in modeling the selection and injection of water with a flow rate of  $13.2 \text{ m}^3/\text{day}$ . The color shows the isotherms at different points in time. The temperature of the injected water is  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $276 \text{ K}$ ), the temperature of the array is  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $283 \text{ K}$ )

потока подземных вод определяется граничными условиями, которые на модели заданы достаточно упрощенными. Фильтрационные параметры, мощности водоносного горизонта в природных условиях изменчивы даже

на небольшом расстоянии, а также оказывает влияние анизотропия фильтрационных параметров. Теплофизические свойства грунтов также имеют различия (пески разного минерального состава, глинистости).

### Заключение

Дальнейшие исследования планируется развивать в двух направлениях: натурные полевые исследования на территории Учебно-научно-производственного полигона МГРИ для обеспечения теп-

ловой энергией лаборатории кафедры гидрогеологии им. В.М. Швеца и лабораторные исследования изменения величины теплопроводности грунтов в зависимости от их гранулометрического и минерального состава, степени водонасыщения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бутузов В.А.* Обзор российских геотермальных теплонасосных технологий. *Энергетик*. 2022. № 2. С. 40—44. EDN: TPRCLL
2. *Васильев Г.П.* Применение ГТСТ в России. *Энергия: экономика, техника, экология*. 2009. № 7. С. 22—29. EDN: KUSHGD
3. *Васильев Г.П.* Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли. М.: Граница, 2006. 173 с. ISBN 5-94691-202-X. EDN: QNMCSN
4. *Васильев Г.П.* Использование низкопотенциальной тепловой энергии грунта поверхностных слоев Земли для теплохладоснабжения здания. *Теплоэнергетика*. 1994. № 2. С. 31—35. EDN: ZYZXTF
5. ГОСТ 34346.2-2017. Тепловые насосы с водой в качестве источника тепла. Испытания и оценка рабочих характеристик. Часть 2. ISO 13256-2:1998
6. *Дадацкий А.В., Космовский П.Ю.* Тепловой насос. Принцип работы теплового насоса. Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства: сб. науч. ст., Гродно, 23—24 мая 2019 года Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2019. С. 172—174. EDN: BJJVFS
7. *Ильина Т.Н., Саввин Н.Ю., Аверкова О.А., Логачев К.И.* Возобновляемые и вторичные источники энергии инженерных систем при эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений. *Вестник евразийской науки*. 2023. 12 с. Т. 15(2). № 4. EDN: ENJZMH
8. Свод правил СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854682.htm>
19. *Хладотеплотехника: инновации и достижения: монография, посв. 55-летию со дня основания кафедры холодильной и торговой техники имени В.В. Осокина.* Донецк: Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, 2024. 536 с. ISBN 978-5-00202-518-3. EDN: BTQVZG
10. *Шулюпин А.Н., Варламова Н.Н.* Современные тенденции в освоении геотермальных ресурсов. *Георесурсы*. 2020. Т. 22, № 4. С. 113—122. <https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.113-122>. EDN: LBRNG
11. *Cantor A., Owen D., Harter D., Nylén G., Kiparsky M.* Navigating groundwater-surface water interactions under the Sustainable Groundwater Management Act, Center for Law, Energy & the Environment, UC Berkeley School of Law, Berkeley, C, 2018.
12. *Psomas A., Bariamis G., Rouillard J., Stein U., Roy S.* Study of the impacts of pressures on groundwater in Europe: Analysis of groundwater associated aquatic ecosystems (GWAAEs) and groundwater dependent terrestrial ecosystems (GWDTEs), 2021.
13. *Lund J.W., Toth A.N.* Direct Utilization of Geothermal Energy: 2020 Worldwide Review. Proc. of the 2020 World Geothermal Congress. Reykjavik, Iceland. 2020. 39 p.

### REFERENCES

1. Butuzov V.A. Review of Russian geothermal heat pump technologies. *Energetik*. 2022. No. 2. P. 40—44 (In Russ.). EDN: TPRCLL
2. Vasiliev G.P. Application of GTSP in Russia. *Energy: economics, technology, ecology*. 2009. No. 7. P. 22—29 (In Russ.). EDN: KUSHGD
3. Vasiliev G.P. Heat and cooling supply of buildings and structures using low-potential thermal energy of the Earth's surface layers. Moscow: Granitsa, 2006. 173 p. (In Russ.). ISBN 5-94691-202-X. EDN: QNMCSN
4. Vasiliev G.P. Use of low-potential thermal energy of the soil of the Earth's surface layers for heat and cooling supply of a building. *Thermal Power Engineering*. 1994. No. 2. P. 31—35 (In Russ.). EDN: ZYZXTF
5. GOST 34346.2-2017 HEAT PUMPS WITH WATER AS A HEAT SOURCE. Testing and evaluation of performance. Part 2. (In Russ.).
6. *Dadatsky A.V., Kosmovsky P.Yu.* Heat pump. Operating principle of a heat pump. Traditions, modern problems and prospects for the development of construction: Collection of scientific articles, Grodno, May 23—24, 2019. Grodno: Yanka Kupala State University of Grodno, 2019. P. 172—174 (In Russ.). EDN: BJJVFS
7. *Ilyina T.N., Savvin N.Yu., Averkova O.A., Logachev K.I.* Renewable and secondary energy sources of engineering systems in the operation and reconstruction of buildings and structures. *Bulletin of Eurasian Science*. 2023. 12 p. Vol. 13.2. No. 4 (In Russ.). EDN: ENJZMH
8. Code of rules SP 25.13330.2012 Foundations and foundations on permafrost soils Updated version of SNiP 2.02.04-88. (In Russ.).
9. *Cooling and heat engineering: innovations and achievements: monograph dedicated to the 55th*

- anniversary of the founding of the Department of Refrigeration and Commercial Equipment named after V.V. Osokina. Donetsk: Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, 2024. 536 p. (In Russ.). ISBN 978-5-00202-518-3. EDN: BTQVZG
10. Shulyupin A.N., Varlamova N.N. Modern trends in the development of geothermal resources. *Georesources*. 2020. Vol. 22. No. 4. P. 113—122 (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.113-122>. EDN: LBRRNG
  11. Cantor A., Owen D., Harter D., Nysten G., Kiparsky M. Navigating groundwater-surface water interactions under the Sustainable Groundwater Management Act, Center for Law, Energy & the Environment, UC Berkeley School of Law, Berkeley, CA, 2018.
  12. Psomas A., Bariamis G., Rouillard J., Stein U., Roy S. Study of the impacts of pressures on groundwater in Europe: Analysis of groundwater associated aquatic ecosystems (GWAAEs) and groundwater dependent terrestrial ecosystems (GWDTes), 2021.
  13. Lund J.W., Toth A.N. Direct Utilization of Geothermal Energy: 2020 Worldwide Review. Proc. of the 2020 World Geothermal Congress. Reykjavik, Iceland. 2020. 39 p.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Волошин В.Р. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, внес вклад в разработку методики статьи и результатов исследования, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Белов К.В. — участвовал в разработке концепции статьи, внес вклад в разработку методики статьи и результатов исследования, участвовал в подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Valery R. Voloshin — made the main contribution to the development of the article concept, contributed to the development of the article methodology and research results, prepared the article text, gave final approval to the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Konstantin V. Belov — participated in the development of the article concept, contributed to the development of the article methodology and research results, participated in the preparation of the article text, gave final approval to the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Волошин Валерий Романович\*** — аспирант, преподаватель кафедры гидрогеологии им. В.М. Швеца ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [voloshinvr@gmail.com](mailto:voloshinvr@gmail.com)  
тел.: +7 (925) 414-44-41  
ORCID: <https://doi.org/0009-0003-1971-3852>

**Белов Константин Владимирович** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой гидрогеологии им. В.М. Швеца ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [belovkv@gmail.com](mailto:belovkv@gmail.com)  
тел.: +7 (925) 314-09-39  
SPIN-код: 2980-3434  
ORCID: <https://doi.org/0009-0009-5105-4627>

**Valery R. Voloshin\*** — postgraduate student, lecturer of the V.M. Shvets Hydrogeology Department of the Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University.

23, Miklukho-Maklaya St., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [voloshinvr@mgi.ru](mailto:voloshinvr@mgi.ru)  
tel.: +7 (925) 414-44-41  
ORCID: <https://doi.org/0009-0003-1971-3852>

**Konstantin V. Belov** — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor, Head of the V.M. Shvets Hydrogeology Department of the Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University.

23, Miklukho-Maklaya st., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [belovkv@mgi.ru](mailto:belovkv@mgi.ru)  
tel.: +7 (925) 314-09-39  
SPIN-code: 2980-3434  
ORCID: <https://doi.org/0009-0009-5105-4627>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## НОРМАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЛИНИИ АВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА; К ПРИМЕНЕНИЮ БПЛА В ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ

А.Д. КАРИНСКИЙ, А.А. ИВАНОВ\*, И.А. ЗУДЕНКОВ, Е.Д. ЕФИМОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго-Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Приведены результаты математического моделирования для случая, когда заданным возбудителем поля служит лежащая на горизонтальной границе проводящего полупространства линия гармонически меняющегося с частотой  $f$  электрического тока. Вычисляемыми величинами являются характеристики вертикальной компоненты  $H_z$  переменного магнитного поля в воздухе. Основой для моделирования послужило решение соответствующей прямой задачи электродинамики.

**Цель.** Обоснование возможной методики измерений в электроразведке при применении беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

**Материалы и методы.** Метод исследования — математическое моделирование и анализ полученных результатов.

**Результаты.** Получены результаты расчетов для модели, соответствующей случаю, когда заземленная генераторная линия АВ гармонически меняющегося тока  $I$  лежит на горизонтальной границе проводящего полупространства с удельным электрическим сопротивлением  $\rho_2$ , а расположенный в воздухе магнитно-индукционный датчик перемещается на значительной высоте  $h$  над этой границей.

**Заключение.** Результаты моделирования показали, какие характеристики магнитного поля наиболее «чувствительны» к значениям  $\rho_2$ . Таковыми являются активная составляющая компоненты  $H_z$ , отличающаяся по фазе от тока  $I$  на  $\pm\pi/2$ , и начальная фаза этой компоненты.

**Ключевые слова:** электроразведка, беспилотные летательные аппараты, решение прямой задачи, математическое моделирование

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Каринский А.Д., Иванов А.А., Зуденков И.А., Ефимов Е.Д. Нормальное магнитное поле линии АВ переменного тока; к применению БПЛА в электроразведке. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(3):100—106. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-100-106>

Статья поступила в редакцию 03.06.2024

Принята к публикации 12.09.2024

Опубликована 30.09.2024

\* Автор, ответственный за переписку

# APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN ELECTROMAGNETIC SURVEY: NORMAL MAGNETIC FIELD ALONG AB LINE OF ALTERNATING CURRENT

ALEXANDR D. KARINSKIY, ANDREY A. IVANOV\*, IVAN A. ZUDENKOV, EVGENIY D. EFIMOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** The present study introduces the results of mathematical modeling for the scenario when a line of harmonically varying current at frequency  $f$  serves as a specified field source, positioned along a horizontal boundary of a conductive half-space. The computed parameters pertain to the characteristics of the vertical component  $H_z$  of the alternating magnetic field in the air. The modeling is based on the solution of the corresponding direct problem in electrodynamics.

**Aim.** To justify a potential methodology for measurements in electromagnetic survey utilizing unmanned aerial vehicles (UAVs).

**Materials and methods.** The study involves mathematical modeling and analysis of the obtained results.

**Results.** The calculation results were obtained for a model corresponding to the scenario when a grounded generator line  $AB$  carrying a harmonically varying current  $I$  is positioned along a horizontal boundary of a conductive half-space with specific electrical resistance  $\rho_2$ , and a magnetic induction sensor located in the air is moving at a considerable height  $h$  above this boundary.

**Conclusion.** The results of the modeling indicate the most “sensitive” characteristics of the magnetic field to the values of  $\rho_2$ , namely, the active component of  $H_z$ , which differs in phase from the current  $I$  by  $\pm\pi/2$ , and the initial phase of this component.

**Keywords:** electromagnetic survey, unmanned aerial vehicles, direct problem solution, mathematical modeling

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Karinskiy A.D., Ivanov A.A., Zudenkov I.A., Efimov E.D. Application of unmanned aerial vehicles in electromagnetic survey: Normal magnetic field along AB line of alternating current. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):100—106. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-100-106>

*Manuscript received 03 June 2024*

*Accepted 12 September 2024*

*Published 30 September 2024*

\* Corresponding author

В последнее время было опубликовано много работ, связанных с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в электроразведке. Некоторые результаты исследований по этой тематике приведены, например, в работах [2, 3, 7]. Значительная часть этих работ посвящена применению БПЛА в методе переходных процессов (МПП). Но, как видно из результатов измерений, приведенных, например, в работе [3], при «открытом измерительном канале» в методе МПП весьма значительное влияние

на результаты таких измерений оказывают помехи. Вместе с тем при проведении измерений на фиксированных частотах для увеличения соотношения «полезный сигнал — помеха» несложно применить фильтрацию.

## Модель и алгоритм

Ниже приведены результаты математического моделирования для следующих условий. На рисунке 1 показана линия  $AB$  гармонически меняющегося со временем электрического тока

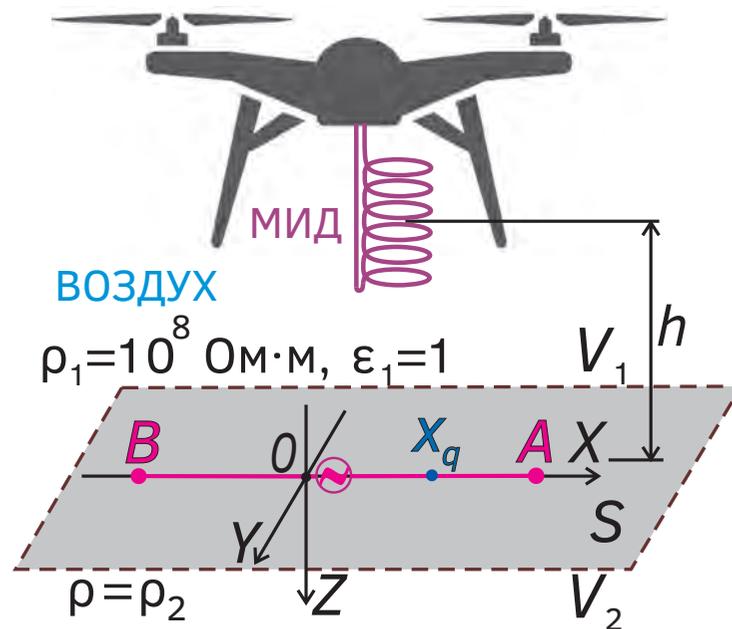


Рис. 1. Модель среды и электроразведочной установки  
 Fig. 1. Geoelectrical model and electrical array

$I = I_0 \times \cos(2\pi ft) = I_0 \times \cos(\omega t)$  с заземленными токовыми электродами  $A, B$ . Здесь  $I_0$  — амплитуда тока,  $f$  — частота,  $t$  — время,  $\omega$  — круговая частота. Линия  $AB$  лежит на границе  $S$  однородного нижнего проводящего полупространства  $V_2$  с удельным электрическим сопротивлением  $\rho_2$  и верхнего полупространства  $V_1$  (воздух). Электроды  $A, B$  лежат на оси  $X$  декартовых координат, их координаты:  $x_A = AB/2$  и  $x_B = -AB/2$ . Ось  $Z$  ортогональна плоскости  $S$  и направлена в полупространство  $V_2$ .

В электроразведке для определения компонент переменного магнитного поля служат определенным образом ориентированные магнитноиндуктивные датчики (МИД) (см. рис. 1). Вычисляемыми при моделировании величинами были характеристики вертикальной компоненты  $H_z$  магнитного поля  $H$  на высоте  $h$  над границей  $S$ . Это — амплитуда меняющейся синфазно либо в противофазе с током  $I$  реактивной составляющей  $\text{Re } Hz$ , амплитуда отличающейся по фазе на  $\pm\pi/2$  от тока  $I$  активной составляющей  $\text{Im } Hz$ , амплитуда  $|Hz| = [(\text{Re } Hz)^2 + (\text{Im } Hz)^2]^{1/2}$  компоненты  $H_z$  и начальная фаза  $\phi_{Hz}$  этой компоненты.

Основной целью моделирования было выяснить, какие из этих характеристик наиболее «чувствительны» к удельному электрическому сопротивлению  $\rho_2$  проводящего полупространства.

Основой при математическом моделировании послужило решение прямой задачи о поле горизонтального элементарного отрезка  $dl$  гармонически меняющегося тока  $I$  (переменного горизонтального электрического диполя) в присутствии горизонтальной границы  $S$ . Возможный подход к решению такой задачи был описан в [5], а ее решение есть в [1]. Впервые полученные на основе этого решения прямой задачи результаты математического моделирования для электрической составляющей электромагнитного поля и кажущегося удельного сопротивления приведены в [6].

Для описанной выше модели в верхнем полупространстве  $V_1$  вертикальную компоненту  $H_z^{(1)}$  магнитного поля заземленной линии  $AB$  гармонически меняющегося тока  $I$  по отрезку  $(x_B, x_A)$  оси  $X$  определяет двойной интеграл, причем интеграл по  $\Lambda$  — несобственный интеграл в смысле главного значения:

$$H_z^{(1)} = \frac{I \cdot y}{4\pi} \int_{x_B}^{x_A} \left\{ \frac{1}{r} \int_0^\infty \frac{\Lambda^2}{\Lambda_1} [\exp(-\Lambda_1 \times |z|) + B_1 \exp(-\Lambda_1 \times z)] J_1(\Lambda \times r) d\Lambda \right\} dx_q,$$

где  $r = \sqrt{(x - x_q)^2 + y^2}$ ,  $B_1 = \frac{\Lambda_1 - \Lambda_2}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \cdot \exp(-2\Lambda_1 \times h)$ ,  $\Lambda_{1,2} = \sqrt{\Lambda^2 - k_{1,2}^2}$ ,  $k_1$  и  $k_2$  — волновые

числа в верхнем и нижнем полупространствах,  $x, y, z = -h$  — координаты точки наблюдения (центра МИД), а  $J_1(\lambda \times r)$  — функция Бесселя первого рода первого порядка аргумента  $\lambda \times r$ . При вычислении несобственного интеграла в смысле главного значения было применено преобразование Эйлера.

На рисунке 2а показана карта реактивной составляющей  $Re Hz$  (при высоте  $h = 10$  м и частоте  $f = 10$  кГц). Как было бы и в случае постоянного тока  $I$  в линии АВ, над осью  $X$ , на которой лежит линия АВ, компонента  $Re Hz$  меняет знак, а абсолютная величина  $|Re Hz|$  убывает с удалением от линии АВ. Карта активной составляющей  $Im Hz$  компоненты  $H_z$  приведена на рисунке 2б. При сравнении этих карт видим, что при заданной

при расчетах частоте при небольших величинах  $|y|$  значения  $|Re Hz|$  примерно на порядок выше величин  $|Im Hz|$ . Но при больших расстояниях  $|y|$ , наоборот,  $|Im Hz| \gg |Re Hz|$ .

Но в какой степени величины  $|Re Hz|$  и  $|Im Hz|$  зависят от значений удельного электрического сопротивления  $\rho_2$ , которые в первую очередь в рамках показанной на рисунке 1 модели могут быть искомыми при интерпретации результатов измерений?

На рисунках 3а, б приведены зависимости от координаты  $y$  амплитуд составляющих  $Re Hz$  и  $Im Hz$  при  $x = 0$  и  $z = -h$ . То есть это графики по «профилю», ортогональному токовой линии АВ и «проходящему» на высоте  $h$  над центром этой линии при нескольких значениях удельного электрического сопротивления  $\rho_2$ .

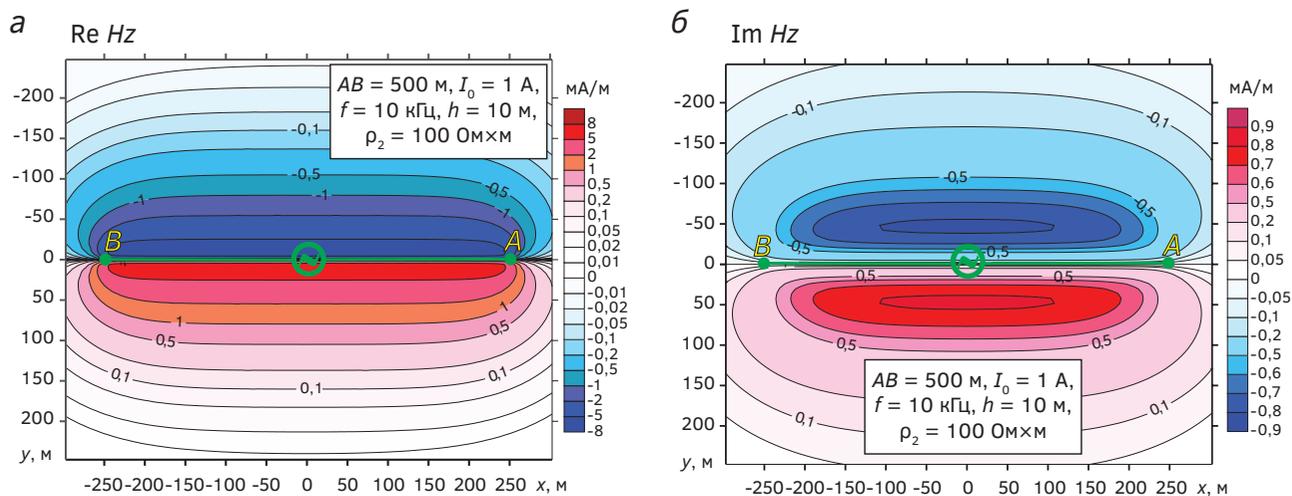


Рис. 2. Карты составляющих  $Re Hz$  и  $Im Hz$  в плоскости  $z = -h$   
 Fig. 2. Maps of components  $Re Hz$  and  $Im Hz$  in the  $z = -h$  plane

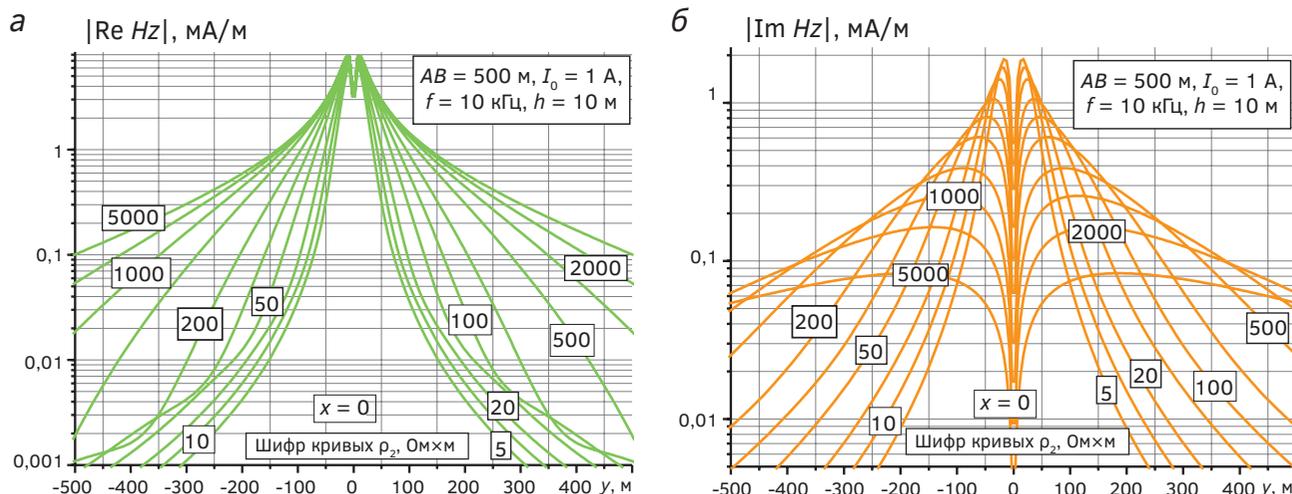


Рис. 3. Зависимости  $|Re Hz|$  и  $|Im Hz|$  от  $y$  при  $x = 0, z = -h$   
 Fig. 3. Dependencies  $|Re Hz|$  and  $|Im Hz|$  from  $y$  at  $x = 0, z = -h$

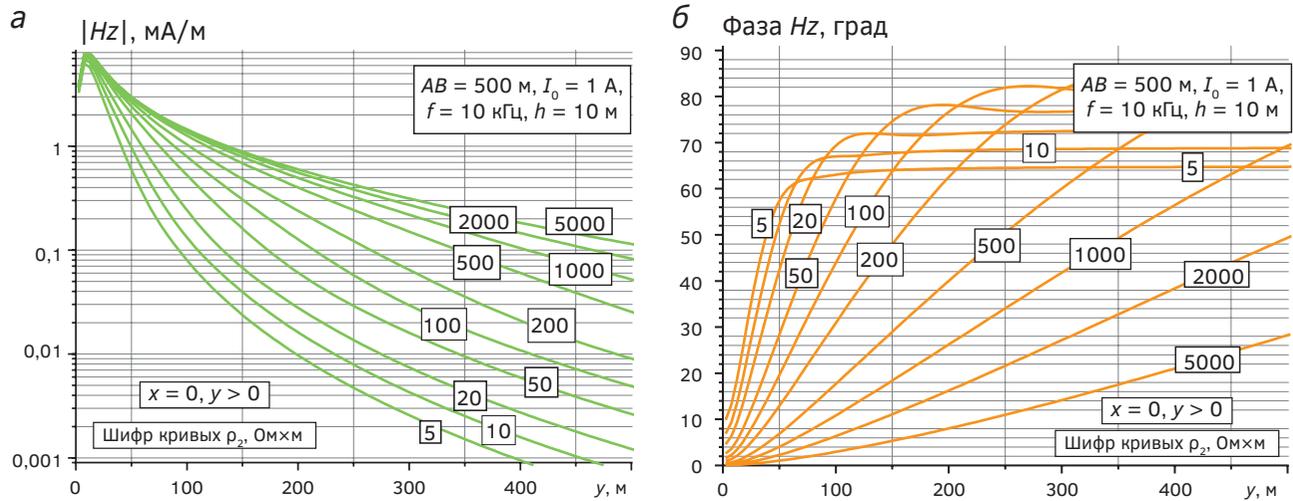


Рис. 4. Зависимости  $|Hz|$  и  $\phi_{Hz}$  от  $y$  при  $x = 0, z = -h$   
 Fig. 4. Dependencies  $|Hz|$  and  $\phi_{Hz}$  from  $y$  at  $x=0, z=-h$

На рисунке 3а видим, что при заданных частоте  $f$  и параметрах модели значения  $\rho_2$  оказывают значительное влияние на величину  $|Re Hz|$  при  $|y| \gg h$  и в пределах изменения значений  $\rho_2$  от 100 до 1000 Ом·м. Из приведенных на рисунке 3б результатов моделирования следует, что при широких пределах изменения  $\rho_2$  (от 5 до 5000 Ом·м) значения  $|Im Hz|$ , а также особенности конфигурации графиков  $|Im Hz|(y)$  существенно зависят от удельного электрического сопротивления  $\rho_2$ .

На рисунках 4а, б приведены зависимости от  $y$  амплитуды  $|Hz| = [(Re Hz)^2 + (Im Hz)^2]^{1/2}$  и начальной фазы  $\phi_{Hz}$  компоненты  $Hz$  при  $y > 0$ . Видим, что при высоких удельных электрических сопротивлениях  $\rho_2$  значения  $\phi_{Hz}$  в большей степени, чем  $|Hz|$ , зависят от величины  $\rho_2$ . Например, при  $y = 300$  м и увеличении значения  $\rho_2$  с 1000 до 5000 Ом·м величина  $|Hz|$  меняется в узких пределах — от 0,22 до 0,31 мА/м. При этих же условиях начальная фаза  $\phi_{Hz}$  уменьшается с  $42^\circ$  до  $14^\circ$ .

### Заключение

Очевидно, что определение  $\rho_k$  по реактивной составляющей  $Re E_{MN}$  напряжения  $E_{MN}$  может позволить значительно расширить область

применения бесконтактной модификации электроразведки методом сопротивлений. Из полученных результатов моделирования следует, что при возбуждении гармонически меняющегося электромагнитного поля заземленной линией  $AB$  электрического тока  $I$  наиболее «чувствительными» к удельному электрическому сопротивлению  $\rho_2$  проводящего полупространства в условиях применения БПЛА являются активная составляющая  $Im Hz$  и начальная фаза  $\phi_{Hz}$  вертикальной компоненты магнитного поля в воздухе. Хотя, по-видимому, проще проводить измерения величины  $|Hz|$ .

По рассмотренной в этой работе проблематике дальнейшие исследования, по нашему мнению, следует провести по следующим направлениям:

- 1) разработка алгоритмов и проведение численных расчетов для 3D-моделей среды при условиях, когда на характеристики переменного магнитного поля в воздухе оказывают влияние приповерхностные локальные объекты, отличающиеся от вмещающей эти объекты среды по удельному электрическому сопротивлению;
- 2) проведение физического моделирования с измерением различных составляющих переменного магнитного поля в воздухе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Альпин Л. М., Даев Д. С., Каринский А. Д. Теория полей, применяемых в разведочной геофизике. Учебник для ВУЗов. Часть IV. М.: МГРИ, 2020. 104 с.
2. Давыденко С.Ю., Терёшкин С.А., Давыденко А.Ю., Снопков С.В., Паршин А.В., Давыденко Ю.А. Применение БПЛА и наземных геофизических методов при изучении древнего металлургического комплекса на участке Барун-Хал II (Западное Прибайкалье). Геоархеология и археологическая минералогия. Т. 8. Миасс: ИМин УрО РАН, 2021. С. 35—40.
3. Давыденко Ю.А., Башкеев А.С., Яковлев С.В., Шкиря М.С., Бухалов С.В., Крайнова Е.А., Шарлов М.В.,

- Паршин А.В., Персова М.Г. Первые результаты тестирования технологии БПЛА-МПП на Байкале. *Материалы VIII Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна, Москва, 04—07 октября 2021 года.* — Москва: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2021. — С. 52—58.
4. Дашевский Ю.А. Применение преобразования Эйлера для расчета стационарных и гармонических электромагнитных полей в горизонтально-слоистых средах. Электромагнитные методы геофизических исследований. Под ред. Ю.Н. Антонова. Новосибирск, 1982. С. 78—88.
  5. Заборовский А.И. Переменные электромагнитные поля в электроразведке. М.: Изд-во МГУ, 1960. 186 с.
  6. Каринский А.Д., Шевнин В.А. Влияние индукции на результаты ВЭЗ на переменном токе. *Геофизика.* 2001. № 5. С. 50—56.
  7. Паршин А.В. Способ аэроэлектроразведки с применением легкого беспилотного летательного аппарата. Патент RU 2736956 C1, 2020 г.
1. Alpin L.M., Daev D.S., Karinskiy A.D. Theory of fields used in exploration geophysics. Textbook for universities. Vol. IV. Moscow: MGRI, 2020. 104 p. (In Russ.).
2. Davydenko S.Yu., Tereshkin S.A., Davydenko A. Yu., Snopkov S.V., Parshin A.V., Davydenko Yu.A. Application of UAVs and ground-based geophysical methods in the study of the ancient metallurgical complex at the Barun-Khal II site (Western Baikal region). *Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy.* T. 8. Miass: Institute of Mining Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2021. P. 35—40 (In Russ.).
3. Davydenko Yu.A., Bashkeev A.S., Yakovlev S.V., Shkirya M.S., Bukhalov S.V., Krainova E.A., Sharlov M.V., Parshin A.V., Persova M. G. First results of UAV-MPP technology testing at Baikal. *Materials of the VIII All-Russian School-seminar on electromagnetic sounding of the Earth named after M.N. Berdichevsky and L.L. Vanian, Moscow, October 04—07, 2021.* — Moscow: O.Y. Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 2021. — pp. 52—58. (In Russ.).
4. Dashevskiy Yu.A. Application of the Euler transform to calculate stationary and harmonic electromagnetic fields in horizontally layered media. *Electromagnetic methods of geophysical research.* Ed. Yu.N. Antonov. Novosibirsk, 1982. P. 78—88.
5. Zaborovskiy A.I. Variable electromagnetic fields in electrical exploration. Moscow: Moscow State University Publ., 1960. 186 p. (In Russ.).
6. Karinskiy A.D., Shevnin V.A. Influence of induction on the results of VES on alternating current. *Geophysics.* 2001. V. 9. No. 5. P. 50—56 (In Russ.).
7. RU patent No. 2736956, 11/23/2020 Parshin A.V. Method of airborne electrical prospecting using a light unmanned aerial vehicle. Patent of Russia No. 2736956. 12/16/2022. Bull. No. 33.

## REFERENCES

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Каринский А.Д. — разработал концепцию статьи, решил прямую задачу электродинамики, провел математическое моделирование, подготовил текст статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Иванов А.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, проводил анализ результатов, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работ.

Зуденков И.А. — провел анализ литературных источников, оформил статью, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ефимов Е.Д. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexandr D. Karinskiy — developed the article concept, solving a direct problem of electrodynamics, mathematical modeling, preparation of the text of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Andrey A. Ivanov — contributed to the development of the article concept, prepared the text, analyzed the results, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Ivan A. Zudenkov — analysis of literary sources, design of the article, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Evgeniy D. Efimov — contributed to the development of the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Каринский Александр Дмитриевич** — доктор физико-математических наук, профессор кафедры геофизики Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [karinskyad@mgri.ru](mailto:karinskyad@mgri.ru)  
SPIN-код: 1068-6325  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5155-6349>

**Alexandr D. Karinskiy** — Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Prof., Department of Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [karinskyad@mgri.ru](mailto:karinskyad@mgri.ru)  
SPIN-code: 1068-6325  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5155-6349>

**Иванов Андрей Александрович\*** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [biwolf@mail.ru](mailto:biwolf@mail.ru)  
SPIN-код: 9977-2363  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5294-8878>

**Andrey A. Ivanov\*** — Cand. of Sci. (Geol.-Mineral.), Assoc. Prof., Department of Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [biwolf@mail.ru](mailto:biwolf@mail.ru)  
SPIN-code: 9977-2363  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5294-8878>

**Зуденков Иван Андреевич** — аспирант кафедры геофизики Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [ivan.zoudenkov@gmail.com](mailto:ivan.zoudenkov@gmail.com)  
SPIN-код: 9738-5580  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9261-3981>

**Ivan A. Zudenkov** — post-graduate researcher of the Department of Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [ivan.zoudenkov@gmail.com](mailto:ivan.zoudenkov@gmail.com)  
SPIN-code: 9738-5580  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9261-3981>

**Ефимов Евгений Дмитриевич** — студент геофизического факультета Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [evgentheterrible@inbox.ru](mailto:evgentheterrible@inbox.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3583-0890>

**Evgeniy D. Efimov** — student of the Faculty of Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [evgentheterrible@inbox.ru](mailto:evgentheterrible@inbox.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3583-0890>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-107-126>  
УДК 550.8.05, 550.849, 553.98(574.4)



## СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА

Э.М. АЛИЕВ<sup>1</sup>, С.А. ГУРЯНОВ<sup>2,\*</sup>, А.С. БЕЛЯЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики  
9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджан

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Наряду с антропогенной деятельностью, влияющей на окружающую среду, большое значение имеют геологические опасности, влияющие на природную среду, а также на людей, строения и сооружения. В Каспийском регионе одной из причин возникновения геологических опасностей является геодинамическая активность и разрядка флюидодинамической напряженности в системе гидро- и литодинамических потоков в недрах. Она проявляется в форме интенсивных восходящих потоков подвижных флюидов, влияющих на окружающую среду.

**Цель исследования.** Изучение и оценка современных геологических процессов, влияющих на окружающую среду Каспийского региона.

**Материалы и методы.** Компьютерная обработка и визуальное дешифрирование радиолокационной информации в сочетании с данными морских геолого-геофизических и сейсмических исследований выявили связь нефтяных пятен и выбросов газа с очагами генерации и разгрузки флюидов в осадочном покрове Каспийского региона. Связь появления пятен нефти с сейсмичностью региона оценивалась на основании данных USGS National Earthquake Information Center о землетрясениях, произошедших в Южно-Каспийском регионе.

**Результаты.** Проведенные исследования позволили определить масштабы современных геологических процессов, оказывающих влияние на окружающую среду Каспийского региона. Было выявлено, что в Каспийском регионе наряду с антропогенной дегазацией активная роль принадлежит глубинной и коровой дегазации Земли. Естественные нефте- и газопроявления пространственно и генетически связаны главным образом с геологическими процессами — вертикальными и горизонтальными движениями, сейсмичностью, в том числе осадочной — мелкофокусной, с грязевым вулканизмом, миграцией и эмиграцией углеводородов, а также со скоплениями свободного газа в верхней части осадочного разреза.

**Заключение.** Коровая дегазация связана с состоянием и функционированием геофлюидодинамических систем, формирование и эволюция которых происходят под влиянием геодинамических процессов при активном влиянии генерации и миграции метана, водорода и других газов, которые протекают во всем объеме осадочного выполнения и на всех этапах эволюции бассейна. Выходы нефти и газа на поверхность воды отличаются многовариантностью, среди вариантов выделяются локальные (сосредоточенные) выходы (грязевые вулканы, грифоны, сальзы, слики, сипы и др.), площадное поступление углеводородов и их фракций из нефтегазоносных структур через сеть разломов.

Нефтяное загрязнение Бакинской бухты явилось следствием естественных флюидодинамических процессов, происходящих в его недрах. Источником пятен нефти служат очаги разгрузки пластовых флюидов в структурах осадочного чехла. Режим этой разгрузки регулируется сейсмичностью земной коры Южно-Каспийской тектонической впадины.

**Ключевые слова:** экология, окружающая среда, Каспийский регион, экосистема, нефтегазовые месторождения, антропогенная деятельность, геологические процессы, дегазация

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Алиев Э.М., Гурянов С.А., Беляева А.С. Современные геологические процессы, влияющие на окружающую среду Каспийского региона. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(3):107—126. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-107-126>

Статья поступила в редакцию 12.06.2024

Принята к публикации 09.09.2024

Опубликована 30.09.2024

\* Автор, ответственный за переписку

## CURRENT GEOLOGICAL PROCESSES AFFECTING THE ENVIRONMENT OF THE CASPIAN REGION

EMIN M. ALIYEV<sup>1</sup>, SANAN A. GURYANOV<sup>2,\*</sup>, ALBINA S. BELYAEVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Oil and Gas of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan  
9, F. Amirov str., Baku, AZ1000, Azerbaijan*

<sup>2</sup> *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117997, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** In addition to anthropogenic activities affecting the environment, geological hazards pose significant risks to the natural environment, as well as to human population, buildings, and infrastructure. In the Caspian region, geological hazards are primarily associated with geodynamic activity and dissipation of fluid-dynamic stress within the hydro- and lithodynamic flow systems in the subsurface, which manifests in the form of intense upward flows of mobile fluids that significantly impact the surrounding environment.

**Aim.** To investigate and assess the current geological processes affecting the environment of the Caspian region.

**Materials and methods.** The computer processing and visual interpretation of radar information, as well as the data of marine geological-geophysical and seismic studies, revealed correlation of oil slicks and gas emissions with the sources of fluid generation and discharge within the sedimentary cover of the Caspian region. The correlation between the occurrence of oil slicks and regional seismic activity was evaluated using data from the USGS National Earthquake Information Center concerning earthquakes in the Southern Caspian region.

**Results.** The conducted studies evaluated the scale of current geological processes that affect the environment of the Caspian region. In addition to anthropogenic degassing, the role of deep and crustal degassing of the Earth has been found significant in this region. Natural oil and gas showings are spatially and genetically linked primarily with geological processes—vertical and horizontal movements, seismicity, including sedimentary—small-focus seismicity, mud volcanism, the migration and emigration of hydrocarbons, as well as the accumulation of free gas in the upper part of the sedimentary sequence.

**Conclusion.** Crustal degassing is associated with the state and functioning of geofluid-dynamic systems, evolving and developing under the influence of geodynamic processes throughout the sedimentary filling at all stages of the basin's evolution, with the active contributions of the generation and migration of methane, hydrogen, and other gases. Discharges of oil and gas in water exhibit significant variability, including local (concentrated) discharges (such as mud volcanoes, gas seeps, salt springs, slicks, and others), widespread hydrocarbon influx and its fractions from petroleum and gas-bearing structures via faults. Oil pollution in Baku Bay appears to be a consequence of natural fluid dynamic processes occurring in its subsurface. The sources of oil slicks refer to the areas where formation fluids are discharged in the sedimentary cover structures. The discharge is influenced by the seismicity of the Earth's crust in the South Caspian tectonic basin.

**Keywords:** ecology, environment, Caspian region, ecosystem, oil and gas fields, anthropogenic activities, geological processes, degassing

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosures:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Aliyev E.M., Guryanov S.A., Belyaeva A.S. Modern geological processes affecting the environment of the Caspian region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):107—126. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-107-126>

*Manuscript received 12 June 2024*

*Accepted 09 September 2024*

*Published 30 September 2024*

\* Corresponding author

Геологические опасности — это долгосрочные и краткосрочные геологические процессы, в значительной степени оказывающие негативное воздействие на природную среду, растения, людей, животных, объекты экономики. Геологические опасности могут быть относительно небольшими, но они также могут достигать огромных размеров.

К геологически опасным явлениям относят: землетрясения, извержение вулканов, в том числе грязевых вулканов, осыпи и обвалы, сели, просадку или провалы земной поверхности в результате карста, эрозии, абразии, лавины, смывы, оползни и др. Непрерывное и междисциплинарное расследование возникновения и последствий геологических опасностей, в частности морских геологических опасностей в связи с разведкой нефти и газа, привело к конкретным исследованиям по смягчению последствий и созданию соответствующих механизмов предотвращения.

Для оценки экологических рисков, связанных с геологическими опасностями, необходим учет геологических особенностей Каспийского региона, где протекают современные геологические и геодинамические процессы, активно влияющие на окружающую среду. Современная экологическая ситуация в Каспийском регионе характеризуется нестабильностью, обусловленной совместным действием ряда природных и антропогенных факторов.

Примерами геологических опасностей в результате геодинамической активности в регионе являются просачивание разливов углеводородов на поверхность земли в результате геодинамической активности, сейсмичности, грязевого вулканизма, активности дизъюнктивных нарушений и другие, которые рассмотрены ниже.

### Геологические опасности, связанные с просачиванием углеводородов в результате геодинамической активности

На морских акваториях и на прилегающей суше Каспийского региона существует огромное количество естественных, длительно функционирующих

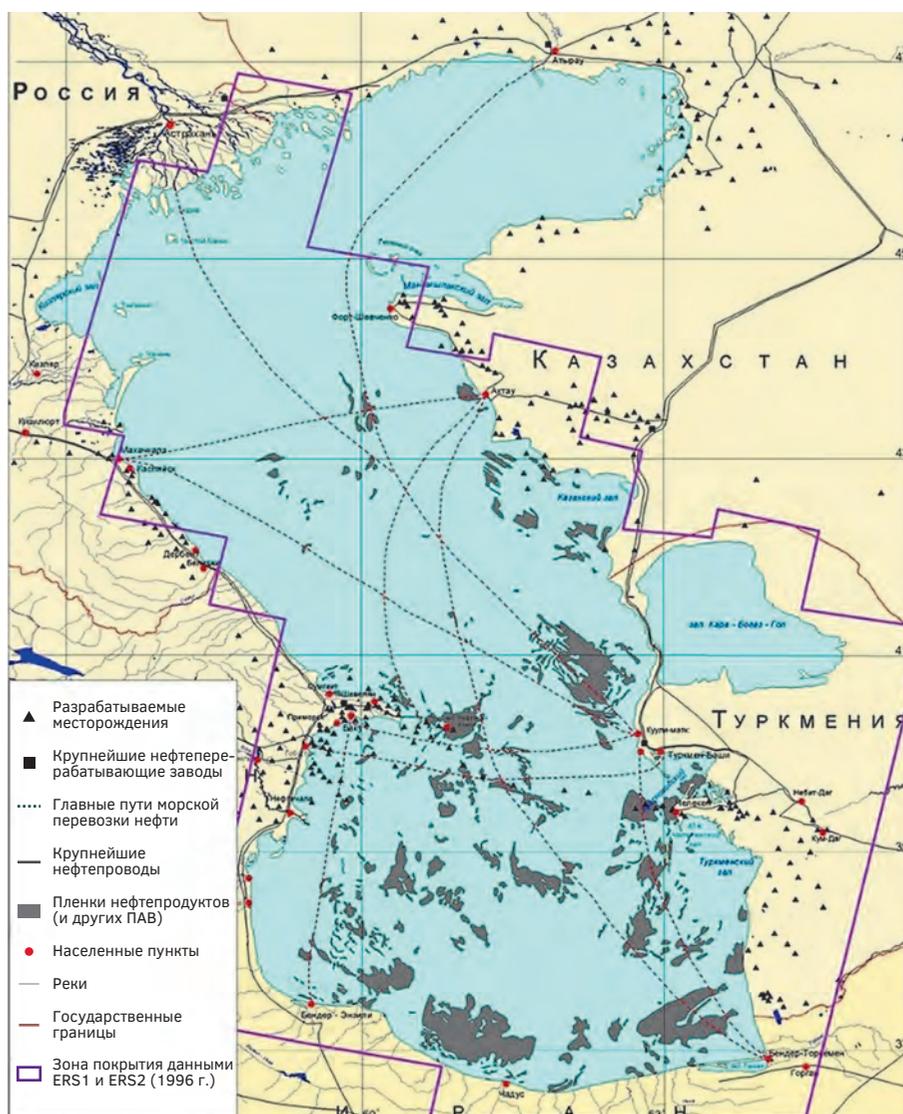
выходов нефти и газа в форме макро- и микросипов, покмарков и грязевых вулканов. На космических снимках Каспийского моря отчетливо видны периоды поступления огромных масс углеводородов, фиксируемых по пленкам нефти и изменению прозрачности воды [25, 30] (рис. 1).

По данным космической радиолокации скопления пятен, отобразившиеся на радиолокационной информации, являются результатом активности подводных грязевых вулканов и грифонов, характеризующихся выделением небольших объемов газов, воды и нефти, что фиксирует геофлюодинамически активные периоды в углеводородных системах. На общем фоне обширного нефтяного шлейфа отчетливо видны многочисленные самостоятельные сгустковые образования с высокой спектральной яркостью, маркирующие проекции на поверхность очагов этих мелких загрязнений. Всплывшая нефть образует пленки и формируют пятна, именуемые сликами (рис. 2).

Нефть всплывает на поверхность моря пузырьками газа (рис. 2в), пузырьки лопаются, а нефть остается на поверхности [52]. Попав на поверхность, нефть образует отдельные небольшие пятна, а затем, собираясь, дрейфуя и растекаясь, — большие пятна длиной несколько километров.

Находясь под действием поверхностных течений (в данном случае пренебрегаем незначительным вкладом ветра в общий дрейф пленок), пленки перемещаются в их поле и в открытом море приобретают вихревую закрутку. Когда скорость дегазации высока, а сам процесс происходит неоднократно, газ, проходя через осадки, влияет на морфологию дна и образует округлые впадины или кратеры, называемые оспинами (рис. 2г). Расположение таких кратеров указывает на наличие газовых выходов и метановых биотопов на морском дне.

По своей морфологии в плане наблюдаемые пятна нефти можно разделить на пятна линейной, кольцевой и радиально-лучевой формы. Кольцевая и петлеобразная формы пятен — результат



**Рис. 1.** Интегральная карта распределения пленок нефти и нефтепродуктов по состоянию на май 1996 г. (по данным [11])

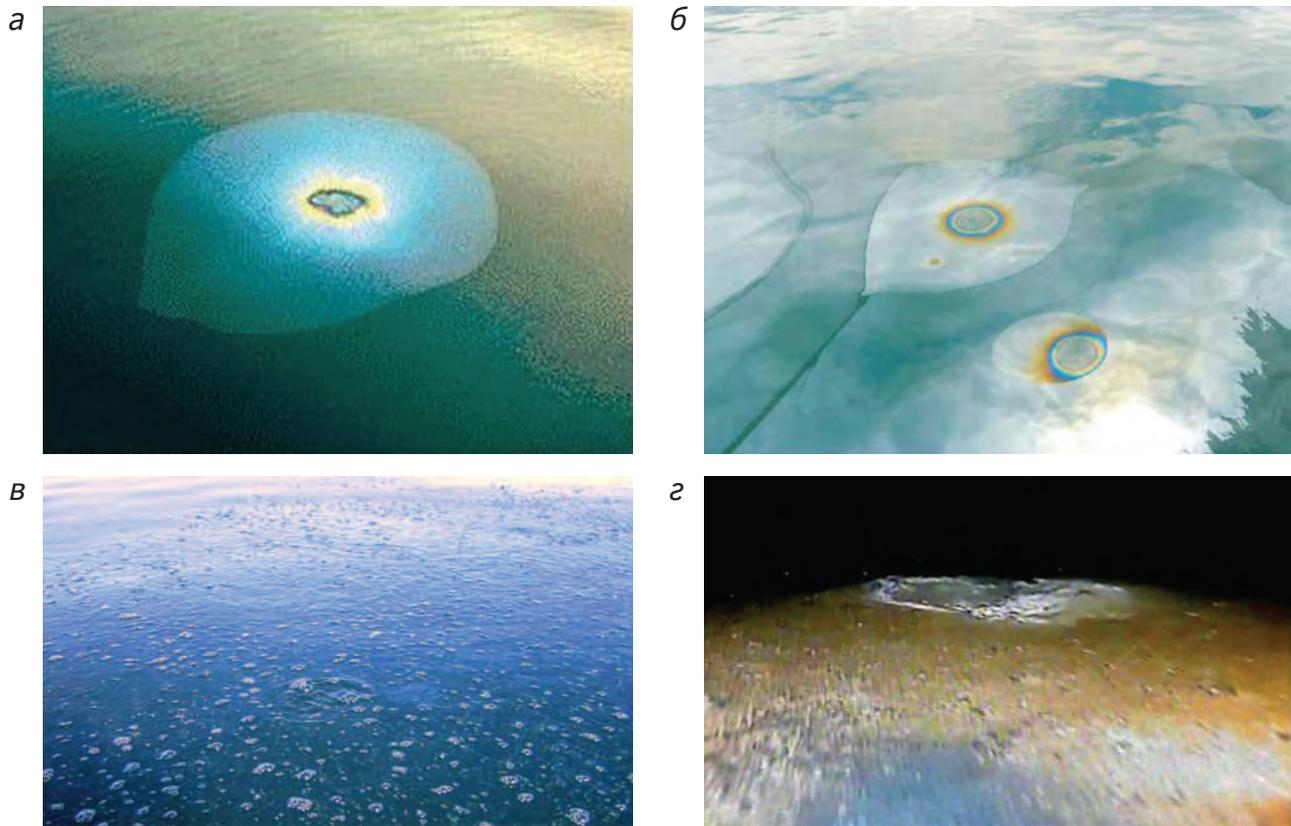
**Fig. 1.** Integrated map of the distribution of oil and oil product films as of May 1996 (according to data from [11])

вовлечения пленок в локальные вихревые структуры циклонического или антициклонического характера. Дешифрирование радиолокационной информации (РЛИ) в сочетании с данными морских геолого-геофизических и сейсмологических исследований выявили связь этих пятен с очагами разгрузки флюидов в сводах локальных структур осадочного покрова Южно-Каспийской впадины (ЮКВ) [4].

Установлено, что периодичность появления пятен нефти отражает чередование импульсов грязевого вулканизма в моменты повышенной сейсмичности с периодами спокойной разгрузки флюидов по проницаемым зонам разрывных нарушений.

Сводная карта нефтяных пятен показана на рисунке 3. В период с июля 2003 по октябрь 2004 г. в течение каждого из семи сеансов РЛ-съемок на поверхности моря наблюдалось от 30 до 98 пятен нефти (см. табл. 1).

Из анализа рисунков 3 и 4 следует, что распределение нефтяных пятен на поверхности моря в целом согласуется со строением осадочного покрова рассматриваемой части ЮКВ. В азербайджанском секторе Южного Каспия нефтяные пятна появляются над грязевыми вулканами, которые расположены в сводах пяти линейных антиклинальных складок северо-западного простирания. Эти складки прослеживаются в глубоководной



**Рис. 2.** Примеры естественных нефтепроявлений на морской поверхности  
**Fig. 2.** Examples of natural oil seeps on the sea surface

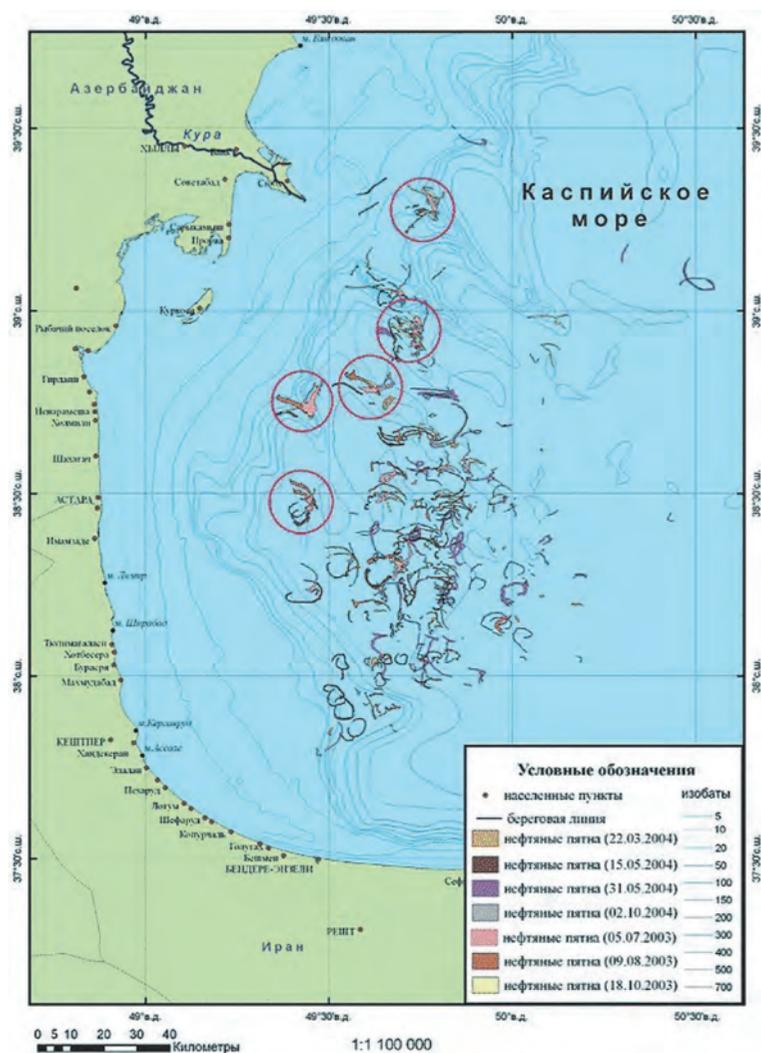
и мелководной частях моря со стороны соседней территории и имеют прямую выраженность в рельефе дна, особенно в пределах континентального склона [5].

На основе анализа карт сделан вывод, что скопления пятен, отобразившиеся на РЛИ, являются результатом активности подводных грязевых вулканов и грифонов, находящихся в относительно спокойной грифонно-саль-

зовой стадии, характеризующейся выделением небольших объемов газов, воды и нефти. Оценки объемов выброшенной нефти напрямую зависят от общей площади и толщины наблюдаемых пятен. Толщина нефтяной пленки в пятнах нефти, связанных с донными истечениями нефти, оценивается в  $10^{-1}$ — $10^{-2}$  мкм, а время существования слика (пятна) на морской поверхности — в 8—24 часа [31]. Подмечено, что пленки нефти на морской

**Таблица 1.** Количество пятен, площадь и объемы загрязнения  
**Table 1.** Number of stains, area and volume of contamination

№	Дата съемки	Время, UTC	Ветер, скорость м/с и направление	Кол-во пятен	Средняя площадь пятна, км <sup>2</sup>	Общая площадь пятна, км <sup>2</sup>	Максимальный объем выброса, тонн день/год
1	05.07.2003	06:56	3—6 Ю/ЮВ	30	3,4	101,6	35,56/12979
2	09.08.2003	06:56	4—6 Ю/ЮВ	78	1,5	113,9	39,80/14525
3	18.10.2003	06:56	2—4 Ю/ЮЗ	52	1,3	66,7	23,35/8520
4	22.03.2004	06:53	2—3 СЗ/ЮВ	64	0,5	31,4	10,99/4011
5	15.05.2004	06:56	2—3 СЗ/ЮВ	69	1,2	84,3	29,51/10771
6	31.05.2004	06:53	2—3 СЗ/ЮВ	98	1,3	127,2	44,52/16250
7	02.10.2004	06:56	2—3 СЗ	32	0,6	19,3	6,75/2465



**Рис. 3.** Сводная карта пятен нефти юго-западной части Каспийского моря. Кругами показаны четко выделившиеся кластеры пятен

**Fig. 3.** Summary map of oil spills in the southwestern Caspian Sea. Circles show distinct clusters of spills

поверхности в районах грязевулканической активности имели окраску от серебристо-серой до радужной [28], что соответствует средней толщине пленки  $(3-5) \times 10^{-4}$  мм [32—34].

Исходя из того, что каждый кв. км акватории моря, покрытой пленкой, может содержать до 400—450 кг нефти [33], можно оценить экологический эффект грифонной активности. Судя по сводной карте (см. рис. 3), суммарные площади сликов варьируют от 19 до 127 км<sup>2</sup> (см. табл. 1). Площадь наибольших пятен достигает 15 км<sup>2</sup>. Средняя площадь отдельных пятен нефти варьировала от 0,6 до 3,4 км<sup>2</sup>, а их общая площадь за все дни составила 544,4 км<sup>2</sup>. Таким образом, суммарная оценка естественного выброса нефти в море составляет от 6,8 до 44,5 т в день

или от 2,5 до 16 тыс. т нефти в год (с учетом ежедневной активности) (см. табл. 1).

Вполне очевидно, что пластовые нефти вносят существенный вклад в общее загрязнение Каспийского моря. Такая природная инфильтрация может быть ошибочно приписана антропогенной деятельности, хотя на самом деле представляет собой одну из характерных особенностей Каспийского моря. По данным Каспийской экологической программы [38], оценка природного загрязнения составляет 17,2% от общего загрязнения моря нефтью и нефтепродуктами (120 тыс. т), а по данным ряда других источников — до 13—15% от общего загрязнения Мирового океана. По оценкам, разгрузка пластовых нефтей в западной части Южного Каспия может обеспечивать поставку



**Рис. 4.** Соответствие локальных структур осадочного чехла Южно-Каспийской тектонической впадины и пятен нефти, обнаруженных на радиолокационных изображениях. Светло-коричневый цвет — выявленные структуры, темно-серый — перспективные структуры; линия А—В — сейсмический разрез

**Fig. 4.** Correspondence between local structures of the sedimentary cover of the South Caspian tectonic basin and oil spots detected on radar images. Light brown: identified structures, dark grey: promising structures; line A-B — seismic section

до 13% общего загрязнения Каспийского моря. Для сравнения, вклад грифонов в общее загрязнение Мексиканского залива, по оценкам американских специалистов, может составлять от 17 до 140 тыс. т в год; оценки для шельфа Южной Калифорнии дают 8—17 тыс. т нефти в год [39].

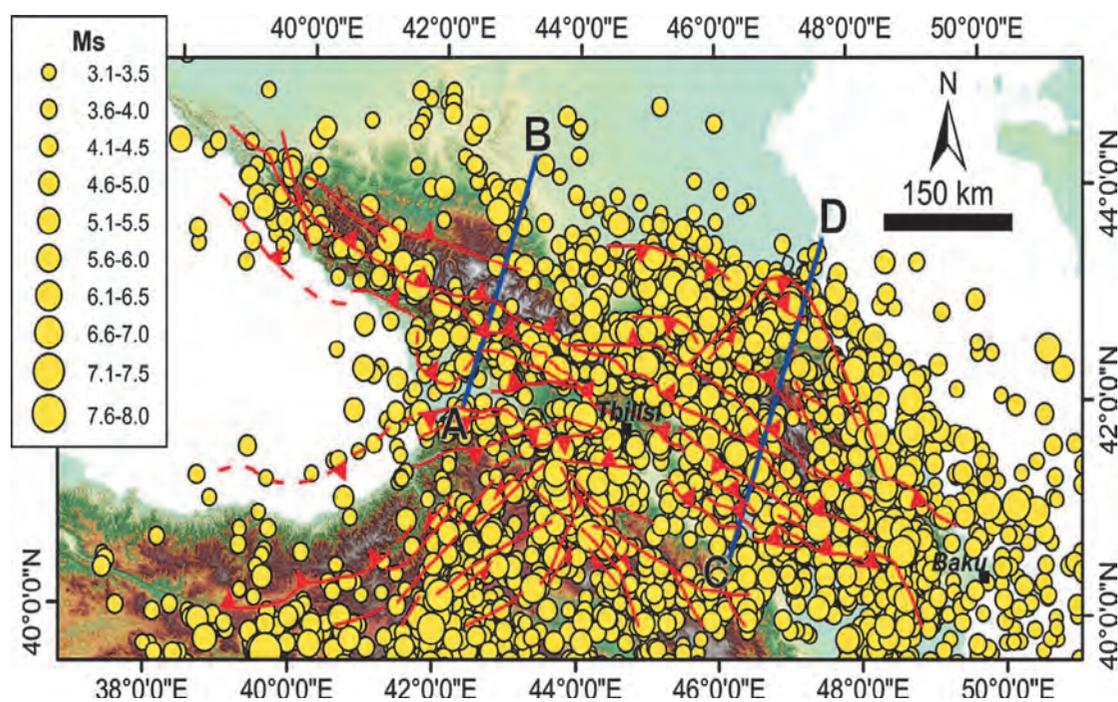
#### Геологические опасности, связанные с землетрясениями

Важнейшей особенностью структуры Каспийского региона являются сеймотектоническое напряженное состояние недр и высокая геодинамическая активность, ярким проявлением является сейсмичность (рис. 5 и 6). С геодинамической активностью региона сопряжены различные виды разрядки флюидодинамической напряженности недр (систем гидро- и литодинамических потоков в зонах разрядки геодинамических напряжений), и прежде всего это интенсивные восходящие разгрузки разнообразных подвижных флюидов и их компонентов, которые создают экологические

опасности, что наносит экологический ущерб окружающей среде [18].

Территория Каспийского региона расположена в сейсмически активном поясе. Основываясь на данных 533 зафиксированных землетрясений начиная с 1832 года, были оценены вероятностные риски в Каспийском море [35].

Изучение современных движений и деформаций на основе исследования влияния конфигурации элементов геодезической сети на результаты определения компонент деформации земной поверхности, происходящих в исследуемом регионе, позволило выявить неоднородный характер деформационного поля региона. Это в основном связано с блочным строением региона. Конец 2000 — начало 2001 годов охарактеризованы сейсмической, грязевулканической и солнечной активизацией. Произошла серия сильных землетрясений с магнитудой до  $M = 6,8$ . Компьютерная обработка и визуальное дешифрирование радиолокационной информации



**Рис. 5.** Карта эпицентров землетрясений Черноморско-Каспийского региона (желтым цветом) и основных активных разломов (красным цветом)

**Fig. 5.** Map of earthquake epicenters in the Black Sea-Caspian region (yellow) and major active faults (red)

в сочетании с данными морских геолого-геофизических и сейсмических исследований выявили связь нефтяных пятен и выбросов газа с очагами генерации и разгрузки флюидов в осадочном покрове Каспийского региона.

Большое количество аварий, произошедших на нефтепромыслах, свидетельствует о том, что разработка залежей углеводородов неизбежно сопровождается рядом опасных инженерно-геологических процессов в виде наведенной сейсмичности, прорыва мощных высоконапорных струй подземных вод, нефтей и газов [43, 45]. Ретроспективный анализ сейсмологического материала показывает, что аварии на буровых платформах и установках часто происходят в период подготовки землетрясений и извержения грязевых вулканов [40, 41]. Сопоставление дат аварий с датами сильных землетрясений убеждает в том, что периоды активности грязевых вулканов и появление пятен на поверхности моря хорошо коррелируют друг с другом, что, однако, требует более детального анализа архивов РЛИ за более длительный промежуток времени [21].

Связь появления пятен нефти с сейсмичностью региона оценивалась на основании данных USGS National Earthquake Information Center о землетрясениях, произошедших в Южно-

Каспийском регионе в 2003—2004 гг. (рис. 7). Как видно из рисунка, сеансы РЛ-съемок соответствуют периоду относительного сейсмического затишья. На фоне этого затишья выделяется кратковременный период (март — июнь 2004 г.), который отличался заметным ростом числа и магнитуды землетрясений в Северном Иране.

Условные обозначения: на врезке рисунка 7 — корреляция между магнитудой землетрясений и количеством пятен нефти, обнаруженных на РЛИ. Эллипсом отмечена серия землетрясений в Северном Иране, спровоцировавшая появление большого количества пятен нефти на поверхности моря [46, 47].

Характерно, что этот «беспокойный» период сопровождался ростом числа и площади нефтяных пятен, причем максимальное количество пятен отмечено на РЛИ 15 и 31 мая 2004 г. (врезка, рисунок 7). В период сейсмического затишья корреляция числа пятен с импульсами сейсмичности менее четкая.

#### Геологические опасности, связанные с грязевыми вулканами

Анализ данных по землетрясениям и зафиксированным извержениям грязевых вулканов выявил связь между активизацией грязевулканической

Современные геологические процессы, влияющие на окружающую среду Каспийского региона

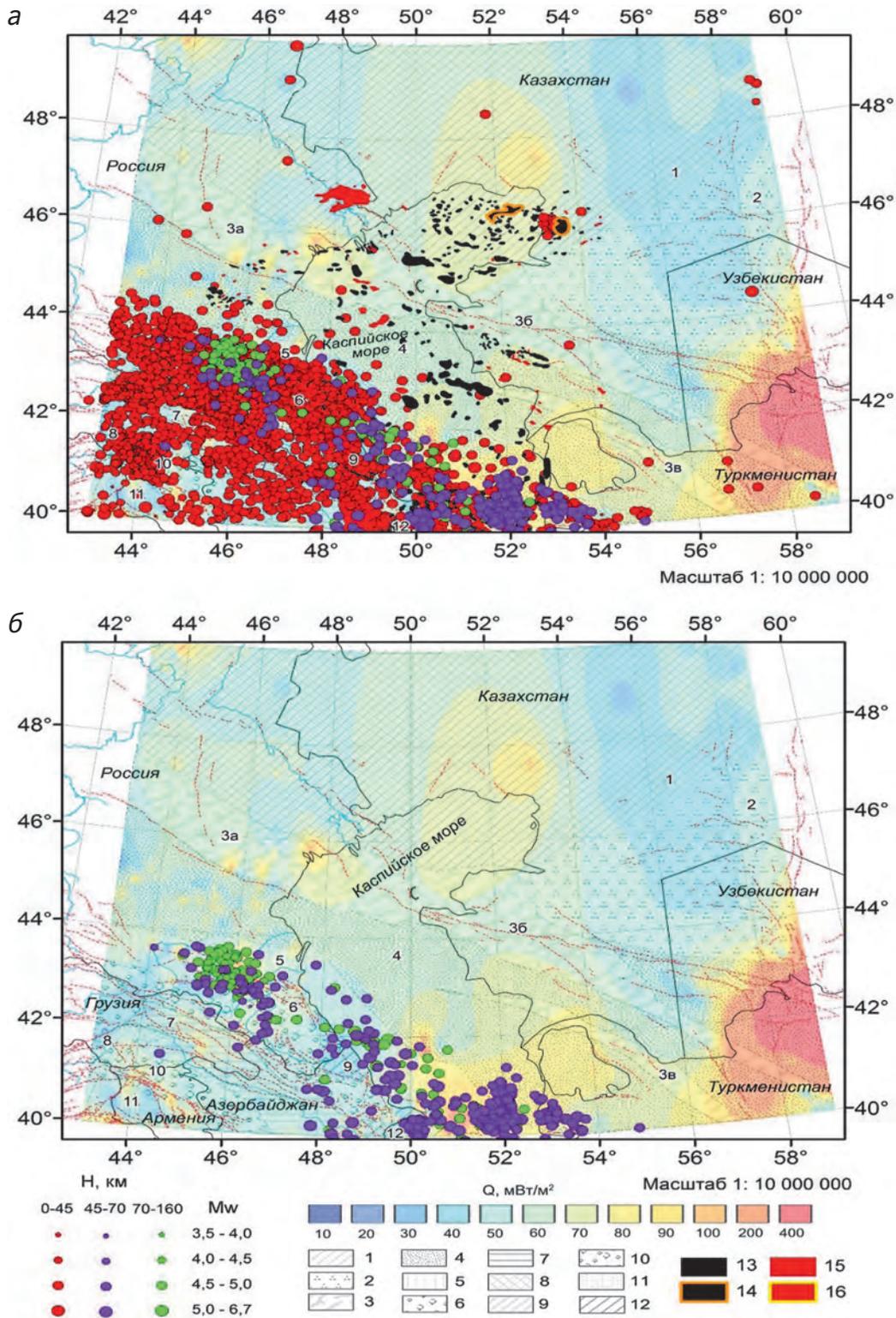
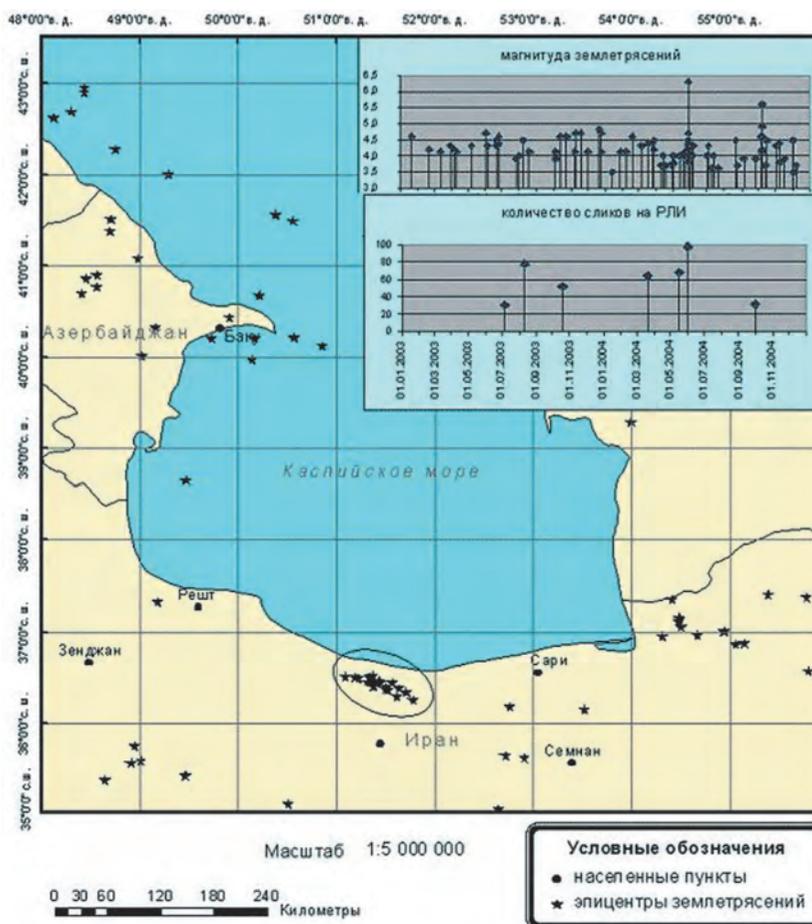


Рис. 6. Распределение теплового потока, современной сейсмичности (XX—XXI в.) и активных разломов в Каспийском регионе: а — все землетрясения с Mw > 3,5, б — землетрясения, произошедшие на глубинах более 45 км. H — глубина гипоцентра землетрясений; Mw — их моментная магнитуда. Структурно-тектонические элементы: 1 — Прикаспийская впадина, 2 — Северо-Устюртский блок, 3 — складчатость: а — Кряж Карпинского, б — Мангышлакско-Центральноустюртская зона, в — Туаркырская зона, 4 — Среднекаспийская

синеклиза, 5 — Терско-Каспийский прогиб, 6 — Большой Кавказ, 7 — Куринская впадина, 8 — Аджаро-Триалетская складчатая зона, 9 — Кусаро-Дивичинский прогиб, 10 — Малый Кавказ, 11 — Центральный армянский прогиб, 12 — Апшерон-Прибалханская система поднятий. Углеводородные месторождения: 13 — нефтяные, 14 — крупнейшие нефтяные, 15 — газовые, 16 — крупнейшие газовые

**Fig. 6.** Distribution of heat flow, modern seismicity (XX—XXI centuries) and active faults in the Caspian region: a — all earthquakes with  $M_w > 3.5$ , b — earthquakes that occurred at depths greater than 45 km.  $H$  is the depth of the earthquake hypocenter;  $M_w$  is their moment magnitude. Structural and tectonic elements: 1 — Caspian Depression, 2 — North Ustyurt block, 3 — folding: a — Karpinsky Ridge, b — Mangyshlak–Central Ustyurt zone, c — Tuarkyr zone, 4 — Middle Caspian syneclyse, 5 — Terek–Caspian trough, 6 — Greater Caucasus, 7 — Kura Depression, 8 — Adjara-Trialeti folded zone, 9 — Kusaro-Divichi trough, 10 — Lesser Caucasus, 11 — Central Armenian trough, 12 — Apsheron-Balkhan uplift system. Hydrocarbon deposits: 13 — oil, 14 — largest oil, 15 — gas, 16 — largest gas

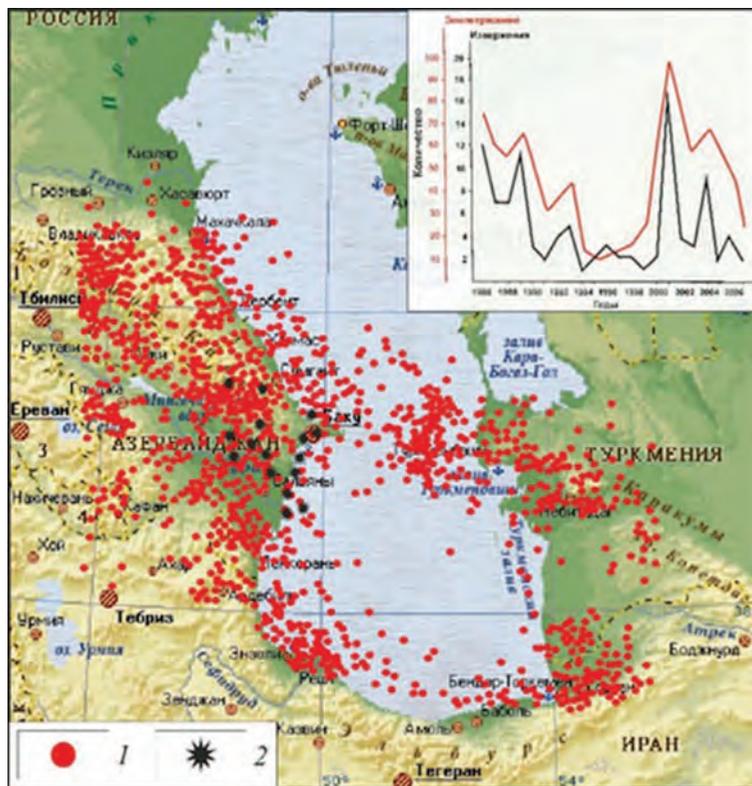


**Рис. 7.** Связь активности грифонов и грязевых вулканов с сейсмичностью Каспийского региона в период РЛ наблюдений

**Fig. 7.** Relationship between the activity of griffins and mud volcanoes and the seismicity of the Caspian region during the period of radar observations

деятельности и сейсмичностью. Установлено, что землетрясения запускают процесс вулканизма грязевых вулканов, в который включены магнитуды землетрясения, глубины очага, энергетический класс, расстояние между эпицентром и вулканом. Извержение вулкана совпадает по времени или следует с некоторым опозданием за землетрясением (рис. 8).

Расположенные в этой зоне многочисленные грязевые вулканы рассматриваются как возможные каналы поступления флюидопотока на поверхность. Естественные выбросы нефти из недр юго-западной части Каспийского моря по данным космической радиолокации оцениваются от 2 до 16 тыс. тонн в год. Установлено, что периодичность появления пятен нефти отражает чередование импульсов грязевого



**Рис. 8.** Карта расположения грязевых вулканов и эпицентров землетрясений в Каспийском море и зависимость извержений грязевых вулканов от землетрясений: 1 — эпицентры землетрясений, 2 — грязевые вулканы

**Fig. 8.** Map of the location of mud volcanoes and earthquake epicenters in the Caspian Sea and the dependence of mud volcano eruptions on earthquakes: 1 — earthquake epicenters, 2 — mud volcanoes

вулканизма в моменты повышенной сейсмичности с периодами нормального распределения флюидов по проницаемым зонам разрывных нарушений.

В результате периодических извержений грязевых вулканов на протяжении последних сотен лет были вынесены десятки и сотни миллионов кубометров газа. Если расчетная скорость поступления углеводородов в залежи на гигантских месторождениях дают величины  $n \times (10-13) \text{ кг}/(\text{м}^2/\text{с})$ , то для всех грязевых вулканов наземной части общий объем выброшенного газа оценивается величиной  $32 \times 10^3$  млрд куб. м. Расчеты количества извержений грязевых вулканов за время их существования показывают, что количество извержений грязевых вулканов составляет 7350 (влк. Большой Кянизадаг), 6860 (влк. Торагай), 1250 (влк. Дашмардан), 550 (влк. Дашгиль), что позволило нам подсчитать приблизительные объемы газа, которые выбрасывались в атмосферу.

Подсчеты (по [19]) показали, что в районе Апшеронского полуострова на дневную поверхность выходят миллиарды кубометров газа и несколько миллионов тонн нефти в год — про-

дукты современной генерации и эмиграции нефти и газа, не перехваченные ловушками и проницаемыми, заполненными водой пластами. Постоянный выброс огромных объемов углеводородных флюидов, особенно в местах локализации каналов грязевых вулканов, активность которых определяется частотой их извержения, является показателем геофлюидодинамической активности региона. Общее количество извержений, вычисленное по объему брекчи, достигает нескольких тысяч. Данные об исторических извержениях показывают, что за новейший период деятельности грязевых вулканов в атмосферу в процессе извержений было выброшено нескольких десятков триллионов кубометров газа (табл. 2, рис. 9).

К настоящему времени накоплен объем данных, обсуждаемых и в современной литературе [42, 44] свидетельствующий о возможности воспроизводства углеводородного сырья в недрах, активно влияющий на экологическую ситуацию.

На рисунке 8 показаны очаги грязевых вулканов Азербайджана за последние десять лет. Приведен частотный анализ параметров дегазации,

**Таблица 2.** Объемы выделяемого газа на грязевых вулканах на территории Азербайджана  
**Table 2.** Volumes of gas emitted by mud volcanoes in Azerbaijan

Грязевые вулканы (Азербайджан)	Годы извержений	Объем выделенного газа, м <sup>3</sup>
Грязевые вулканы на территории Азербайджана	за период 1,81 млн лет (квартер)	≈ 178 × 10 <sup>3</sup> млрд м <sup>3</sup>
250 грязевых вулканов	за период 1810—1997 гг.	≈ 250 млн м <sup>3</sup>
влк. Большой Мараза	1902 г.	120 млн м <sup>3</sup>
влк. Торагай	1946 г.	≈ 500 млн м <sup>3</sup>
влк. Остров Дуванны	1961 г.	≈ 65 млн м <sup>3</sup>
влк. Дашгиль	2001 г.	40 тыс. м <sup>3</sup> /день

зарегистрированных с помощью станции мониторинга.

На суше и на море Азербайджана известны более 250 грязевых вулканов. И лишь на 74 из них зарегистрированы извержения различной силы. При этом частота извержений тоже различная. На вулкане Локбатан за последние 2 века было зарегистрировано более 20 извержений, а на 33-х вулканах — всего по одному.

Извергаясь, грязевые вулканы выбрасывают миллионы кубометров сопочной брекчии (грязи), потоки которой могут снести все инфраструктурные постройки. Обломки пород исторгаются на десятки или первые сотни метров и могут повредить трубопроводы. Нередко во время извержения метановый газ возгорается, и пламя может привести к значительным разрушениям и жертвам недалеко от центра возгорания. Трещины, образующиеся в результате

деятельности вулканов и острова на море, возникающие при извержении, а впоследствии размывающиеся, выделяющийся метановый газ, газогидраты — все эти явления могут привести к значительным разрушениям и потерям. При извержениях грязевых вулканов происходят геологические опасности, связанные с воспламенением газов, грязевыми потоками, выбросом потоков обломочных пород и др.

Извержения грязевых вулканов сопровождаются выбросами миллионов кубометров сопочной брекчии — грязи. Изверженная брекчия, будучи полужидкой, стекает по склонам вулканов вне зависимости от того, где этот вулкан расположен — на суше или на море. Достигая в толщине 10 метров и более, эти потоки грязи способны пройти сотни метров, реже километры до полной остановки, при этом, естественно, разрушая все преграды на своем пути (рис. 10).



**Рис. 9.** Извержение грязевого вулкана Локбатан, 2012 год. Выброс пара и брекчии с воспламенением основного факела

**Fig. 9.** Eruption of the Lokbatan mud volcano, 2012. Emission of steam and breccia with ignition of the main plume



Рис. 10. Грязевые потоки, связанные с грязевым вулканизмом  
Fig. 10. Mud flows associated with mud volcanism

Учитывая, что многие грязевые вулканы приурочены к промышленным скоплениям УВ, необходимо объективно оценить расстояние и зоны, где можно безопасно расположить платформы, трубопроводы, инфраструктурные сооружения. Важным вопросом является определение безопасного расстояния от возможного эруптивного центра, где можно поставить строения, инфраструктуру, скважины без риска для них быть разрушенными грязевым потоком. Если быть более точным, то нужно определить возможное направление потоков и длину потока, которые определяются тремя основными параметрами: 1) объем изверженной брекчии, 2) морфология вулкана и положение жерла на вулкане, 3) среда, в которой происходило извержение (суша или море, воздух или вода).

Кинематические и динамические характеристики потока варьируют в зависимости от среды, в которой этот поток движется. Форма потока и его скорость зависит от крутизны склона и содержания воды в потоке, определяющей вязкость. В какой-то степени скорость зависит от температуры воздуха и дождя. После дождя скорость грязевого потока увеличивается. Движение грязевых потоков продолжается от нескольких дней до нескольких месяцев и зависит от скорости высыхания грязи. На этот процесс влияют погодные условия. При теплой по-

годе грязь высыхает быстрее. То же самое происходит при ветре. При холодной погоде она высыхает медленнее, но может и замерзнуть. В отличие от потоков на суше в морской среде грязевой поток более вязок и плотен у эруптивного центра, и, наоборот, в отдалении он становится менее плотным. Грязь, смешиваясь с морской водой и пузырьками выделяющегося газа, образует мутьевые потоки, которые движутся вниз по склону [29].

Размеры и объемы грязевых потоков на суше могут быть оценены статистически. Вместе с тем имеются только два наблюдения, где оценена длина потоков в морских условиях.

Анализ формы и размеров грязевых потоков на суше показал, что они зависят от морфологического строения вулкана и его склона. Если кратер расположен на равнине, то покров имеет изометрическую форму. И наоборот, крутой склон обуславливает длинный продолговатый поток. По видимому, подобное происходит и в водной среде. Здесь склон даже с небольшим углом падения может вызывать длинные потоки из-за низких значений вязкости.

Трудно предугадать, в какой среде потоки представят большую опасность — в водной или воздушной. С одной стороны, в воде сопротивление среды потоку выше, чем в воздухе. С другой стороны, ее вязкость гораздо ниже. Плюс в водной среде часть

осадков движутся в виде мутьевого потока. По этой причине оценка опасности в двух средах проводилась различными методами: статистический анализ для вулканов суши и 3D-моделирование грязевых потоков для акватории моря.

#### Геологические опасности, связанные с дегазацией Земли

Как свидетельствуют результаты исследований, наряду с глубинной дегазацией Земли активная роль принадлежит коровой дегазации, сопряженной с состоянием и функционированием геофлюидодинамических систем, которые связаны с напряженным состоянием недр, высокой и разнообразной геодинамической активностью, ярким проявлением сейсмичности, грязевым вулканизмом и геохимическими процессами [13, 14]. Формирование и эволюция геофлюидодинамических систем в недрах Земли происходит под влиянием геодинамических процессов при активном воздействии генерации, миграции и аккумуляции метана, водорода и других газов, которые протекают во всем объеме осадочного выполнения и на всех этапах эволюции бассейна при возникновении очагов фазовых переходов метана и водорода из растворенного в подземных водах в свободное состояние [50]. Метан является преобладающим компонентом в составе углеводородных газовых залежей. Превалирует он и в составе газовых шапок, и в растворенном газе низкоплотных, маловязких нефтей и представлен в выделениях грязевых вулканов в момент их извержения. Соответственно, формирование месторождений газа и нефти и грязевой вулканизм связаны с развитием полей концентраций этого компонента в природных средах, а именно — с процессами его образования, распределения и потребления в естественных циклах эволюции этих сред [49]. Поэтому и образование углеводородов, и грязевые извержения естественно рассматривать как составляющие общего явления, в основе которого лежат фазовые переходы, обусловленные развитием поля метана. Таким образом, процесс современной разгрузки газообразных флюидов связан с изменением энергетического состояния геофлюидодинамических систем и целым рядом физико-химических и флюидодинамических факторов [36, 37].

Природные газы на территории Азербайджана характеризуются разнообразным химическим составом. Основными компонентами природных газов являются метан, углекислый газ и азот с содержанием более 50%. Остальные компоненты, такие как этан, пропан, бутан, аргон и др., являются

примесями, содержание которых не превышает единицы процентов, а такие, как сероводород, гелий, неон и др., содержатся в микроконцентрациях, в долях одного процента [22, 23].

Углекислые воды на территории Азербайджана представляют собой гетерогенную систему, компоненты которой имеют разный генезис. По изотопному составу гелия и углерода  $\text{CO}_2$  газы минеральных вод близки к газам верхней мантии, однако, судя по высоким значениям  $\text{CO}_2/\text{He}$ , доля метаморфогенной  $\text{CO}_2$  значительно превышает магматогенную. Примесь метана в газах имеет коровое происхождение, и его повышенные концентрации маркируют надвиговую структуру Главного хребта. В питании источников доминирует атмосферная составляющая. В изотопном составе воды видны следы высотной зональности, типичной для современных атмосферных осадков [27].

Количество  $\text{CO}_2$  в газах вулканов Азербайджана находится обычно в пределах 0,01—8,6%, в среднем составляя 3,0%. Газы вулканов Шамахи-Гобустанского района характеризуются большими значениями  $\text{CO}_2$  — до 10%. Количество азота составляет 0,06—11,7%. Содержание инертных компонентов незначительно, достигая в среднем 0,012% (Прикаспийско-Губинский район). В небольшом количестве присутствует и водород  $\text{H}_2$ , составляя в среднем 0,006% (Бакинский архипелаг) [1, 10].

Основным компонентом газа грязевых вулканов Азербайджана является метан, содержание которого изменяется от 70 до 99% об. [1, 48]. Метановые газы грязевых вулканов представляют собой гомогенную систему, все компоненты которой (газ, вода, солевая нагрузка) имеют коровый источник и формируются в едином резервуаре в верхних этажах осадочной толщи. Формирование изотопного состава воды грязевых вулканов характеризуется основными изотопно-химическими свойствами газоводных флюидов (химическим составом воды и величинами  $\delta^{11}\text{B}$  и  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ ), что доказывает элизионный генезис грязевулканических систем [3, 12, 54].

Повышенные концентрации метана наблюдаются в газах источников из палеозойских кристаллических пород Главного хребта. Высокие концентрации, приуроченные к выходам кристаллических пород, а также отсутствие видимой связи с осадочными породами позволяют высказать предположение, что метан здесь генетически не связан с комплексами осадочных пород и может иметь абиогенное (не осадочное) происхождение [15—17, 26].

**Таблица 4.** Содержание основных компонентов природных газов в литолого-стратиграфических комплексах азербайджанского сектора ЮКВ**Table 4.** Content of the main components of natural gases in the lithological-stratigraphic complexes of the Azerbaijani sector of the South Caspian Sea

Возраст вмещающих пород	Метан + этан	Пропан	Бутан	Пентан	Пропан + высшие	Углекислый газ	Метан/тяжелые
Абшеронский ярус	95,28	1,57	0,8	0,37	2,74	0,8	35
Продуктивная толща	90,92	0,64	0,60	0,60	1,84	6,2	49
Чокракский горизонт	94,50	1,58	1,25	0,77	3,60	1,6	26
Майкопская серия	88,66	3,90	2,65	1,63	8,18	3,1	10
Фораминиферовые слои	84,61	5,50	6,22	2,96	14,68	0,7	5

Метан из грязевых вулканов в Среднекуринском прогибе по величине  $\delta^{13}\text{C}$  идентичен метану углеводородных залежей [6, 9]. В грязевых вулканах Азербайджана (в Прикаспии) отмечался диапазон значений для  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\text{CO}_2$ ) от  $-36,9$  до  $+24,0\text{‰}$  при средней величине  $+2,4\text{‰}$ . Как известно [7, 8], наименьшие значения  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4) \approx -70\text{‰}$  присущи биогенному метану (болотный газ и т.п.), тогда как более высокие характерны для термогенного метана.

Метан является основным компонентом углеводородных газов нефтяных месторождений азербайджанского сектора Южно-Каспийской впадины (ЮКВ), и его содержание в редких случаях снижается до 50% [2, 20]. Среднее содержание отдельных компонентов в различных отложениях приведено в таблице 4.

Таким образом, наиболее широко распространены метановые газы, которые приурочены в основном к Большому Кавказу и Прикаспийско-Губинской наложенной мульде, Южно-Каспийской и Куринской впадинам [51]. Углекислые газы занимают территорию Малого Кавказа и западную часть Талыша. Азотные газы небольшими по площади зонами присутствуют на Большом Кавказе, Талыше и северо-востоке Прикаспийско-Губинской наложенной мульде. В пределах Талыша присутствие зон всех трех основных газовых компонентов позволяет говорить о незаконченности ранее начавшихся геологических процессов [24, 26, 53].

### Заключение

В Каспийском регионе наряду с антропогенной дегазацией активная роль принадле-

жит глубинной и коровой дегазации Земли. Коровая дегазация связана с состоянием и функционированием геофлюидодинамических систем, формирование и эволюция которых происходят под влиянием геодинамических процессов при активном влиянии генерации и миграции метана, водорода и других газов, которые протекают во всем объеме осадочного выполнения и на всех этапах эволюции бассейна.

Естественные нефте- и газопроявления пространственно и генетически связаны, главным образом, геологическими процессами: вертикальными и горизонтальными движениями, сейсмичностью в том числе осадочной — мелкофокусной, с грязевым вулканизмом, миграцией и эмиграцией УВ, а также скоплениями свободного газа в верхней части осадочного разреза. Нередко предположения о техногенном загрязнении акватории являются ошибочными и безосновательными.

Выходы нефти и газа на поверхность воды отличаются многовариантностью, среди вариантов выделяются локальные (сосредоточенные) выходы (грязевые вулканы, грифоны, сальзы, слики, сипы и др.), площадное поступление углеводородов и их фракций из нефтегазоносных структур через сеть разломов.

Можно уверенно утверждать, что нефтяное загрязнение Бакинской бухты явилось следствием естественных флюидодинамических процессов, происходящих в его недрах. Источником пятен нефти служат очаги разгрузки пластовых флюидов в структурах осадочного чехла. Режим этой разгрузки регулируется сейсмичностью земной коры Южно-Каспийской тектонической впадины.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев А.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. Атлас грязевых вулканов мира. Баку: Nafta-Press, 2015. 323 с.
2. Байрамова Ш.Ш., Тагиева Е.Н., Бабазаде А.Д. Микропалеонтологические исследования отложений майкопской серии юго-восточного окончания

- Большого Кавказа (Азербайджан). Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле. 2021. № 1. С. 56—74.
3. *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.
  4. *Буачидзе Г.И., Мхеидзе Б.С.* Природные газы Грузии. Тбилиси: «Мецниереба», 1989. 155 с.
  5. *Бутаев А.М., Рыбникова В.И., Гаджиев А.З.* Бактериальное загрязнение прибрежных вод Каспия в районе Махачкалы. Вестник ДНЦ РАН. 1998. № 1. С. 69—73.
  6. *Валяев Б.М., Гринченко Ю.И., Ерохин В.Е.* Изотопный облик газов грязевых вулканов. Литология и полезные ископаемые. 1985. № 1. С. 72—87.
  7. *Галимов Э.М.* Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 1968. 226 с.
  8. *Галимов Э.М.* Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. М.: Недра, 1973. 384 с.
  9. *Гемп С.Д., Дуброва Н.В., Несмелова З.Н.* Изотопный состав углерода углеродсодержащих газов (CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub>) грязевых вулканов Керченско-Таманской области. Геохимия. 1970. № 2. С. 243—247.
  10. Геология Азербайджана. Т. VII Нефть и газ. Баку: Нафта-Пресс, 2008. 672 с.
  11. *Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А.* Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. Недра-Бизнесцентр. М., 2004, 342 с.
  12. *Гулиев И.С.* Зональность природных газов Азербайджана и газогеохимические поиски нефти и газа: автореф. ... дисс. канд. геол.-мин. наук, М., 1978. 24 с.
  13. *Гулиев И.С., Керимов В.Ю.* Углеводородная дегазация Земли: мониторинг, масштабы и геоэкологические последствия. Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. Вып. 4(23). 79 с.
  14. *Гулиев И.С., Мустаев Р.Н., Керимов В.Ю., Юдин М.Н.* Дегазация Земли: масштабы и последствия. Горный журнал. 2018. № 11. С. 38—42.
  15. *Дадашев Ф.Г.* Газоносность продуктивной толщи Юго-Восточного Кавказа. Баку: Элм, 1970. 150 с.
  16. *Дадашев Ф.Г., Гулиев И.С.* Газоносность мезокайнозойских отложений и перспективы поиска новых газовых месторождений в Южно-Каспийской впадине. В книге: Очерки по геологии Азербайджана. Баку: Азернешр, 1984. С. 126—147.
  17. *Дадашев Ф.Г., Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А.* Геотектонические и геохимические особенности дегазации Земли в пределах геосинклинальных областей. В книге: Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 116—123.
  18. *Иванов В.П., Сокольский А.Ф.* Научные основы стратегии защиты биологических ресурсов Каспийского моря от нефтяного загрязнения. Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2000. 181 с.
  19. *Истратов И.В.* Нефтегазоносность и ресурсный потенциал основных осадочных бассейнов Мирового океана. Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2013. № 5(16). С. 32—42.
  20. *Кадиров Ф.А., Сафаров Р.Т.* Деформация земной коры Азербайджана и сопредельных территорий по данным GPS-измерений. Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле. 2013. № 1. С. 47—55.
  21. *Касымов А.Г.* Экология Каспийского озера. Баку, 1994. 237 с.
  22. *Керимов В.Ю., Бондарев А.В., Мустаев Р.Н., Хоштария В.Н.* Оценка геологических рисков при поисках и разведке месторождений углеводородов. Нефтяное хозяйство. 2017. № 8. С. 36—41.
  23. *Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С., Яндарбиев Н.Ш., Козлова Е.В.* Перспективы поисков скоплений углеводородов в сланцевых низкопроницаемых толщах Хадумской свиты Предкавказья. Нефтяное хозяйство. 2015. № 10. С. 50—53.
  24. *Керимов В.Ю., Шилов Г.Я., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С.* Термобарические условия формирования скоплений углеводородов в сланцевых низкопроницаемых коллекторах хадумской свиты Предкавказья. Нефтяное хозяйство. 2016. № 2. С. 8—11.
  25. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г.* Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН, 2016. 334 с.
  26. *Лаврушин В.Ю.* Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления. М.: ГЕОС, 2012. 348 с.
  27. *Лаврушин В.Ю., Поляк Б.Г.* Источники углеродсодержащих газов в грязевых вулканах СНГ. Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. М.: ГЕОС, 1997. С. 67—70.
  28. *Мастепанов А.М.* От ковидного «сегодня» к низко-углеродному «завтра»: анализ зарубежных прогнозов развития мировой энергетики. Георесурсы. 2021. № 23(3). С. 42—52. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.7>
  29. *Миронов О.Г.* Нефтеокисляющие микроорганизмы в море. Киев: Наукова думка, 1971. 234 с.
  30. *Митягина М.И., Лаврова О.Ю.* Многолетний комплексный спутниковый мониторинг загрязнений поверхности Балтийского и Каспийского морей. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5 С. 269—288.
  31. *Немировская И.А.* Уровни и генезис углеводородов в прибрежных районах российского сектора Черного моря. Труды Государственного океанографического института. 2019. № 220. С. 221—243.
  32. *Патин С.А.* Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. 247 с.
  33. *Патин С.А.* Нефть и экология континентального шельфа: в 2-х т. 2-е изд., перераб. и дополн. Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 326 с.
  34. *Рубан Л.С.* Обеспечение энергетической и экологической безопасности Каспийского региона. Экологический вестник России. 2013. № 11, С. 20—23.

35. Салманов М.А. Экология и биологическая продуктивность Каспийского моря. Баку, 1999. 400 с.
36. Цогоев В.Б. Гидроминеральные ресурсы Северной Осетии. Орджоникидзе: Изд-во Ир, 1969. 419 с.
37. Челидзе Т.Л. Термодинамические условия и петрофизические модели участков земной коры Кавказа. В книге: Структура земной коры территории Грузии по сейсмическим и магнитным данным. Тбилиси: Мецниереба, 1983. С. 97—115.
38. Экзарьян В.Н., Рукавицын В.В. Методика оценки риска от загрязнения окружающей среды в результате аварий на опасных промышленных объектах. Разведка и охрана недр. 2021. № 1. С. 66—69.
39. Abolfazl Naji, Tooraj Sohrabi. Distribution and contamination pattern of heavy metals from surface sediments in the southern part of Caspian Sea, Iran, Chemical Speciation & Bioavailability, 2015. No. 27(1). P. 29—43. <https://doi.org/10.1080/09542299.2015.1023089>
40. Agha Bayramov. Conflict, cooperation or competition in the Caspian Sea region: A critical review of the New Great Game paradigm. Caucasus Survey. 2021. No. 9(1). P. 1—20. <https://doi.org/10.1080/23761199.2020.1774856>
41. Arora N.K. Bioremediation: a green approach for restoration of polluted ecosystems. Environmental Sustainability. 2018. No. 1. P. 305—307.
42. Batstone B., Belford S. Oil and Gas: Exploration and Risk. In The Future of Ocean Governance and Capacity Development. Leiden, The Netherlands: Brill | Nijhoff, 2019.
43. Butler J.H., Montzka S.A. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Published online Spring, 2018, URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html> (дата обращения: 09.07.2024).
44. Gertler C., Näther D.J., Cappello S., Gerdt G., Quilliam R.S., Yakimov M.M., Golyshin P.N. Composition and dynamics of biostimulated indigenous oil-degrading microbial consortia from the Irish, North and Mediterranean Seas: a mesocosm study. FEMS Microbiology Ecology. 2012. Vol. 81, no. 3. P. 520—536.
45. Friedlingstein P., Jones M.W. Global Carbon Budget 2019. Earth Syst. Sci. Data. 2019. Vol. 11. P. 1783—1838.
46. Guliev I.S., Kerimov V.Y., Etirmishli G.D., Yusubov N.P., Mustaev R.N., Huseynova A.B. Modern geodynamic processes and their impact on replenishment of hydrocarbon resources in the Black Sea — Caspian Region. Geotectonics. 2021. No. 55. P. 393—407.
47. Hsueh D.Y., Krakauer N.Y., et al. Regional patterns of radiocarbon and fossil fuel-derived CO<sub>2</sub> in surface air across North America. Geophysical Research Letters. 2007. Vol. 34. L02816.
48. Kerimov V.Yu., Leonov M.G., Mustaev R.N. Structural-tectonic model of hydrocarbons formation in the basement of the Vietnam shelf. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 459(4). P. 42—91. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/4/042091>
49. Kerimov V.Yu., Leonov M.G., Osipov A.V., Mustaev R.N., Hai V.N. Hydrocarbons in the basement of the South China Sea (Vietnam) shelf and structural-tectonic model of their formation. Geotectonics. 2019. Vol. 53, no. 1. P. 42—59. <https://doi.org/10.1134/S0016852119010035>
50. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust. Doklady Earth Sciences. 2018. Vol. 483. Part 1. P. 1413—1417.
51. Lapidus A.L., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural Bitumens: physicochemical properties and production technologies. Solid Fuel Chemistry. 2018. Vol. 52. No. 6. P. 344—355.
52. MacDonald I.R. Natural oil spills. Scientific American. 1998. No. 279(5). P. 51.
53. Mustaev R.N., Kerimov V.Yu., Shilov G.Y., Dmitrievsky S.S. Modeling of thermobaric conditions formation of the shale hydrocarbon accumulations in low-permeability reservoirs Khadum formation Ciscaucasia. Geomodel 2016 — 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Gelendzhik, 12–15 September 2016. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602185>.
54. State of the Environment of the Caspian Sea. Report by the interim Secretariat of the Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea and the Project Coordination Management Unit of the “CaspEco” project. Iran, 2011. 102 p.

## REFERENCES

1. Aliiev A.A., Guliyev I.S., Dadashev F.G., Rakhmanov R.R. Atlas of mud volcanoes of the world. Baku: Nafta-Press, 2015. 323 p. (In Russ.).
2. Bayramova Sh.S., Taghiyeva Y.N., Babazadeh A.D. Micropaleontological studies of the maykop series, south-eastern edge of the Greater Caucasus (Azerbaijan). ANAS Transactions. Earth Sciences. 2021. No. 1. P. 56—74 (In Russ.).
3. Bogoyavlensky V.I., Kerimov V.Yu., Olkhovskaya O.O. Dangerous gas-saturated objects in the waters of the World Ocean: the Sea of Okhotsk. Neftyanoe Khozyaystvo. 2016. No. 6. P. 43—47 (In Russ.).
4. Buachidze G.I., Mkheidze B.S. Natural gases of Georgia. Tbilisi: Metsniereba, 1989. 155 p. (In Russ.).
5. Butaev A.M., Rybnikova V.I., Gadzhiev A.Z. Bacterial pollution of coastal waters of the Caspian Sea in the Makhachkala region. Vestn. DSC RAS. 1998. No. 1. P. 69—73 (In Russ.).
6. Valyaev B.M., Grinchenko Yu.I., Erokhin V.E. Isotope appearance of gases of mud volcanoes. Lithology and Minerals. 1985. No. 1. P. 72—87 (In Russ.).
7. Galimov E.M. Geochemistry of stable carbon isotopes. Moscow: Nedra, 1968. 226 p. (In Russ.).

8. Galimov E.M. Isotopes of carbon in oil and gas geology. Moscow: Nedra, 1973. 384 p. (In Russ.).
9. Gemp S.D., Dubrova N.V., Nesmelova Z.N. Isotope composition of carbon in carbon-containing gases (CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) mud volcanoes of the Kerch-Taman region. *Geochemistry*. 1970. No. 2. P. 243—247 (In Russ.).
10. *Geology of Azerbaijan*. Vol. VII. Oil and gas. Baku: Nafta-Press, 2008. 672 p. (In Russ.).
11. Glumov I.F., Malovitsky Ya.P., Novikov A.A. Regional geology and oil and gas potential of the Caspian Sea. Moscow: Nedra Business Center, 2004. 342 p. (In Russ.).
12. Guliyev I.S. Zonality of natural gases of Azerbaijan and gas-geochemical prospecting for oil and gas. Abstract of PhD dissertation (geology), Moscow, 1978. 24 p. (In Russ.).
13. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu. Hydrocarbon degassing of the Earth: monitoring, scale and geoecological consequences. *Actual problems of oil and gas*. 2018. Vol. 4(23). 79 p. (In Russ.).
14. Guliyev I.S., Mustaev R.N., Kerimov V.Yu., Yudin M.N. Degassing of the Earth: scale and implications. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 11. P. 38—42 (In Russ.).
15. Dadashev F.G. Gas content of the productive strata of the South-Eastern Caucasus. Baku: Elm, 1970. 150 p. (In Russ.).
16. Dadashev F.G., Guliyev I.S. Gas content of Mesozoic deposits and prospecting for new gas fields in the South Caspian Basin. In: *Essays on the geology of Azerbaijan*. Baku: Azerneshr, 1984. P. 126—147 (In Russ.).
17. Dadashev F.G., Guliyev I.S., Feyzullaev A.A. Geotectonic and geochemical features of the Earth degassing within geosynclinal regions. In: *Earth degassing and geotectonics*. Proceedings of the All-Union Symposium. Moscow, 1980. P. 116—123 (In Russ.).
18. Ivanov V.P., Sokolsky A.F. Scientific basis of protection strategy biological resources of the Caspian Sea from oil pollution. Astrakhan: KaspNIRKh Publishing House. 2000. 181 p. (In Russ.).
19. Istratov I.V. Oil and gas content and resource potential of the main sedimentary basins of the World Ocean. *Scientific and technical collection News of gas science*. 2013. No. 5(16). P. 32—42 (In Russ.).
20. Kadirov F.A., Safarov R.T. Earth's crust deformation in Azerbaijan and adjacent territories according to GPS measurements. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Azerbaijan. Earth Sciences*. 2013. No. 1. P. 47—55 (In Russ.).
21. Kasymov A.G. Ecology of the Caspian Lake. Baku, 1994. 237 p. (In Russ.).
22. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaev R.N., Khoshtariya V.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2017. No. 8. P. 36—41 (In Russ.).
23. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Dmitrievsky S.S., Yandarbiev N.Sh., Kozlova E.V. The shale hydrocarbons prospects in the low permeability khadam formation of the Pre-Caucasus. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2015. No. 10. P. 50—53 (In Russ.).
24. Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Mustaev R.N., Dmitrievsky S.S. Thermobaric conditions of hydrocarbons accumulations formation in the shale low-permeability oil reservoirs of khadam suite of the Ciscaucasia. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2016. No. 2. P. 8—11 (In Russ.).
25. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostyanoy A.G. Satellite methods for identifying and monitoring environmental risk zones in marine waters. Moscow: IKI RAS, 2016. 334 p. (In Russ.).
26. Lavrushin V.Yu. Subsurface fluids of the Greater Caucasus and its surrounding. Moscow: GEOS, 2012. 348 p. (In Russ.).
27. Lavrushin V.Yu., Polyak B.G. Sources of carbon-containing gases in mud volcanoes of the CIS. *New ideas in geology and geochemistry of oil and gas*. Moscow: GEOS, 1997. P. 67—70 (In Russ.).
28. Mastepanov A.M. From Covid “today” to low-carbon “tomorrow”: analysis of foreign forecasts for the development of global energy Georesources. 2021. No. 23(3). P. 42—52 (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.7>
29. Mironov O.G. Oil-oxidizing microorganisms in the sea. Kyiv: Naukova Dumka, 1971. 234 p. (In Russ.).
30. Mityagina M.I., Lavrova O.Yu. Long-term integrated satellite monitoring of surface pollution in the Baltic and Caspian Seas. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2012. Vol. 9. No. 5. P. 269—288 (In Russ.).
31. Nemirovskaya I.A. Levels and genesis of hydrocarbons in coastal areas of the Russian sector of the Black Sea. *Proceedings of the State Oceanographic Institute*. 2019. No. 220. P. 221—243 (In Russ.).
32. Patin S.A. Oil and the ecology of the continental shelf. Moscow: Publishing house VNIRO, 2001. 247 p. (In Russ.).
33. Patin S.A. Oil and ecology of the continental shelf: in 2 volumes. 2nd revised and supplemented ed. Volume 1: Marine oil and gas complex: status, prospects, influencing factors. Moscow: VNIRO Publishing House, 2017. 326 p. (In Russ.).
34. Ruban L.S. Ensuring energy and environmental security of the Caspian region. *Ecological Bulletin of Russia*. 2013. No. 11. P. 20—23 (In Russ.).
35. Salmanov M.A. Ecology and biological productivity of the Caspian Sea. Baku, 1999. 400 p. (In Russ.).
36. Tsogoev V.B. Hydromineral resources of North Ossetia. Ordzhonikidze: Ir publ. house. 1969. 419 p. (In Russ.).
37. Chelidze T.L. Thermodynamic conditions and petrophysical models of sections of the Caucasus earth's crust. In: *The structure of the earth's crust of the Georgia territory according to seismic and magnetic data*. Tbilisi: Metsniereba, 1983. P. 97—115 (In Russ.).
38. Ekzaryan V.N., Rukavitsyn V.V. Methodology for assessing the risk of environmental pollution as a

- result of accidents at hazardous industrial facilities. Exploration and protection of mineral resources. 2021. No. 1. P. 66—69 (In Russ.).
39. Abolfazl Naji, Tooraj Sohrabi. Distribution and contamination pattern of heavy metals from surface sediments in the southern part of Caspian Sea, Iran, Chemical Speciation & Bioavailability, 2015. No. 27(1). P. 29—43. <https://doi.org/10.1080/09542299.2015.1023089>
  40. Agha Bayramov. Conflict, cooperation or competition in the Caspian Sea region: A critical review of the New Great Game paradigm. Caucasus Survey. 2021. No. 9(1). P. 1—20. <https://doi.org/10.1080/23761199.2020.1774856>
  41. Arora N.K. Bioremediation: a green approach for restoration of polluted ecosystems. Environmental Sustainability. 2018. No. 1. P. 305—307.
  42. Batstone B., Belford S. Oil and Gas: Exploration and Risk. In The Future of Ocean Governance and Capacity Development. Leiden, The Netherlands: Brill | Nijhoff, 2019.
  43. Butler J.H., Montzka S.A. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Published online Spring, 2018, URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html> (дата обращения: 09.07.2024).
  44. Gertler C., Näther D.J., Cappello S., Gerdt G., Quilliam R.S., Yakimov M.M., Golyshin P.N. Composition and dynamics of biostimulated indigenous oil-degrading microbial consortia from the Irish, North and Mediterranean Seas: a mesocosm study. FEMS Microbiology Ecology. 2012. Vol. 81, no. 3. P. 520—536.
  45. Friedlingstein P., Jones M.W. Global Carbon Budget 2019. Earth Syst. Sci. Data. 2019. Vol. 11. P. 1783—1838.
  46. Guliev I.S., Kerimov V.Y., Etirmishli G.D., Yusubov N.P., Mustaev R.N., Huseynova A.B. Modern geodynamic processes and their impact on replenishment of hydrocarbon resources in the Black Sea — Caspian Region. Geotectonics. 2021. No. 55. P. 393—407.
  47. Hsueh D.Y., Krakauer N.Y., et al. Regional patterns of radiocarbon and fossil fuel-derived CO<sub>2</sub> in surface air across North America. Geophysical Research Letters. 2007. Vol. 34. L02816.
  48. Kerimov V.Yu., Leonov M.G., Mustaev R.N. Structural-tectonic model of hydrocarbons formation in the basement of the Vietnam shelf. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 459(4). P. 42—91. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/4/042091>
  49. Kerimov V.Yu., Leonov M.G., Osipov A.V., Mustaev R.N., Hai V.N. Hydrocarbons in the basement of the South China Sea (Vietnam) shelf and structural-tectonic model of their formation. Geotectonics. 2019. Vol. 53, no. 1. P. 42—59. <https://doi.org/10.1134/S0016852119010035>
  50. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust. Doklady Earth Sciences. 2018. Vol. 483. Part 1. P. 1413—1417.
  51. Lapidus A.L., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural Bitumens: physicochemical properties and production technologies. Solid Fuel Chemistry. 2018. Vol. 52. No. 6. P. 344—355.
  52. MacDonald I.R. Natural oil spills. Scientific American. 1998. No. 279(5). P. 51.
  53. Mustaev R.N., Kerimov V.Yu., Shilov G.Y., Dmitrievsky S.S. Modeling of thermobaric conditions formation of the shale hydrocarbon accumulations in low-permeability reservoirs Khadum formation Ciscaucasia. Geomodel 2016 — 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Gelendzhik, 12–15 September 2016. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602185>.
  54. State of the Environment of the Caspian Sea. Report by the interim Secretariat of the Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea and the Project Coordination Management Unit of the “CaspEco” project. Iran, 2011. 102 p.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Алиев Э.М. — участвовал в подготовке текста статьи, оформил и выполнил перевод статьи на английский язык и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гурянов С.А. — участвовал в подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Беляева А.С. — внесла вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Emin M. Aliyev — participated in the preparation of the text of the article, designed and translated the article into English and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Sanan A. Guryanov — participated in the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Albina S. Belyaeva — made the main contribution to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Эмиль Малик оглы Алиев** — диссертант, научный сотрудник Института нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики. 9, ул. Ф. Амирова, г. Баку, AZ1000, Азербайджан  
e-mail: [emil.aliyev07@gmail.com](mailto:emil.aliyev07@gmail.com)  
тел.: (+994 12) 4922843

**Emin M. Aliyev** — dissertator, researcher, Institute of Oil and Gas of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan. 9, F. Amirov st., Baku, AZ1000, Azerbaijan  
e-mail: [emil.aliyev07@gmail.com](mailto:emil.aliyev07@gmail.com)  
tel.: (+994 12) 4922843

**Гурьянов Санан Агилевич\*** — старший преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [guryanovsa@mgri.ru](mailto:guryanovsa@mgri.ru)  
тел.: +7 (903) 187-88-88  
SPIN-код: 1663-2705  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1833-8320>

**Sanan A. Guryanov\*** — Senior Lecturer at the Department of Geology and exploration of hydrocarbon deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia.  
e-mail: [guryanovsa@mgri.ru](mailto:guryanovsa@mgri.ru)  
tel.: +7 (903) 187-88-88  
SPIN-code: 1663-2705  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1833-8320>

**Беляева Альбина Сагитовна** — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [belyaevaas@mgri.ru](mailto:belyaevaas@mgri.ru)  
тел.: +7 (960) 300-32-66  
SPIN-код: 6647-6275

**Albina S. Belyaeva** — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), professor of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23 Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117997, Russia  
e-mail: [belyaevaas@mgri.ru](mailto:belyaevaas@mgri.ru)  
tel.: +7 (960) 300-32-66  
SPIN-code: 6647-6275

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-127-136>  
УДК 550.8.013



## МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.А. ГРАБСКИЙ<sup>1,\*</sup>, А.А. РОЖКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России  
12, ул. 8 Марта, г. Москва 127083, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Актуальность статьи определяется современной внешнеполитической и экономической ситуациями в стране, что многократно актуализирует проблему по достижению технологического суверенитета и совершенствованию инвестиционного законодательства. В его состав входит и законодательство о специальном инвестиционном контракте (СПИК), являющемся одной из форм государственно-частного партнерства, которое приоритетно должно быть направлено на преодоление технологического разрыва и импортозависимости путем реализации поэтапного импортозамещения и инновационного развития российской угольной промышленности и отечественного горного машиностроения.

**Цель:** оценка возможностей использования специального инвестиционного контракта как механизма для стимулирования инвестиций и технологических инноваций в процессе импортозамещения зарубежного горного оборудования в условиях антироссийских санкций.

**Материалы и методы.** Исследование базировалось на системном подходе, методах экспертных оценок, технологического форсайта, логического и сравнительного анализов, экономико-статистической обработки информации, включая ее табличную интерпретацию. Информационной базой исследования явились данные угольных компаний, АО «Росинформуголь», интернет-источники и публикации в открытой печати.

**Результаты.** Выполнены оценка уровня импортозависимости угольной промышленности России от использования зарубежного горного оборудования и оценка возможностей использования СПИК для стимулирования инвестиций и технологических инноваций в процессе импортозамещения зарубежного горного оборудования в условиях антироссийских санкций. Выявлены наиболее критичные в части зависимости от поставок импортного горного оборудования позиции и даны предложения по возможным площадкам для привлечения инвесторов через механизм СПИК для локализации основного технологического горного оборудования и комплектующих.

**Заключение.** Проведенная оценка возможности использования стимулирующих механизмов показала, что в процессе импортозамещения горно-шахтного оборудования наиболее эффективным будет использование СПИК. При этом следует отметить, что современная внешнеполитическая и экономическая ситуация в стране сильно актуализирует проблему по совершенствованию инвестиционного законодательства, в состав которого входит и законодательство о СПИК, являющемся одной из форм государственно-частного партнерства, которое приоритетно должно быть направлено на преодоление технологического разрыва и импортозависимости путем реализации поэтапного импортозамещения и инновационного развития российской угольной промышленности и отечественного горного машиностроения.

**Ключевые слова:** импортозависимость, специальный инвестиционный контракт (СПИК), импортозамещение, горное оборудование

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Грабский А.А., Рожков А.А. Механизм стимулирования импортозамещения горного оборудования. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(3):127—136. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-127-136>

Статья поступила в редакцию 15.08.2024

Принята к публикации 09.09.2024

Опубликована 30.09.2024

\* Автор, ответственный за переписку

## INCENTIVE MECHANISM FOR IMPORT SUBSTITUTION OF MINING EQUIPMENT

ALEXANDR A. GRABSKI<sup>1,\*</sup>, ANATOLY A. ROZHKOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

<sup>2</sup> *Russian Energy Agency of the Ministry of Energy of Russia  
12, st. March 8, Moscow 127083, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** The current geopolitical and economic situation makes the task of attaining the technological sovereignty of Russia particularly relevant. This also concerns the need to improve the current investment legislation in the country, including in the field of special investment contracts (SPIC). The SPIC is a form of public–private partnership, which should be primarily aimed at overcoming the technological gap and import dependence through the implementation of a phased import substitution and innovative development of the Russian coal industry and domestic mining machine building. **Aim.** To estimate the possibilities of using SPIC as a mechanism to stimulate investment and technological innovation in the process of import substitution of foreign mining equipment in the context of anti-Russian sanctions.

**Materials and methods.** The research was based on the methods of system analysis, expert evaluation, technological foresight, logical and comparative analysis, economic and statistical processing of information, including its tabular interpretation. The data of coal companies and Rosinformmugol JSC, as well as those retrieved from Internet sources and open-access publications, were used.

**Results.** The level of import dependence of the Russian coal industry on foreign mining equipment was evaluated. The possibility of using SPIC to stimulate investment and technological innovation in the process of import substitution of foreign mining equipment in the context of anti-Russian sanctions was estimated. The most critical positions in terms of dependence on imported mining equipment supplies were identified; proposals were made for possible sites to attract investors through the SPIC mechanism for localization of key technological mining equipment and components.

**Conclusion.** The conducted estimation of the possibility of using incentive mechanisms showed SPIC to be an effective mechanism to stimulate the process of import substitution of mining equipment. It should be noted that the current geopolitical and economic situation makes the task of improving investment legislation, which also covers SPIC regulation, particularly important.

**Keywords:** import dependence, special investment contract (SPIC), import substitution, mining equipment

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Grabski A.A., Rozhkov A.A. Incentive mechanism for import substitution of mining equipment. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2024;66(3):127—136. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-127-136>

Manuscript received 15 August 2024

Accepted 09 September 2024

Published 30 September 2024

\* Corresponding author

В Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 июня 2020 г. № 1582-р) предусмотрено, что в условиях высокой зависимости от импортного технологического оборудования и связанных с ней рисков для поддержания необходимой конкурентоспособности угольных компаний требуется стимулирование производителей и потребителей в локализации производства на территории Российской Федерации иностранного технологического оборудования, обеспечивающего высокие нагрузки и безопасные условия ведения горных работ, включая использование такой формы государственно-частного партнерства, как специальный инвестиционный контракт [5]. СПИК — это инструмент промышленной политики государства, нацеленный на привлечение частных инвестиций с предоставлением со стороны государства неких преференций, предусмотренных действующим законодательством, в том числе и при реализации политики импортозамещения [1, 2, 7, 9].

#### **Анализ структуры парка основного технологического оборудования на шахтах и разрезах России**

Результаты анализа показывают, что до сих пор продолжается многолетняя тенденция роста импортозависимости угольной промышленности от закупок, наличия и использования зарубежного горно-шахтного и горнотранспортного оборудования, средняя доля использования которого в целом по отрасли составляет порядка 80%, в том числе на подземных работах около 60% и на открытых работах около 90%.

При этом в период 2019—2021 гг. в условиях пандемии COVID-19 и антироссийских санкций средняя доля наличия импортного оборудования в целом по отрасли несколько снизилась относительно предыдущего года за счет ее снижения, прежде всего на шахтах в связи с низкой инвестиционной активностью угольных компаний в сфере закупок и обновления импортного оборудования. Но в целом динамике этого показателя соответствует и долговременная тенденция роста объемов добычи угля и среднемесячной производительности труда за счет более экономичного,

производительного и безопасного открытого способа добычи и применения более производительного и надежного импортного оборудования.

За последние 10 лет удельный вес открытого способа добычи вырос с 70 до 77% при одновременном снижении подземного способа добычи угля за этот период с 30 до 23%. Среднемесячная производительность труда рабочего по добыче угля на открытых горных работах выросла за 10 последних лет в 1,6 раза, на подземных горных работах — в 1,5 раза, а в целом по угольной промышленности России — в 1,6 раза.

Естественно, что достичь таких показателей развития отечественной угольной отрасли без закупки и использования высокопроизводительного импортного горно-шахтного и горнотранспортного оборудования известных мировых его производителей было бы невозможно.

В таблице 1 приведены данные по наличию и использованию импортного основного технологического оборудования на шахтах и разрезах России с предлагаемым авторами условным уровнем оценки импортозависимости [7, 8].

Наиболее критичными в части зависимости от поставок импортного горного оборудования можно считать следующие позиции, для которых доля импортного оборудования составляет более 60% от общего количества в наличии для подземных горных работ: механизированные крепи (70,2%), очистные комбайны (92,1%), погрузочные машины (67,6%) и дизель-возы (100%); для открытых горных работ — вся номенклатура оборудования, за исключением однокорпусных экскаваторов (табл. 1).

В условиях глобализации и международного разделения труда, несмотря на международное санкционное давление на российскую экономику, не удастся полностью избежать импортозависимости по многим видам горно-шахтного и горнотранспортного оборудования и комплектующим для их производства. Поэтому поддержание конкурентоспособного состояния угольной отрасли на основе рациональных соотношений используемого импортного и российского технологического оборудования при открытой и подземной добыче угля, а также при переработке угля необходимо осуществлять на базе локализации производства,

**Таблица 1.** Оценка уровня импортозависимости от поставок зарубежного горного оборудования по доле в общем его наличии на шахтах и разрезах России (анализ авторов)

**Table 1.** Assessment of the level of import dependence on the supply of foreign mining equipment by its share in the total availability at mines and mines in Russia (authors' analysis)

Горное оборудование	Импортовое в наличии, %	Импортовое в работе, %	Условный уровень импортозависимости
<b>ШАХТЫ</b>			
Механизированные крепи	70,2	78,5	Критический (>60%)
Очистные комбайны	92,1	95,0	Критический (>60%)
Проходческие комбайны	44,8	41,2	Умеренный (от 40 до 60%)
Погрузочные машины	67,6	82,5	Критический (>60%)
Скребковые конвейеры	6,0	4,5	Нет
Ленточные конвейеры	7,6	7,4	Нет
Электровозы	77,3	84,5	Критический (>60%)
Дизелевозы	100,0	100,0	Критический (>60%)
Вагонетки	6,2	7,6	Нет
Толкатели вагонеток	0	0	Нет
<b>РАЗРЕЗЫ</b>			
Одноковшовые экскаваторы	58,2	60,3	Умеренный (от 40 до 60%)
Многоковшовые экскаваторы	100	100	Критический (>60%)
Погрузчики	96,7	97,9	Критический (>60%)
Буровые станки	64,3	67,9	Критический (>60%)
Бульдозеры 25 тс и выше	87,7	88,0	Критический (>60%)
Автомобили до 30 т	90,8	88,1	Критический (>60%)
Автомобили 31—50 т	96,9	96,5	Критический (>60%)
Автомобили 51—110 т	95,7	97,0	Критический (>60%)
Автомобили 111—180 т и выше	100	100	Критический (>60%)

Источник: составлено авторами.

прежде всего запасных частей и комплектующих к имеющемуся в наличии зарубежному горно-шахтному и горнотранспортному оборудованию, а также путем его полноценной локализации на территории России с привлечением дружественных стран, в частности китайских производителей.

Следует констатировать, что ранее провозглашенный курс на импортозамещение в горном машиностроении не принес тех результатов, которые ожидали увидеть отечественные производители горно-шахтного и горнотранспортного оборудования. Это связано в первую очередь с менталитетом самих потребителей — угольных компаний. С одной стороны, сложилось устойчивое мнение, что российские машиностроители сегодня уже не в состоянии выпускать надежную, качественную и конкурентоспособную продукцию, необходимую для дальнейшего экспортно

ориентированного развития угольной промышленности России, и поэтому потребители отдавали приоритет импортному оборудованию известных мировых брендов.

Существующая политико-экономическая ситуация в условиях санкций практически исключает нормальные условия кредитования для основной массы предприятий угольной отрасли и ограничивает возможности закупки (у недружественных стран) нового импортного горно-шахтного, горнотранспортного и обогатительного оборудования и соответствующих комплектующих к зарубежному оборудованию, эксплуатируемому на российских шахтах и разрезах. В этой связи первоочередной задачей является поддержание работоспособности имеющегося на балансах угольных компаний отечественного и импортного оборудования, средний износ которого на шахтах составляет порядка 54%, а на разрезах — около 52%.

Для снижения импортозависимости угольной отрасли необходимо масштабное создание на принципах кооперации и локализации с зарубежными производителями дружественных стран (Китай, Индия, Белоруссия) совместных производств и сервисных центров на базе интеграции местных производственных, научных и трудовых ресурсов с зарубежными компаниями-инвесторами.

#### **Оценка возможностей использования СПИК для стимулирования инвестиций и технологических инноваций в процессе импортозамещения зарубежного горного оборудования в условиях антироссийских санкций**

Механизм реализации инвестиционных проектов на основе специальных инвестиционных контрактов (СПИК) был введен в правовой оборот Федеральным законом от 31 декабря 2014 г. № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» [10]. В 2019 году вступили в силу нормы Закона о совершенствовании механизма СПИК, что позволило объявить о перезапуске концепции — так называемом СПИК 2.0 [11].

Механизм реализации СПИК представлен в двух вариантах:

- механизм СПИК 1.0 применяется для инвестиционных проектов по созданию либо модернизации и (или) освоению производства промышленной продукции;
- механизм СПИК 2.0 применяется для инвестиционных проектов по внедрению или разработке и внедрению современной технологии из утвержденного перечня в целях освоения серийного производства промышленной продукции на основе этой технологии.

По СПИК 1.0 инвестор вправе получить преференции, схожие с теми, что предусмотрены по СПИК 2.0: гарантии стабильности налоговых и регуляторных условий; налоговые льготы; упрощенное приобретение статуса «Сделано в России»; возможность применения ускоренной амортизации; особые условия аренды публичных земельных участков; отраслевые субсидии и пр.

В таблице 2 приведены принципиальные отличия этих двух механизмов СПИК. СПИК 1.0 был направлен преимущественно на стимулирование капитальных вложений. В соответствии с Федеральным законом от 02.08.2019 № 290-ФЗ заключение СПИК 1.0 было прекращено, однако взамен вводился СПИК 2.0.

Этот вид СПИК направлен не столько на поощрение вложений в основные средства, сколько на внедрение современных технологий производства, которые конкурентоспособны на мировом уровне. В связи с этим в рамках СПИК 2.0 пороговая сумма вложений не используется, вместо чего было введено обязательное требование о внедрении технологии производства из перечня, специально утверждаемого Правительством РФ (Распоряжение от 28 ноября 2020 г. № 3143-р).

Заключение СПИК возможно только в том случае, когда технология, внедрение которой планируется в результате реализации СПИК, включена в этот перечень современных технологий, который первоначально насчитывал 630 видов современных технологий, предлагаемых для внедрения инвестору.

Анализ данного перечня выявил, что в части оборудования для добычи твердых полезных ископаемых подземным способом для заключения СПИК предлагаются:

- технология производства бурового оборудования и породоразрушающего инструмента из деформирующих сплавов и композитных материалов с памятью формы;
- технология выработки на основе схемы проведения спаренных забоев комбайнами фронтального типа (МВ 670, 12СМ15, 12СМ18);
- технология крепления горной выработки анкероустановщиков на гусеничном ходу минимальных габаритов;
- технология скоростной проходки горных выработок и эффективной отработки трудноизвлекаемых запасов пластовых угольных месторождений и алмазосодержащих россыпей подземным способом на основе роботизированных модулей в составе комплексов оборудования для добычи полезных ископаемых подземным способом.

В части развития открытых горных работ по добыче твердых полезных ископаемых в этот перечень включена только одна технология по созданию производства автономной карьерной автотехники для реализации технологии безлюдной добычи полезных ископаемых грузоподъемностью от 75 до 220 тонн.

Кроме того, предлагается ряд технологий для машиностроительного производства, а также по внедрению цифровых технологий, в частности:

- технология сварки несущих конструкций горно-обогатительного оборудования с использованием автоматизированных сварочных комплексов, управляемых контроллерами с программируемой логикой (PLC);

**Таблица 2.** Принципиальные отличия двух механизмов СПИК  
**Table 2.** The fundamental differences between the two mechanisms of a special investment contract

Критерий	СПИК 2.0	СПИК 1.0
Цель инвестора	Создать либо модернизировать или освоить производство промышленной продукции	Создать серийное производство промышленной продукции на основе современной технологии
Объем инвестиций	750 млн руб. (без НДС)	Требования не установлены
Участники	Инвестор, привлеченное лицо, или: • РФ; • РФ с субъектом РФ и муниципальным образованием	Инвестор, а также совместно: РФ, субъект РФ и муниципальное образование
Процедура заключения контракта	Заявительный порядок	Конкурсный отбор, с предварительным согласованием места производства продукции
Региональное законодательство	Требования не установлены	На уровне субъекта РФ должны быть регламентированы меры стимулирования и порядок их применения
Гарантии стабильности	Для применения стабильности условий хозяйственной деятельности необходимо специальное указание в законе. По общему правилу гарантии не распространяются на региональные запреты и ограничения	Гарантии стабильности в отношении регуляторных требований запретов применяются в силу прямого указания закона
Предельный объем господдержки	Требования не установлены	Поддержка прекращается, если объем расходов и недополученных доходов бюджетов всех уровней на меры поддержки превысит 50% от запланированных капитальных вложений в проект
Срок контракта	До 10 лет	• До 15 лет, если инвестиции не превышают 50 млрд руб. (без НДС) • До 20 лет при объеме инвестиций свыше 50 млрд руб. (без НДС)

Источник: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/krupneyshie-promyshlennye-proekty-v-ramkakh-spik/> (по данным Минпромторга России).

- технология автоматизации и роботизации горнодобывающей, строительной и специальной техники;
- и другие.

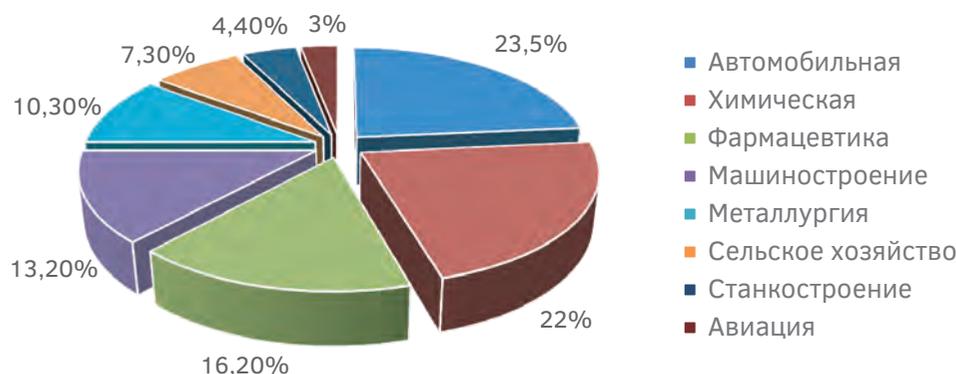
Однако с точки зрения стимулирования импортозамещения зарубежного оборудования для подземной и открытой добычи, в частности угля, конкретных технологий по созданию в отечественном машиностроении и внедрению российских аналогов в данном базовом перечне не было предусмотрено. Соответственно, и нет до сих пор заключенных СПИК в сфере импортозамещения горного оборудования.

Согласно данным публичного Реестра заключенных СПИК Минпромторга России, из 68 инвестиционных проектов самое большое количество приходится на автомобильную промышленность (16 проектов), затем следуют химическая промышленность (15 проектов), фармацевтика и медицина

(11 проектов), машиностроение (9 проектов), металлургия и материалы (7 проектов), 5 проектов с/х машин, 3 проекта — станкостроение, на авиационную промышленность приходятся только 2 проекта (рис. 1).

СПИК на сегодня заключены практически со всеми крупнейшими компаниями, осуществляющими в стране производство колесных транспортных средств. Новые критерии позволят обеспечить автопроизводителей, производство которых локализовано в России, оборотными средствами в условиях вызовов и угроз российской экономике.

В сфере деятельности Минэнерго России в настоящее время делаются только первые шаги по использованию механизма СПИК. Приказом министерства от 31.03.2022 г. № 278 утверждена специальная форма инвестиционного контракта применительно к нефтеперерабатывающей, газоперерабатывающей, нефтегазохимической,



Источник: по данным ГИСП Минпромторга России.

**Рис. 1.** Отраслевая структура заключенных СПИК (по состоянию на конец 2022 года)

**Fig. 1.** Industry structure of concluded special investment contracts (as of the end of 2022)

угольной и электроэнергетической отраслям промышленности, а приказом № 757 от 04.08.2022 г. образована рабочая группа по вопросам снижения зависимости угольной промышленности от импорта оборудования, комплектующих, технологий и услуг (работ).

В рамках деятельности этой рабочей группы целесообразно в ближайшее время организовать создание:

- базы (реестра) импортозамещаемой продукции машиностроительными региональными предприятиями, в котором содержится информация о номенклатуре выпускаемой продукции, ее импортном аналоге и каким локальным предприятием она производится;

- банка «дорожных карт» по приоритетным видам горно-машиностроительной продукции, выделенной из перечней импортозамещения, с учетом технических и технологических возможностей российских машиностроительных предприятий;

- технических заданий с указанием ориентировочной годовой потребности по основным видам горно-шахтного и горнотранспортного оборудования, по которым существует критическая зависимость от импорта.

Механизм СПИК как инструмент промышленной политики, направленный на стимулирование инвестиций в промышленное производство, должен массово реализовываться прежде всего в регионах ресурсного типа, где производится продукция отраслей российского ТЭКа, который продолжает составлять базу экономики страны, но при этом характеризуется низким уровнем инноваций и эффективности использования ресурсов [12, 13].

### Основные выводы и рекомендации

Таким образом, за 5 лет своего существования специальные инвестиционные контракты как вид финансового инструмента стимулирования промышленного развития прочно закрепились в отечественной экономической сфере. Говорить о результативности этого финансового инструмента пока рано, поскольку подавляющее большинство СПИК находится в стадии реализации. Вместе с тем высокий уровень спроса на заключение таких контрактов (по информации Минпромторга России) позволяет сделать вывод о его привлекательности со стороны российских деловых кругов, а также о возможности и необходимости использования специальных инвестиционных контрактов при разработке и реализации Программы развития производства отечественного горного оборудования.

В частности, возможными площадками для привлечения инвесторов через механизм СПИК для локализации основного технологического горного оборудования и комплектующих к нему могут явиться:

- находящийся в стадии банкротства Юргинский машиностроительный завод, ЗАО «Узловский машиностроительный завод» и ООО «Копекс-Сибирь» (г. Новокузнецк) — производство механизированных крепей (секций) и очистных комбайнов;

- АО «Копейский машиностроительный завод» — производство проходческих комбайнов и погрузочных машин нового технического уровня;

- ПАО «Уралмашзавод», ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова» (С.-Петербург) — производство одноковшовых гидравлических экскаваторов;

- ОАО «Промтрактор» (г. Чебоксары), АО «Петербургский тракторный завод», ООО «Челябинский тракторный завод — УРАЛТРАК» — производство одноковшовых фронтальных погрузчиков и мощных бульдозеров нового технического уровня;

- ОАО «Рудгормаш» (г. Воронеж), ОАО «Бузулукский завод тяжелого машиностроения» (БЗТМ) г. Бузулук (Оренбургская область), ОАО «Ижорские заводы» (С.-Петербург) — буровые станки;

- ПАО «КАМАЗ» (г. Набережные Челны), ООО МЗ «Тонар» — технологические автомобили грузоподъемностью до 30 тонн.

Решение задач развития современного отечественного горного машиностроения и снижения уровня импортозависимости угольной промышленности от зарубежного оборудования немыслимо без участия в этом процессе всех заинтересованных сторон:

- государства на федеральном и региональном уровнях; машиностроительных предприятий — производителей горного оборудования;

- угольных компаний; учебных заведений, осуществляющих соответствующую подготовку кадров, необходимых для решения проблемы импортозамещения, включая:

- увеличение выпуска инженеров-конструкторов — выпускников специалитета и прикладных форм бакалавриата и магистратуры как по горным машинам, так и по специальностям машиностроения;

- определение и развитие приоритетных направлений вузовского образования для решения задач конструирования, производства и эксплуатации отечественного горно-шахтного, горнотранспортного и обогатительного оборудования и последующего снижения импортозависимости угольной отрасли России;

- включение в программу обучения инженеров-конструкторов дисциплин, освещающих последние достижения науки, техники, технологии, конструкционных материалов, программного обеспечения;

- выявление приоритетных профессиональных компетенций горных инженеров-конструкторов и обеспечение их развития [8].

Анализ возможностей использования механизмов стимулирования импортозамещения при производстве горно-шахтного оборудования позволил установить следующее.

В настоящее время в Российской Федерации действует достаточно широкий спектр нормативно-правовых актов, направленных на обеспечение развития промышленности, в том числе и горного машиностроения. Указанные документы определяют основы промышленной политики России, развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности, критерии отнесения промышленной продукции к промышленной продукции, не имеющей аналогов, произведенных в Российской Федерации, и др. При этом основной задачей нормативно-правового обеспечения промышленной политики в условиях санкционного давления на российскую экономику является поддержка импортозамещения и экспортоориентированных предприятий, конкурентоспособных на перспективных рынках присутствия.

В соответствии с действующим законодательством предусмотрен целый ряд финансовых инструментов стимулирующего характера, которые могут быть использованы в процессе импортозамещения горно-шахтного оборудования. К ним относятся: связанные кредиты; лизинг оборудования; субсидирование процентных ставок для производителей оборудования; специальные инвестиционные контракты.

Проведенная оценка возможности использования вышеперечисленных стимулирующих механизмов показала, что в процессе импортозамещения горно-шахтного оборудования наиболее эффективным будет использование СПИК [3, 6]. При этом следует отметить, что современная внешнеполитическая и экономическая ситуация в стране очень актуализирует проблему по совершенствованию инвестиционного законодательства, в состав которого входит и законодательство о СПИК, являющемся одной из форм государственно-частного партнерства, которое приоритетно должно быть направлено на преодоление технологического разрыва и импортозависимости путем реализации поэтапного импортозамещения и инновационного развития российской угольной промышленности и отечественного горного машиностроения [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Евстафьева Ю.В.* Опыт применения и совершенствования специального инвестиционного контракта. Вестник Института экономики РАН. 2019. № 3. С. 152—167.
2. *Исаев А.Г.* Реформа механизма специальных инвестиционных контрактов в Российской Федерации: сравнение налоговых льгот до и после. Право и государство: теория и практика. 2021. № 1(193). С. 70—74.

3. *Кванина В.В.* СПИК как инструмент импортозамещения в Российской Федерации в условиях обновленного санкционного режима. Вестник ЮУрГУ. Серия «Право». 2022. Т. 22. № 2. С. 52—59.
4. *Панов Ю.П., Грабский А.А., Рожков А.А.* Современное состояние и перспективы развития цифровых технологий в угольной промышленности России. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. № 5 (65). С. 8—21. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-5-8-21>
5. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.06.2020 № 1582-р. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/433>
6. *Рожков А.А., Гоосен Е.В., Гоосен О.К.* Специальный инвестиционный контракт как стратегический инструмент трансформации угольной отрасли. Теория и практика стратегирования: сб. избр. науч. статей и мат-лов VI Междунар. науч.-практ. конф. (19—21 марта 2023 г.). Том XI. Кн.а I. Кузбасский Университариум стратега. Кемерово: КемГУ, 2023. С. 240—251. <https://doi.org/10.21603/978-5-8353-3015-7>
7. *Рожков А.А., Кантович Л.И., Грабский А.А., Грабская Е.П.* К вопросу импортозамещения и локализации производства основного технологического оборудования в угольной промышленности России. Горное оборудование и электромеханика. 2018. № 2 (136). С. 50—57.
8. *Рожков А.А., Карпенко С.М.* Оценка уровня импортозависимости угольной промышленности России и подготовки инженерных кадров для импортозамещения горного оборудования. Горная промышленность. 2020. № 4. С. 24—36.
9. *Тихонова А.В.* Применение специального инвестиционного контракта в условиях реализации политики импортозамещения. Экономика. Налоги. Право. 2019. Т. 12. № 6. С. 144—153. <https://doi.org/10.26794/1999-849X-2019-12-6-144-153>
10. Федеральный закон «О промышленной политике в Российской Федерации» от 31 декабря 2014 г. № 488-ФЗ. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс» URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_173119/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173119/) (дата обращения: 03.05.2024).
11. Федеральный закон от 02.08.2019 № 290-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О промышленной политике в Российской Федерации». Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс» URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_330685/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_330685/) (дата обращения: 03.05.2024).
12. *Goosen E.V., Nikitenko S.M., Rada A. O., Nikitina O.I.* Esilience of the Russian coal industry in the context of energy transition and decarbonization. Eurasian Mining. 2022. № 2(38). pp. 20—24. <https://doi.org/10.17580/em.2022.02.05>
13. *Nikitenko S.M., Goosen E.V., Fedulova E.A., Rada A.O.* Modeling flexible value chains within the framework of clean coal technologies. Eurasian Mining. 2022. № 2(38). pp. 25—29. <https://doi.org/10.17580/em.2022.02.06>

## REFERENCES

1. *Evstafieva Yu.V.* Experience of application and development of special investment contract. Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences. 2019. No. 3. P. 152—167 (In Russ.).
2. *Isaev A.G.* Reform of the mechanism of special investment contracts in Russia: comparison of tax incentives before and after the reform. Law and the State: theory and practice. 2021. No. 1(193). P. 70—74. (In Russ.).
3. *Kvanina V.V.* SPIC as a tool for import substitution in the Russian Federation under the updated sanctions regime. Bulletin of SUSU. Series “Law”. 2022. Т. 22, No. 2. P. 52—59 (In Russ.).
4. *Panov Yu.P., Grabsky A.A., Rozhkov A.A.* Current state and prospects for digitalization of the Russian coal industry. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2023. (5). P. 8—21. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-5-8-21> (In Russ.).
5. Development program of the Russian coal industry for the period until 2035: approved. by order of the Government of the Russian Federation dated June 13, 2020 No. 1582-r (In Russ.). URL: <https://minenergo.gov.ru/node/433>
6. *Rozhkov A.A., Goosen E.V., Goosen O.K.* A special investment contract as a strategic tool for the trans-
- formation of the coal industry. Theory and practice of strategizing: collection of selected scientific articles. articles and materials of the VI International Scientific and Practical Conference (March 19-21, 2023). Volume XI. Book A. I. Kuzbass Strategist’s Universitarium. Kemerovo: KemSU, 2023. pp. 240—251. <https://doi.org/10.21603/978-5-8353-3015-7> (In Russ.).
7. *Rozhkov A.A., Kantovich L.I., Grabsky A.A., Grabskaya E.P.* To the question of import substitution and localization of production of the main technological equipment in the coal industry of Russia. Mining equipment and electromechanics. 2018. No. 2 (136). P. 50—57 (In Russ.).
8. *Rozhkov A.A., Karpenko S.M.* Assessment of the level of import dependence of the Russian coal industry and the training of engineering personnel for import substitution of mining equipment. Mining industry. 2020. No. 4. P. 24—36 (In Russ.).
9. *Tikhonova A.V.* Special investment agreement application within the framework of import substitution policy implementing. Economy. Taxes. Right. 2019. Т. 12. № 6. P. 144—153. <https://doi.org/10.26794/1999-849X-2019-12-6-144-153> (In Russ.).
10. Federal Law “On Industrial Policy in the Russian Federation” dated December 31, 2014 No. 488-FZ. Access from the ConsultantPlus legal reference

## ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ / GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

- system URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_173119](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173119) (accessed 05/03/2024).
11. Federal Law No. 290-FZ dated 08/02/2019 “On Amendments to the Federal Law “On Industrial Policy in the Russian Federation”. Access from the ConsultantPlus legal reference system URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_330685](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_330685) (accessed 05/03/2024).
  12. Goosen E.V., Nikitenko S.M., Rada A. O., Nikitina O.I. Esilience of the Russian coal industry in the context of energy transition and decarbonization. *Eurasian Mining*. 2022. № 2(38). pp. 20—24. <https://doi.org/10.17580/em.2022.02.05>.
  13. Nikitenko S.M., Goosen E.V., Fedulova E.A., Rada A.O. Modeling flexible value chains within the framework of clean coal technologies. *Eurasian Mining*. 2022. № 2(38). pp. 25—29. <https://doi.org/10.17580/em.2022.02.06>.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Грабский А.А. — выполнил оценку возможностей использования СПИК для стимулирования инвестиций и технологических инноваций в процессе импортозамещения зарубежного горного оборудования, предложил возможные площадки для привлечения инвесторов через механизм СПИК для локализации основного технологического горного оборудования и комплектующих к нему. Подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Рожков А.А. — выполнил анализ структуры парка основного технологического оборудования на шахтах и разрезах России и оценку уровня его импортозависимости от поставок зарубежного горного оборудования (по доле в общем его наличии на шахтах и разрезах).

Aleksandr A. Grabskiy — carried out an assessment of the possibilities of using SPIC to stimulate investment and technological innovation in the process of import substitution of foreign mining equipment, suggested possible platforms for attracting investors through SPIC mechanism for localizing the main technological mining equipment and components for it. Prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Anatoly A. Rozhkov — carried out an analysis of the structure of the fleet of main technological equipment in mines and open-pit mines in Russia and an assessment of the level of its import dependence on the supply of foreign mining equipment (by share in the total availability in mines and open-pit mines).

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Грабский Александр Адольфович\*** — профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Горное дело» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия  
тел.: +7 (495) 255-15-10 (доб. 2127)

SPIN-код: 2196-7500

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0960-7124>

**Alexander A. Grabskiy\*** — Professor, Dr. of Sci. (Engineering), Head of the Mining Department Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
tel.: +7 (495) 255-15-10 (ext. 2127)

SPIN-code: 2196-7500

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0960-7124>

**Рожков Анатолий Алексеевич** — профессор, доктор экономических наук, начальник отдела аналитических исследований и краткосрочного прогнозирования развития угольной промышленности ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России.

12, ул. 8 Марта, Москва 127083, Россия

SPIN-код: 8890-5820

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4541-0922>

**Anatoly A. Rozhkov** — Professor, Dr. of Sci. (Econ.), Head of the Department of Analytical Research and Short-term Forecasting of the Development of the Federal State Budgetary Institution “Russian Energy Agency” of the Ministry of Energy of Russia.

12, st. March 8, Moscow 127083, Russia

SPIN-code: 8890-5820

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4541-0922>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-137-147>  
УДК 339.9.012



# МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕЧНЯ КРИТИЧЕСКОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

С.М. САЛЬМАНОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> АО «Полиметалл УК»

2, пр. Народного ополчения, г. Санкт-Петербург 198216, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Научно-технический прогресс и развитие высоких технологий приводят к быстрому росту числа видов минерального сырья, используемых в стратегически важных отраслях промышленности страны. Повышение значимости отдельных полезных ископаемых для национальной безопасности, монополизация рынка высокотехнологичного сырья побуждают правительства стран и научное сообщество к разработке концепции обеспечения национальных экономик критическими видами минерального сырья.

**Цель исследования.** Уточнение терминологии стратегических, дефицитных, критических минеральных ресурсов, разработка критериев отнесения тех или иных видов минерального сырья к категории критических, формирование авторского перечня критического минерального сырья.

**Материалы и методы.** Для достижения поставленной цели был использован комплекс общенаучных и специальных методов познания, в частности: методы сравнительного анализа и синтеза, систематизации и обобщения, группировки, индукции и дедукции.

**Результаты.** В процессе исследования были проанализированы определения стратегических, дефицитных, критических минеральных ресурсов, используемых в отечественной и зарубежной практике. Обоснована необходимость введения категории критического минерального сырья для установления приоритетов при стратегическом планировании развития минерально-сырьевой базы страны. Разработаны критерии отнесения отдельных видов минерального сырья к категории критических. Разработан авторский перечень критического минерального сырья.

**Заключение.** Анализ перечня видов критического минерального сырья, составленный автором, показал, что по большинству из них страна обладает крупными ресурсами и запасами, а в некоторых случаях занимает лидирующие позиции. Необходимым условием обеспечения национальной экономической безопасности является ускоренное развитие собственной минерально-сырьевой базы критических минеральных ресурсов и разработка инновационных технологий переработки минерального сырья. Необходимый импульс в данном направлении может придать антикризисное государственное управление, которое заключается в мобилизации производственных, финансовых, кадровых, научных и предпринимательских ресурсов.

**Ключевые слова:** критические минеральные ресурсы, экономическая безопасность, стратегические и высокотехнологичные отрасли, минерально-сырьевая база, экономическая система

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Сальманов С.М. Методологические основы формирования перечня критического минерального сырья. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(3):137—147. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-137-147>

Статья поступила в редакцию 01.05.2024

Принята к публикации 16.08.2024

Опубликована 30.09.2024

## METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR COMPILING A LIST OF CRITICAL MINERAL RESOURCES

SERGEY S. SALMANOV<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Polymetal Management

2, Narodnogo Opolcheniya ave., Saint-Petersburg 198216, Russia

<sup>2</sup> Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

### ABSTRACT

**Background.** Scientific and technological progress, along with the development of high technologies, leads to a rapid increase in the variety of mineral resources used in strategically important sectors of the national economy. The growing significance of certain minerals for national security and the monopolization of the high-tech raw materials market encourage governments and the scientific community to develop concepts for ensuring national economies with critical mineral resources.

**Aim.** To clarify the terminology related to strategic, scarce, and critical mineral resources, to establish criteria for classifying various types of mineral resources as critical, and to create an original list of critical mineral resources.

**Methods and materials.** In order to achieve this aim, a comprehensive set of general and specific research methods was employed, including comparative analysis and synthesis, systematization and generalization, grouping, induction, and deduction.

**Results.** The study involved analyzing definitions of strategic, scarce, and critical mineral resources used in both Russian and international practices. The need for introducing the category of critical mineral resources was substantiated to establish priorities in the strategic planning of the development of the country's mineral resource base. Criteria for classifying certain types of mineral raw materials as critical have been developed and an original list of critical mineral resources has been compiled.

**Conclusion.** The analysis of critical mineral resources listed by the author revealed that Russia possesses significant reserves and resources of most of these resources, and in some cases holds leading positions. A prerequisite for ensuring national economic security comprises the accelerated development of its own mineral resource base of critical mineral resources and the elaboration of innovative technologies for processing mineral raw materials. Anti-crisis state management can provide the necessary impetus in the given direction by mobilizing production, financial, human, scientific, and entrepreneurial resources.

**Keywords:** critical mineral resources, economic security, strategic and high-tech industries, mineral resource base, economic system

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Salmanov S.S. Methodological foundations for compiling a list of critical mineral resources. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):137—147. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-137-147>

*Manuscript received 01 May 2024*

*Accepted 16 August 2024*

*Published 30 September 2024*

### Введение

Природно-ресурсный потенциал относится к важнейшим факторам, которые обеспечивают национальную безопасность, экономический прогресс стран, отдельных территорий и регионов

в целом. Использование полезных ископаемых составляет основу для индустриального развития современных хозяйственных систем. Они выступают важнейшим сырьем для развития стратегических и высокотехнологичных отраслей народного

хозяйства. От состояния и обеспеченности природными ресурсами напрямую зависят масштабы развития и размещения производительных сил, прежде всего ресурсоемких производств.

Научно-технический прогресс и развитие высоких технологий приводят к быстрому росту числа видов минерального сырья, используемых в стратегически важных отраслях промышленности страны. Если в 1980—1990-е годы для изготовления компьютерного микрочипа было достаточно 20 металлов, то для изготовления современного изделия требуется уже 60. Сравнимое количество необходимо для производства новейшего медицинского оборудования [11].

Помимо набирающего роста потребления и вовлечения в индустрию редких и труднодобываемых металлов, современное состояние мировой минерально-сырьевой отрасли характеризуется монополизацией рынка высокотехнологичного сырья. Высокие уровни концентрации запасов и мирового производства многих видов минерального сырья предполагают высокий риск прекращения их поставок, в частности по политическим причинам. Приведем несколько примеров. Бразилия поставляет 92% ниобия, США — 90% бериллия, Китай — 98% тяжелых редкоземельных металлов (РЗМ), 87% легких РЗМ и сурьмы, 85% вольфрама, Конго — 56% кобальта. ЮАР и Россия в совокупности обеспечивают 88% рынка металлов платиновой группы — 61 и 27% соответственно, еще две страны — Чили и Австралия — покрывают 70% рынка лития (48 и 22% соответственно). Все перечисленные металлы играют ключевую роль в производстве высокотехнологичных товаров [18].

Осознание значимости отдельных видов минерального сырья для обеспечения национальной безопасности и экономического лидерства побудило правительства ряда стран приступить к разработке концепции обеспечения собственных экономик стратегическими и/или критическими минеральными ресурсами.

Обозначенная проблема повышения уровня минерально-сырьевого суверенитета страны и связанная с ней задача эффективного управления минерально-сырьевой базой отдельных видов минерального сырья являются актуальными и своевременными для исследования, что и обуславливает выбор темы данной статьи.

**Цель исследования:** уточнение понятийного аппарата стратегических, дефицитных, критических минеральных ресурсов, разработка критериев отнесения тех или иных видов минерального

сырья к категории критических. Формирование авторского перечня критического минерального сырья.

### Материалы и методы

Для проведения исследования автором использовались работы отечественных и зарубежных ученых, а также отчеты и публикации Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федерального агентства по недропользованию. Для достижения поставленной цели был использован комплекс общенаучных и специальных методов познания, в частности методы сравнительного анализа и синтеза, систематизации и обобщения, группировки, индукции и дедукции.

### Результаты

Несмотря на то что понятие стратегических, дефицитных, критических минеральных ресурсов широко используется в различных научных источниках, до сих пор нет четкого определения и разграничения между этими категориями полезных ископаемых. По результатам анализа существующих дефиниций может быть сделан вывод об отсутствии единства подходов и фактическом наличии концептуальных противоречий между авторскими позициями.

Так, на законодательном уровне термин «стратегическое минеральное сырье» не закреплен ни в одном нормативном акте. Распоряжением Правительства РФ от 30 августа 2022 г. № 2473-Р «Об утверждении перечня основных видов стратегического минерального сырья» [9] утвержден список из 61 позиции полезных ископаемых. Предыдущий перечень состоял из 29 позиций и был утвержден постановлением Правительства РФ в 1996 году [7]. Перечень стратегических минеральных ресурсов призван обеспечить приоритетное финансирование работ по воспроизводству бедной минерально-сырьевой базы за счет средств федерального бюджета.

Геологический словарь Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. Карпинского определяет стратегические полезные ископаемые как минеральное сырье, добыча и использование которого обеспечивают безопасность государства [2].

Профессор Московского государственного университета Н.И. Еремин в своих лекциях представляет стратегическое минеральное сырье как ресурсы, имеющие особое значение для обеспечения

экономического развития, обороны и безопасности страны и отражающее ее геополитические интересы [3].

В зарубежных источниках можно встретить определение стратегических минеральных ресурсов как полезных ископаемых, связанных исключительно с национальной безопасностью и запросами военно-промышленного комплекса или потребностями страны в чрезвычайных ситуациях. Следует отметить, что данный термин не имеет широкого распространения в зарубежной практике. Вместо него распространен термин «критическое минеральное сырье». Понятие полностью оформилось в 2007—2010 гг., когда Китай, добывающий 95% мирового объема редкоземельных металлов, сначала ввел систему квот на экспорт редкоземельных элементов сначала для Японии, а затем и для США и стран Европы. Таким образом, страны коллективного Запада ярко осознали свою болезненную зависимость от поставок отдельных видов минерального сырья.

Закон об энергетике США 2020 года определяет «критические минеральные ресурсы» как нетопливный минерал или минеральный материал, необходимый для экономической или национальной безопасности США, цепочка поставок которого может быть однажды нарушена. Критические полезные ископаемые также характеризуются как выполняющие важную функцию в производстве товара, отсутствие которого имело бы серьезные последствия для экономики или национальной безопасности страны [4]. Перечень критических видов минерального сырья США насчитывает 50 номенклатурных наименований, имеющих решающее значение для экономики и национальной безопасности. Список важнейших видов критического минерального сырья составляется на основе данных о предложении (концентрации производства), росте производства (изменение размера рынка и геологических ресурсов) и динамике рынка (изменение цены).

В ЕС, Великобритании и Австралии отнесение тех или иных минералов к критическим определяется состоянием национальных резервов, экономической значимостью и рисками, связанными с добычей и поставками [14].

Основными параметрами, используемыми для определения критичности материала для стран Европы, являются:

- экономическая значимость — основана на информации о важности материала для экономики Европейского союза с точки зрения конечного применения и добавленной стоимости;

- риск поставок — отражает риск перебоев в поставках материалов в страны Европы. Он основан на концентрации первичных поставок из стран — производителей сырья с учетом эффективности управления поставками минеральными ресурсами и торговли ими.

Национальный план по минеральным ресурсам Китайской Народной Республики на 2021—2025 годы определяет критические минеральные ресурсы как полезные ископаемые, предназначенные для индивидуального управления и регулирования, поскольку они необходимы для обеспечения национальной экономической и оборонной безопасности и потребностей развития стратегических развивающихся отраслей [1].

Зарубежный опыт выделения критического минерального сырья из общего множества полезных ископаемых требует внимательного изучения применительно к условиям нашей страны. Значительный ресурсный потенциал России и перспективы развития отечественных стратегических и высокотехнологичных отраслей определяют наращивание минерально-сырьевой базы таких полезных ископаемых. Это позволит обеспечить переход к самообеспечению высокотехнологичными комплектующими изделиями, электронно-компонентной базой, тяжелым производственным оборудованием, что в условиях текущей геополитической и геоэкономической обстановки рассматривается как настоятельное требование, обусловленное соображениями национальной безопасности и необходимостью трансформации российской экономики.

Исходя из представленного анализа видно, что по своему содержанию понятие «критическое минеральное сырье» наиболее соответствует отечественному «дефицитное минеральное сырье», имеющее весьма широкое толкование, включающее в различных случаях востребованность для различных производств, ограничения или риски в снабжении для отдельного предприятия или отрасли в целом, производственного комплекса страны в краткосрочной или отдаленной перспективе; необходимость импорта этого сырья, возможность использования заменителей и др.

Для того или иного вида минерального сырья дефицит может быть связан как с объективной природной ограниченностью его ресурсов (фактор «естественного дефицита»), так и со слабостью развития (несовершенством) его национальной минерально-сырьевой базы (фактор управляемого дефицита). Первый фактор создает

предпосылки для противостояния между странами в борьбе за контроль над источниками минерального сырья. Вторым фактором предопределяет необходимость создания или развития существующей минерально-сырьевой базы в стране.

Понятия «стратегическое» и «дефицитное» минеральное сырье обычно являются взаимодополняющими, но не всякое стратегическое минеральное сырье является дефицитным, и наоборот. Для каждой страны перечень индивидуальных видов минерального сырья в этих категориях различен. Для Российской Федерации в настоящее время уран, марганец, титан — и стратегическое, и дефицитное минеральное сырье; медь, никель и кобальт — стратегическое, но не дефицитное; барит и флюорит — остродефицитное, но не стратегическое минеральное сырье. В то же время для экономики Казахстана все эти 9 видов минерального сырья не являются дефицитными, более того, по запасам некоторых из них эта страна входит в число мировых лидеров.

Впервые понятие «дефицитные полезные ископаемые» в официальных документах Российской Федерации появилось в «Стратегии развития минерально-сырьевой базы до 2035 года». Это «полезные ископаемые, внутреннее потребление которых в значительной степени обеспечивается вынужденным импортом или складированными запасами». К этой группе относятся полезные ископаемые, минерально-сырьевая база которых характеризуется преимущественно низким качеством [8]. В то же время отметим, что некоторые месторождения дефицитных полезных ископаемых сопоставимы по качеству с разрабатываемыми месторождениями за рубежом, что делает особенно актуальными разработку и применение специальных механизмов стимулирования их освоения. Для начала разработки месторождений марганца, урана, хрома либо возобновления добычи на ранее эксплуатируемых месторождениях йода, брома, лития, бериллия, оптического сырья необходимо внедрение эффективных технологий обогащения и переработки минерального сырья.

Внедрение эффективных технологий добычи, обогащения и переработки минерального сырья является одним из инструментов по импортозамещению дефицитных полезных ископаемых, внутреннее потребление которых в значительной степени обеспечивается вынужденным импортом. При этом техническая и технологическая отсталость горнодобывающего комплекса является основной причиной потерь минерального сырья при его добыче и переработке, способствует

обострению экологических проблем, связанных с размещением извлеченной горной массы в окружающей среде.

Современные технологии добычи и обогащения применяются в отношении наиболее ликвидных и востребованных видов твердых полезных ископаемых (золото, медь, полиметаллы и др.). В то же время ряд ключевых видов минерального сырья утрачены, и не развиваются технологические циклы глубокой переработки с получением товарной продукции высоких степеней передела с максимальной добавочной стоимостью.

Несмотря на использование в официальных документах понятия «дефицитное минеральное сырье», на сегодняшний день не разработаны четкие критерии отнесения полезных ископаемых к этой категории, что приводит к отсутствию приоритетов развития минерально-сырьевой базы такого сырья.

В условиях трансформации экономической системы, связанной с осложнением геополитической и геоэкономической ситуации в мире, крайне важно определиться с основными категориями минерального сырья. Возможным выходом, по мнению автора, может быть введение категории «критического минерального сырья», которое бы объединяло в себе стратегические и дефицитные минеральные ресурсы. Именно для развития минерально-сырьевой базы полезных ископаемых этой категории должны быть мобилизованы основные государственные ресурсы.

На основании проведенного исследования отечественных и зарубежных источников автор предлагает уточнить определение категории «критического минерального сырья» в Российской Федерации. К данной категории следует отнести сырье, составляющее основу ведущих стратегических и высокотехнологичных отраслей производства, обеспечивающих оборонную и экономическую безопасность государства, которое отсутствует или не перерабатывается в стране в необходимых количествах и резервы которого недостаточны для удовлетворения потребностей экономики или существенно зависят от закупок сырья за рубежом.

Исходя из представленного определения автором разработаны критерии отнесения того или иного вида ресурса к категории «критического минерального сырья»:

1) Основанием для отнесения минерального сырья к критическому следует считать наличие среднесрочной и долгосрочной потребности в данном ресурсе в стратегических

и высокотехнологических отраслях экономики страны. Стратегические отрасли обеспечивают четыре основных направления развития экономической безопасности страны: непосредственное наращивание оборонной мощности; безопасность жизнедеятельности человека, создание и модернизация инфраструктуры, обеспечивающие стабильные логистические потоки; развитие цифровых и инновационных технологий. К таким отраслям относят оборонную, авиационную, медицинскую, станкостроительную, химическую промышленность, а также агропромышленный комплекс, специализированное машиностроение, электронику, энергетику, фармацевтику, автомобилестроение и судостроение.

Ряд опубликованных прогнозов показывает стремительную динамику роста потребления отдельных видов минеральных ресурсов, связанных с развитием высокотехнологичных отраслей. Так, прогноз экспертов ЕС демонстрирует увеличение потребления лития к 2030 году в 18 раз, кобальта — в 5 раз, а в 2050 году лития потребуется в 60 раз, а кобальта в 15 раз больше по сравнению с текущим предложением. Спрос на редкоземельные элементы, используемые в постоянных магнитах, может увеличиться в 10 раз к 2050 году [13].

По прогнозам Всемирного банка, спрос на металлы и полезные ископаемые быстро вырастет вместе с климатическими амбициями. Наиболее ярким примером этого являются аккумуляторные батареи, спрос на соответствующие металлы для которых (алюминий, кобальт, железо, свинец, литий, марганец и никель) вырастет более чем на 1000% к 2050 г. [17].

Переход к самообеспечению высокотехнологичными комплектующими изделиями, электронно-компонентной базой, производственным оборудованием сейчас рассматривается как настоятельное требование, обусловленное соображениями национальной безопасности и необходимостью трансформации российской экономики. С учетом вышесказанного можно спрогнозировать кратное увеличение внутреннего спроса на критические минеральные ресурсы в ближайшей перспективе.

2) Недостаточность минерально-сырьевой базы полезных ископаемых в стране либо отсутствие технологий добычи и переработки таких ресурсов.

Российская Федерация обладает значительной минерально-сырьевой базой по большинству видов полезных ископаемых. На территории России и ее континентального шельфа разведано уникальное количество видов полезных ископаемых.

До 70% разведанных запасов полезных ископаемых сосредоточены в крупных и уникальных месторождениях, которые обеспечивают 50% добычи минерального сырья [5]. По сумме разведанных и оцененных запасов целого ряда стратегических минеральных ресурсов страна входит в группу мировых лидеров. В недрах России сосредоточено 37% мировых запасов алмазов, 15% золота, 12% железных руд, 8% меди, 7% никеля.

Однако, низкое качество минерально-сырьевой базы (марганцевые и хромовые руды, бокситы), отсутствие технологий добычи и/или переработки минерального сырья (титан, редкоземельные металлы), высокая конкуренция на мировых рынках (литий) являются сдерживающими факторами развития собственной минерально-сырьевой базы критических полезных ископаемых.

Характерным примером для данного критерия может являться минерально-сырьевая база марганцевых руд. Несмотря на достаточно крупные запасы, вовлечение их в освоение затруднено отсутствием эффективных промышленных технологий обогащения и переработки низкокачественного сырья, доминирующего на российских объектах. Негативное влияние на рентабельность освоения оказывает неразвитость инфраструктуры в районах нахождения значимых месторождений. Ожидаемые объемы добычи, которые могут обеспечить подготавливаемые месторождения, значительно ниже уровня внутреннего потребления и мало влияют на объемы импорта. С учетом остроты проблемы обеспечения металлургических предприятий в краткосрочной перспективе возможно создание локальной сырьевой базы, представленной серией мелко легко извлекаемых месторождений на Южном Урале.

Важно отметить, что среди минеральных ресурсов, используемых в производстве высокотехнологичной продукции, значительную роль играют рассеянные металлы (индий, германий, теллур, галлий и др.). Они, как правило, не образуют собственных рудных месторождений — скопление металлов, добыча и извлечение которых из недр Земли при существующих технологиях рентабельна, а извлекаются как попутные при переработке руд основного сырья. Например, германий и индий извлекаются при переработке цинковых (сфалеритовых) руд. Даже такой металл, как серебро, добывается главным образом в качестве попутного продукта горнодобывающих работ. Поэтому производство рассеянных металлов зависит от рентабельности добычи основных компонентов. Как только производство последних становится

нерентабельным, выработка прекращается, а значит, останавливается и добыча попутных компонентов [11].

Технологии, возможности и навыки в переработке сырья и металлургии являются важнейшим звеном в цепочке создания стоимости. Эти пробелы и слабые места в существующих цепочках поставок сырья влияют на все промышленные экосистемы и, следовательно, требуют стратегического подхода: достаточных запасов сырья для предотвращения неожиданных нарушений производственных процессов, альтернативных источников снабжения, привлечения инвестиций в разработку инновационных технологий по переработке критических ресурсов.

3) Зависимость поставок минерального сырья из-за рубежа — еще один важный критерий для отнесения минеральных ресурсов к категории «критических». Наличие высоких запасов отдельных твердых полезных ископаемых при низком их качестве, удаленности от инфраструктуры и главных потребителей, а также отсутствие технологий извлечения приводят к их импорту в краткосрочной перспективе. Например, Россия располагает достаточно крупной сырьевой базой редкоземельных металлов (25% мировых запасов), требуемых для производства высокотехнологичной и инновационной продукции в различных отраслях промышленности. Однако из-за отсутствия полной производственно-технологической цепочки для глубокой переработки сырья спрос на эти металлы удовлетворяется за счет импорта. Также импортируется более 1/3 видов стратегического минерального сырья: марганец, хром, литий, бериллий и рений — 100%, цирконий — 98%, титан — 95%, олово — 70%, бокситы — 64%, уран — 65%, молибден — 45%. Высока доля импортной сырьевой продукции, не относящейся к стратегическим, но имеющей важное значение для промышленности: плавиковый шпат — 99%, каолин и глинозем — 60%, полевого шпат — 40%. В случае срыва импортных поставок в зоне риска окажутся предприятия черной и цветной металлургии, военно-промышленной и авиакосмической отраслей, судостроения, медицины и химической промышленности.

Высокий риск поставок обусловлен концентрацией мирового производства критического минерального сырья в нескольких странах. Во многих случаях сырье сложно заменить, а его рециркуляция низкая. Сбои в поставках минеральных ресурсов могут быть вызваны различными факторами, включая стихийные бедствия, забастовки,

гражданские беспорядки, торговые споры, международные конфликты, действия правительства, аварии на производствах, корпоративные банкротства и другие. Вероятность и последствия любого из этих типов событий усугубляются, когда значительная часть мирового производства сосредоточена в одной стране или небольшом географическом регионе.

Анализ мировых поставок критически важных материалов подтверждает, что Китай является крупнейшим поставщиком нескольких важных видов сырья. Другие страны являются поставщиками единичных конкретных материалов. Например, Россия и ЮАР являются крупнейшими поставщиками металлов платиновой группы, США — бериллия, Бразилия — ниобия, Чили — лития, Конго — тантала и кобальта (рис. 1).

Концентрация добычи и производства многих полезных ископаемых заметно возросла за последние несколько десятилетий. Как отмечают эксперты, эта тенденция отражает изменения в глобальном спросе на материалы, сравнительные преимущества в производстве (например, производство алюминия за счет дешевой энергии в ОАЭ) или государственную политику по обеспечению внутренних поставок стратегических материалов (например, бериллия в США) [15].

Следует отметить, что риск поставок — очень многогранный показатель, который может включать не только количество возможных поставщиков и их лояльность, но и техническую возможность самих поставок. Довольно образно этот тезис выразил академик И.П. Бардин в 1941 г.: «...если к нам от союзников привезет молибденовую руду хоть один пароход, ее нам хватит на всю войну. Ну а если придется возить глину, то весь флот, наш и союзников, не сможет привезти ее столько, сколько нам необходимо» [6].

В соответствии с вышеуказанными критериями автором был проанализирован перечень стратегических минеральных ресурсов, установленный распоряжением Правительства РФ от 30.08.2022 № 2473-р «Об утверждении Перечня основных видов стратегического минерального сырья» [9] на предмет их возможного отнесения к категории критического минерального сырья. Основанием отнесения тех или иных ресурсов к категории «критических» является соответствие хотя бы одному критерию из трех представленных выше. Источниками информации для анализа выступают нормативные акты, отчеты министерств и ведомств, статистические данные, экспертные мнения научного и бизнес-сообщества.

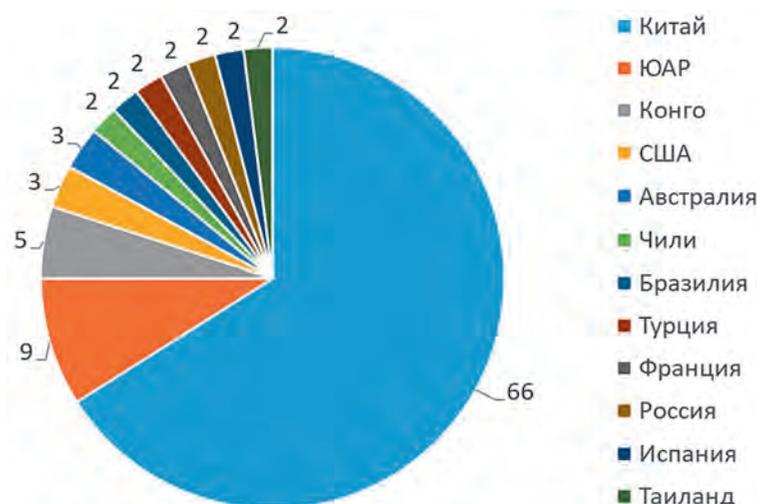


Рис. 1. Ведущие мировые поставщики критически важных сырьевых материалов, % [12]  
 Fig. 1. The world's leading suppliers of critical raw materials, % [12]

На основании изученных материалов составлен авторский перечень критических минеральных ресурсов России, который состоит из 24 позиций, включая группу редкоземельных металлов (пример в таблице). Основная цель данного перечня — установление приоритетов при стратегическом планировании развития минерально-сырьевой базы страны, а также определение приоритетных направлений для научно-исследовательских работ в области глубокой переработки минерального сырья. Перечень критических материалов США состоит из 50 позиций, список ЕС включает в себя 30 позиций, а аналогичный ряд КНР включает в себя 24 пункта. Список критических материалов ЕС обновляется каждые три года. В США перечень важнейших полезных ископаемых представляет собой динамический список, периодически обновляемый в случае изменения данных о предложении, спросе, концентрации производства и текущих приоритетах политики [16].

В России периодичность обновления перечня стратегических ресурсов официально не установлена. Стратегией развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года рекомендовано пересматривать перечень с периодичностью 3 года в зависимости от потребности национальной экономики [10]. По мнению автора, частый пересмотр перечня критических полезных ископаемых возможен для полностью импортируемого сырья в зависимости от складывающейся конъюнктуры на мировых рынках, в то же время для минеральных ресурсов, имеющих перспективы развития собственной минеральной базы

и разработки технологий переработки, перечень должен пересматриваться с учетом долгосрочности реализации геолого-разведочных и исследовательских проектов, а также с учетом планов стратегического развития важнейших отраслей промышленности и инфраструктурных проектов национального масштаба. Частый пересмотр приоритетов в геологии может привести к росту незавершенных и замороженных проектов.

### Заключение

Анализ перечня критического минерального сырья России, составленного автором, показал, что по большинству из видов страна обладает крупными ресурсами и запасами, а в некоторых случаях занимает лидирующие позиции. В условиях трансформации экономической системы, вызванной гибридной войной, развязанной коллективным Западом против России, нарушения логистических цепочек основной стратегией обеспечения минерально-ресурсного суверенитета и экономической безопасности является ускоренное развитие собственной минерально-сырьевой базы критических минеральных ресурсов. Повышение уровня минерально-сырьевого суверенитета требует обновления геолого-разведочных данных, проведения на их базе комплексной оценки месторождений критических минеральных ресурсов, разработки новых технологий добычи и обогащения минерального сырья, наращивания внутреннего спроса за счет создания отечественных производств глубокого передела сырья и получения конечной высокотехнологичной продукции

Таблица. Перечень критических минеральных ресурсов (пример)  
Table. List of critical mineral resources (example)

Стратегические минеральные ресурсы (распоряжение Правительства от 30 августа 2022 г. № 2473-р)	Группа полезных ископаемых по количеству и качеству балансовых запасов (Стратегия развития МСБ РФ до 2035 года)	Потребность минеральных ресурсов в стратегических и высокотехнологических областях	Бедная минерально-сырьевая база, отсутствие собственной добычи и переработки минеральных ресурсов	Риск поставок, концентрация производства в одной стране или небольшом географическом регионе	Критические минеральные ресурсы (авторское представление)
Марганец	III группа (дефицитные полезные ископаемые)	Черная металлургия обеспечивает порядка 90% потребности. Марганец входит в состав почти всех сортов чугуна и стали. Прогнозируется рост потребления стали в мире на 5—6% в год	Крупная сырьевая база при отсутствии эффективных промышленных технологий обогащения и переработки низкокачественных руд	Потребление в 2021 г. 1,47 млн т, больше показателя 2020 года на 6,4%. Импорт марганцевых полуфабрикатов составил 1,39 млн т. Основные поставщики: ЮАР, Казахстан, Габон	Да
Титан	III группа (дефицитные полезные ископаемые)	Годовая потребность в титановых концентратах составляет 365 тыс. т. Из них импортируется 352 тыс. т. Основные направления использования титановой продукции: двигателестроение, авиа- и судостроение, буровая и шельфовая техника, энергетика, машиностроение	Крупная сырьевая база. Освоение месторождений сдерживается отсутствием промышленной технологии переработки	На фоне санкций в 2022 году отечественные предприятия столкнулись с дефицитом поставок сырья, что вынудило их сокращать и останавливать производство. Основными поставщиками являются Мозамбик, Вьетнам, Казахстан	Да
Бокситы	III группа (дефицитные полезные ископаемые)	Главными сферами применения металла являются строительство, авиа-, автомобиль- и судостроение, электроника, машиностроение. Основной мировой драйвер роста — электромобили	Крупная сырьевая база, имеется дефицит качественных бокситов металлургического сорта. Предпосылки для расширения качественной сырьевой базы практически нет	Ежегодно импортируется 4,2—5,1 млн т глинозема. Основными поставщиками являются Австралия, Казахстан и Гвинея	Да
Медь	I группа (запасы удовлетворяют необходимые потребности экономики на долгосрочную перспективу)	Основные направления использования прежде всего связаны с производством электротехнической, электронной, телекоммуникационной продукции, транспортным машиностроением	Россия располагает крупной сырьевой базой меди, характеризующейся высокой степенью освоения. В России осуществляется полный производственный цикл переработки медных руд	Потребности в импорте нет	Нет

Необходимый импульс в данном направлении может придать разработка и реализация целевых государственных программ и организационно-экономических механизмов, стимулирующих мобилизацию

производственных, финансовых, кадровых, научных и предпринимательских ресурсов на воспроизводство минерально-сырьевой базы критического минерального сырья.

## ЛИТЕРАТУРА

- 14-я пятилетняя программа формирует контуры новой архитектуры социально-экономического развития Китая. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/249134226/> (дата обращения: 14.01.2024).
- Геологический словарь Всероссийского научно-исследовательского института имени А.П. Карпинского. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/public/sprav/geodictionary/> (дата обращения: 14.01.2024).
- Еремин Н.И. Стратегическое, дефицитное и критическое минеральное сырье: интерактивное учебно-методическое пособие. Издание сетевого распространения. М.: КДУ, 2020. URL: <https://bookonlime.ru/node/4991/> (дата обращения: 14.01.2024).
- Кондратьев В.Б. Роль критически важных сырьевых материалов в экономике США. Горная промышленность. 2022. № 5. С. 121—130.
- Петров О.В., Морозов А.Ф., Михайлов Б.К. и др. Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации. Том 1. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского. 2009. 223 с. ISBN 978-5-93761-156-7.
- Петров В.П. Глины в природе, технике, искусстве. М.: Знание, 1990. 48 с.
- Распоряжение Правительства РФ от 16 января 1996 г. № 50-р «Об утверждении перечня основных видов стратегического минерального сырья». URL: <https://base.garant.ru/2108791/> (дата обращения: 14.01.2024).
- Распоряжение Правительства РФ от 22 декабря 2018 г. № 2914-р «О стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ до 2035 г.» URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72038606/> (дата обращения: 14.01.2024).
- Распоряжение Правительства РФ от 30 августа 2022 г. № 2473-р «Об утверждении перечня основных видов стратегического минерального сырья». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405118925/> (дата обращения: 14.01.2024).
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11 июля 2024 г. № 1838-р «Об утверждении стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ до 2050 г.» URL: <http://government.ru/docs/52250/> (дата обращения: 30.07.2024).
- Стратегические минеральные ресурсы российской Арктики. Доклад академика Н.С. Бортникова. Вестник Российской академии наук. 2015. Т. 85. № 5—6. С. 431.
- Blengini G.A., Latunussa C., Eynard U., de Mattos C.T., Wittmer D., Georgitzikis K., et al. Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Executive Summary. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2020. 158 p. <https://doi.org/10.2873/11619>
- Bobba S., Carrara S., Huisman J., Mathieux F., Pavel C. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2020. <https://doi.org/10.2873/58081>
- Brehmer M., Smulders F., Peck D.P. Critical metals: a research agenda for production development. Proceeding of International Association of Societies of Design Research, the 4th World Conference on Design Research. (Delft Univ. of Technol., Delft, 2011).
- Fortier S.M., Nassar N.T., Lederer G.W., Brainard J., Gambogi J., McCullough E.A. Draft critical mineral list — Summary of methodology and background information — U.S. Geological Survey technical input document in response to Secretarial Order No. 3359: Reston, VA, U.S. Geological Survey; 2018. 15 p. <https://doi.org/10.3133/ofr20181021>
- Goudy S. A “Made in America” Supply Chain for Critical Minerals. Environmental, Mining & Natural Resources, Rulemaking & Policy Development. March 7, 2022. Available at: <https://www.freshlawblog.com/2022/03/07/a-made-in-america-supply-chain-for-criticalminerals/> (accessed 27 April 2024).
- Puliti R. (ed.) The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future. World Bank 2017. Available at: <http://hdl.handle.net/10986/28312> (accessed 27 April 2024).
- Study on Critical Raw Materials at EU Level. Final Report. 2013. 166 p.

## REFERENCES

- The 14th five-year program forms the contours of the new architectonics of China's socio-economic development. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/249134226> (accessed 14.01.2024) (In Russ.).
- Geological Dictionary of the All-Russian Scientific Research Institute named after A.P. Karpinsky. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/public/sprav/geodictionary/> (accessed 14.01.2024) (In Russ.).
- Eremin N.I. Strategic, scarce and critical mineral raw materials: an interactive educational and methodological guide. Publication of network distribution. Moscow: KDU, 2020. URL: <https://bookonlime.ru/node/4991/> (accessed 14.01.2024).

- bookonlime.ru/node/4991/(accessed 14.01.2024) (In Russ.).
4. Kondratiev V.B. The role of critically important raw materials in the US economy. Mining industry. 2022. №5. P. 121—130. (In Russ.).
  5. Petrov O.V., Morozov A.F., Mikhailov B.K. and others. The mineral resource potential of the subsoil of the Russian Federation. Volume 1. St. Petersburg: All-Russian Scientific Research Geological Institute named after A.P. Karpinsky. 2009. 223 p. (In Russ.). ISBN 978-5-93761-156-7.
  6. Petrov V.P. Clays in nature, technology, art. M.: Znanie, 1990. 48 p. (In Russ.).
  7. Decree of the Government of the Russian Federation No. 50-r dated January 16, 1996 "On approval of the list of main types of strategic mineral raw materials". URL: <https://base.garant.ru/2108791> (accessed 14.01.2024) (In Russ.).
  8. Decree of the Government of the Russian Federation dated December 22, 2018 No. 2914-r On the strategy for the development of the mineral resource base of the Russian Federation until 2035. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72038606> (date of appeal 14.01.2024) (In Russ.).
  9. Decree of the Government of the Russian Federation dated August 30, 2022 No. 2473-r On approval of the list of main types of strategic mineral raw materials. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405118925> (accessed 14.01.2024) (In Russ.).
  10. Decree of the Government of the Russian Federation dated July 11, 2024 No. 1838-r On approval of the strategy for the development of the mineral resource base of the Russian Federation until 2050. URL: <http://government.ru/docs/52250> (accessed 30.07.2024) (In Russ.).
  11. Strategic mineral resources of the Russian Arctic. The report of academician N.S. Bortnikov. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2015. Vol. 85. No. 5-6. p. 431 (In Russ.).
  12. Blengini G.A., Latunussa C., Eynard U., de Matos C.T., Wittmer D., Georgitzikis K., et al. Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Executive Summary. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2020. 158 p. <https://doi.org/10.2873/11619>
  13. Bobba S., Carrara S., Huisman J., Mathieux F., Pavel C. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2020. <https://doi.org/10.2873/58081>
  14. Brehmer M., Smulders F., Peck D.P. Critical metals: a research agenda for production development. Proceeding of International Association of Societies of Design Research, the 4th World Conference on Design Research. (Delft Univ. of Technol., Delft, 2011).
  15. Fortier S.M., Nassar N.T., Lederer G.W., Brainard J., Gambogi J., McCullough E.A. Draft critical mineral list — Summary of methodology and background information — U.S. Geological Survey technical input document in response to Secretarial Order No. 3359: Reston, VA, U.S. Geological Survey; 2018. 15 p. <https://doi.org/10.3133/ofr20181021>
  16. Goudy S. A "Made in America" Supply Chain for Critical Minerals. Environmental, Mining & Natural Resources, Rulemaking & Policy Development. March 7, 2022. Available at: <https://www.freshlawblog.com/2022/03/07/a-made-in-america-supply-chain-for-criticalminerals/> (accessed 27 April 2024).
  17. Puliti R. (ed.) The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future. World Bank 2017. Available at: <http://hdl.handle.net/10986/28312> (accessed 27 April 2024).
  18. Study on Critical Raw Materials at EU Level. Final Report. 2013. 166 p.

### ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Сальманов С.М. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sergei S. Salmanov — developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Сальманов Сергей Миншакирович** — кандидат экономических наук, директор дирекции бюджетирования, аналитического контроля и отчетности АО «Полиметалл УК». 2, пр. Народного ополчения, г. Санкт-Петербург 198216, Россия  
e-mail: [Salmanov@polymetal.ru](mailto:Salmanov@polymetal.ru)  
SPIN-код: 5268-9080

**Sergey M. Salmanov** — Cand. of Sci. (Econ.), Director of the Directorate of Budgeting, Analytical Control and Reporting of JSC Polymetal management. 2, Narodnogo Opolcheniya ave., Saint-Petersburg 198216, Russia  
e-mail: [Salmanov@polymetal.ru](mailto:Salmanov@polymetal.ru)  
SPIN-code: 5268-9080



## О КНИГЕ «ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ И КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД»

С.А. САМОХВАЛОВ, В.Н. КОМАРОВ\*

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

В учебном пособии<sup>1</sup> рассматриваются связи между литологическими признаками песчано-алевритовых и карбонатных пород-коллекторов и их петрофизическими свойствами. Коллекторские свойства пород зависят от их литологических характеристик и являются их функцией. В рамках петрофизических исследований определены особенности литологического изучения пород-коллекторов, приведена характеристика их основных литологических и петрофизических свойств, рассмотрена последовательность их изучения. В работе приводятся многочисленные примеры, подтверждающие однозначность либо неоднозначность литологических и петрографических связей, выявленные при изучении разновозрастных коллекторов другими исследователями. В основу работы положен оригинальный материал, полученный авторами при изучении нефтегазоносных провинций Российской Федерации.

**Ключевые слова:** породы-коллекторы, коллекторские свойства пород, петрофизические свойства пород

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Самохвалов С.А., Комаров В.Н. О книге «Литологические и коллекторские свойства осадочных пород». *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(3):148—152. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-148-152>

Статья поступила в редакцию 05.05.2024

Принята к публикации 04.09.2024

Опубликована 30.09.2024

\* Автор, ответственный за переписку

## ABOUT THE TEXTBOOK “LITHOLOGICAL AND RESERVOIR PROPERTIES OF SEDIMENTARY ROCKS”

SERGEY A. SAMOKHVALOV, VLADIMIR N. KOMAROV\*

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

### ABSTRACT

The textbook<sup>2</sup> under review examines relationships between the lithological features of sand-siltstone and carbonate reservoir rocks and their petrophysical properties. The reservoir properties

<sup>1</sup> Агафонова Г.В., Асташкин Д.А. Литологические и коллекторские свойства осадочных пород. М.: Изд-во ФГБУ «ВНИГНИ», 2023. 176 с.

<sup>2</sup> Agafonova G.V., Astashkin D.A. Lithological and reservoir properties of sedimentary rocks. Moscow: Publishing House of the Federal State Budgetary Institution All-Russian Research Geological Oil Institute, 2023. 176 p.

of rocks depend on their lithological characteristics, being their function. As part of petrophysical research works, specific features in the lithological study of reservoir rocks are determined, their main lithological and petrophysical properties are characterized, and the sequence of their study is considered. The textbook provides numerous examples confirming the unambiguity or ambiguity of lithological and petrographic relationships identified by other researchers in the study of reservoirs of different ages. The textbook is based on the original material obtained by the authors when studying the oil and gas provinces of the Russian Federation.

**Keywords:** reservoir rocks; reservoir properties of rocks; petrophysical properties of rocks

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Samokhvalov S.A., Komarov V.N. About the textbook “Lithological and reservoir properties of sedimentary rocks”. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):148—152. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-148-152>

*Manuscript received 05 May 2024*

*Accepted 04 September 2024*

*Published 30 September 2024*

\* Corresponding author

Рецензируемое учебное пособие включает введение и пять глав. Список литературы насчитывает 93 наименования.

Во введении авторы отметили, что петрофизика — дисциплина естествознания, в которой изучают закономерности изменения физических свойств горных пород и связи между этими свойствами. Физические свойства горных пород — это их способность взаимодействовать с естественными физическими полями Земли (гравитационным, магнитным, тепловым) или с искусственно созданными физическими полями (волновым, радиоактивным, полем давления флюидов), создаваемыми в горных породах. Петрофизика — одна из самостоятельных наук о Земле, в 40—50-х годах XX столетия оформилась как физическая основа интерпретации результатов геофизических исследований скважин. Литология — наука об осадочных горных породах, об их составе, строении, происхождении, размещении. В настоящее время выделяется нефтегазовая литология — учение о породах-коллекторах, породах-флюидоупорах, о природных резервуарах и ловушках нефти и газа.

Породы-коллекторы обладают способностью вмещать нефть, газ, воду и отдавать их при разработке. Преобладающее количество коллекторов имеет осадочное происхождение. Основными коллекторами являются терригенные и карбонатные породы. Вещественный состав,



структурно-текстурные особенности осадочных пород создаются под влиянием множества факторов, которые, в свою очередь, определяются стадийностью осадочного процесса. Последний включает мобилизацию, миграцию, седиментацию осадочного вещества, превращение осадка в породу, преобразование породы в течение геологического времени ее существования.

Характер строения и расположения пород-коллекторов разнообразен, сложен и определяется группами факторов, связанных с условиями седиментации и постседиментационными изменениями. Литолого-петрографические исследования — это комплекс методов, необходимых для познания строения как пород-коллекторов, так и не коллекторов, для выявления закономерностей их расположения по латерали и вертикали. Литолого-петрографические исследования проводятся параллельно с лабораторными петрофизическими исследованиями. Изучение коллекторских свойств пород, выявление типа коллекторов, их фильтрационных и емкостных свойств, характера водонасыщенности позволяет оценить перспективы изучаемых объектов, обоснованно рекомендовать рациональный комплекс мероприятий по интенсификации притока флюида из пласта.

В первой главе подробно рассмотрены коллекторские свойства осадочных пород. Отмечено, что формирование коллекторских свойств пород — весьма сложный процесс, протекающий с момента выпадения осадка и на протяжении всей последующей истории его литификации и последующего изменения. На это формирование оказывают влияние физико-географические условия седиментации, постседиментационные процессы, связанные с геостатическим давлением, температурой теплового потока, гидрогеологической и гидрогеохимической обстановкой, тектонической активностью, геохимическими особенностями пород и, в конечном счете, с геологической историей развития нефтегазового бассейна. При этом необходимо учитывать, что в разных бассейнах одни и те же факторы оказывают разное влияние на породу, что приводит к неодинаковой степени воздействия каждого из них на формирование емкостных и фильтрационных свойств. Неоднородность коллекторских свойств определяет различную продуктивность скважин.

Выявление закономерностей изменения коллекторских свойств осадочных пород включает комплексное изучение кернового материала,

анализ промыслово-геофизических данных, результатов опробования. Важнейшими характеристиками породы-коллектора являются его пористость и проницаемость. Способность вмещать и пропускать флюид определяет фильтрационно-емкостные свойства коллектора.

Содержание второй главы посвящено описанию терригенного коллектора, к которому относятся песчаники, алевролиты, смешанные песчано-алевритовые и алевро-песчаные породы, песчаники глинисто-алевритовые и алевролиты песчано-глинистые. Авторы отмечают, что к песчаникам относятся сцементированные осадочные горные породы, более чем на 50% сложенные обломками минералов и горных пород кварц-силикатного состава с размером обломков от 0,05 до 2 мм. К алевролитам относятся сцементированные породы с размером обломков 0,005—0,05 мм. Образование песчаных и алевролитовых частиц связано с разрушением коренных пород в зоне выветривания и их измельчением при переносе. Распространение обломков минералов и горных пород в песчаниках определяется в первую очередь их химической устойчивостью. Коллекторские и другие физические свойства песчано-алевритовых пород определяются их литологическими особенностями: петрографо-минералогическим и гранулометрическим составом обломочных компонентов, их формой, содержанием и составом цементирующего материала, взаимоотношением между обломками, обломками и цементом, вторичными изменениями компонентов.

Авторы обращают внимание на то, что горные породы по физическому смыслу представляют собой неорганизованную среду, которую в силу ее сложности и многофакторности невозможно абсолютно точно описать математическими моделями. Поэтому для оценки величины влияния тех или иных литологических особенностей строения пород на их физические свойства обычно строят двухмерные сопоставления параметров, определяемых эмпирическим путем. В большинстве случаев корреляция при этих сопоставлениях невысокая. Такие сопоставления несут не количественный, а скорее качественный характер, однако позволяют сделать вывод о решающем вкладе того или иного литологического параметра в характер фильтрационно-емкостных свойств коллектора.

В главе очень подробно рассмотрена методика микроскопического описания песчаника (алевролита) в прозрачном стандартном шлифе.

В третьей главе рассмотрен карбонатный коллектор (известняки, доломиты, доломитовые известняки, известковые доломиты). Авторы подчеркнули, что карбонатные коллекторы относятся к сложным, так как для них характерно неравномерное распределение пустот разного происхождения, формы, размера и резкая анизотропия фильтрационных свойств. В карбонатах, в отличие от терригенных коллекторов, отсутствует корреляционная зависимость между глубиной их погружения в стратиферу и изменением пористости. Для глинистых и терригенных пород многие десятилетия разрабатывались схемы стадийных изменений и известны основные структурно-минеральные индикаторы, отражающие катагенетические уровни преобразования. Карбонатные отложения в эти схемы вписываются плохо, вторичные процессы не только многообразны, но и часто повторяются на разных глубинах, при этом они лишены единого тренда. Современный облик карбонатного коллектора определяется соотношением процессов, приводящих, с одной стороны, к сокращению объема пустот или усложнению их конфигурации, а с другой — к появлению новых фильтрующих каналов и увеличению полезной емкости.

В главе проанализированы оптические свойства карбонатных минералов, приведена методика описания известняка (доломита) в прозрачном стандартном шлифе, рассмотрены структурные компоненты и структуры карбонатных пород, органическое вещество, микротекстуры, постседиментационные процессы и их продукты, структура емкостного пространства.

Особенностям строения карбонатных и терригенных пород-коллекторов посвящена четвертая глава. Отмечено, что отличительные особенности карбонатных и терригенных пород-коллекторов основываются на различии их вещественного состава, структурно-текстурного строения, интенсивности и направленности постседиментационных изменений. Формирование коллекторских свойств пород обусловлено условиями седиментации, определяющее влияние на которые оказывают физико-географические и тектониче-

ские факторы. Влияние физико-географических факторов связано с местоположением палеобассейнов седиментации и областей сноса, характером рельефа дна бассейнов и особенностями палеоклимата. Решающая роль в формировании коллекторских и экранирующих свойств осадочных пород, накопившихся в той или иной физико-географической обстановке, принадлежит тектоническим факторам, определяющим историю геологического развития каждого нефтегазонасного бассейна.

В заключительной главе рассмотрены факторы, влияющие на коллекторские свойства горных пород. Среди них авторы указывают геологические, тектонические, литологические, гидрогеологические, гидрогеохимические и техногенные факторы, а также физические свойства пород.

Знакомство с рецензируемым учебным пособием, которое, на наш взгляд, сразу же станет библиографической редкостью, оставляет самое хорошее впечатление. Исчерпывающее знание предмета, большой профессиональный опыт педагогической и геологической работы позволили авторам создать четко структурированный, емкий по содержанию труд, в котором изложен важнейший методический и справочный материал.

Отдельно хотелось бы отметить отличное полиграфическое качество издания. Приведенные в учебном пособии многочисленные, в том числе оригинальные цветные рисунки и фотографии, вне всякого сомнения, позволяют лучше воспринимать излагаемый материал.

Учебное пособие предназначено для аспирантов, специалистов, занимающихся литологическим и петрофизическим изучением осадочных горных пород, а также студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Прикладная геология», при выполнении лабораторных и самостоятельных работ, прохождении учебных и производственных практик по дисциплине «Геология нефти и газа».

На наш взгляд, учебное пособие и привлечет внимание более широкого круга читателей, интересующихся естествознанием, и будет прочитано с большой пользой.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Самохвалов Сергей Александрович** — старший преподаватель кафедры палеонтологии и региональной геологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: [samoxvalovsa@mgri.ru](mailto:samoxvalovsa@mgri.ru)

тел.: +7 (926) 817-50-42

SPIN-код: 2828-9552

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5713-1867>

**Sergey A. Samokhvalov** — sen. lect., Department of paleontology and regional geology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [samoxvalovsa@mgri.ru](mailto:samoxvalovsa@mgri.ru)

tel.: +7 (926) 817-50-42

SPIN-code: 2828-9552

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5713-1867>

**Комаров Владимир Николаевич\*** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры палеонтологии и региональной геологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: [komarovvn@mgri.ru](mailto:komarovvn@mgri.ru)

тел.: +7 (916) 481-96-84

SPIN-код: 2739-5934

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4719-1484>

**Vladimir N. Komarov\*** — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Ass. Prof., Department of paleontology and regional geology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [komarovvn@mgri.ru](mailto:komarovvn@mgri.ru)

tel.: +7 (916) 481-96-84

SPIN-code: 2739-5934

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4719-1484>

